



53
24.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE
PRACTICAS DE LABORATORIO
PARA LA ASIGNATURA
"LABORATORIO DE ELECTRONICA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:

MARTIN HERNANDEZ HERNANDEZ

ASESOR: ING. BENITO ZUÑIGA VILLEGAS

MÉXICO

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

PAGINACION VARIA

COMPLETA LA INFORMACION

INDICE

INTRODUCCION

I.- DESCRIPCION DEL EQUIPO EMPLEADO EN EL LABORATORIO	1
I.1 Introducción	3
I.2 Fuente de poder de DC	3
I.3 Multímetro	5
I.4 Generador de funciones	8
I.5 Generador de pulsos	10
I.6 Osciloscopio	13
I.7 Sonda lógica	15
I.8 Grapa lógica	16
I.9 Comparador de lógica	17
I.10 Pulsador lógico	17
I.11 Trazador de corriente	18
I.12 Analizador de estados lógicos	19
II.- ANALISIS DE COMPUERTAS Y FAMILIAS LOGICAS	23
II.1 Introducción	25
II.2 Familias lógicas	26
II.3 Definición de parámetros	32
II.4 Estructura física de un IC digital	35
II.5 Tecnologías TTL y CMOS	36
II.6 Circuitos integrados SSI	39
II.7 El diseño con circuitos SSI	41
II.8 Reglas a seguir en caso de que se presenten fallas	44
II.9 Pruebas básicas que deben realizarse en los IC's digitales	46
II.10 Selección de IC's SSI	50
ANEXO A	51
ANEXO B	61
DESARROLLO PRACTICO	71
III.- IMPLEMENTACION DE CIRCUITOS COMBINACIONALES EMPLEANDO CIRCUITOS MSI	81
III.1 Introducción	83
III.2 Nomenclatura y notación de un circuito MSI	83
III.3 Dispositivos MSI	85
III.4 El diseño con dispositivos MSI	94
III.5 Diseño de un pequeño sistema digital con dispositivos MSI	96
III.6 Fallas en circuitos combinacionales	102
DESARROLLO PRACTICO	105

IV.- IMPLEMENTACION DE CIRCUITOS PRACTICOS EMPLEANDO LOGICA SECUENCIAL	111
IV.1 Introducción	113
IV.2 Definición de un circuito secuencial	114
IV.3 Clasificación de los circuitos secuenciales	114
IV.4 Dispositivos secuenciales	117
IV.5 El diseño de circuitos secuenciales	126
IV.6 Metodologías para diseñar circuitos secuenciales	130
IV.7 Fallas y métodos de corrección en circuitos secuenciales	144
DESARROLLO PRACTICO	147
V.- AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y APLICACIONES	155
V.1 Introducción	157
V.2 Definición del amplificador operacional	157
V.3 Características reales de los amplificadores operacionales	158
V.4 Estructura física	165
V.5 La hoja de datos	167
V.6 El diseño de circuitos electrónicos con amplificadores operacionales	168
V.7 Aplicaciones de los amplificadores operacionales	173
V.8 Fallas en los circuitos con amplificadores operacionales y métodos de protección	180
ANEXO	189
DESARROLLO PRACTICO (PARTE I)	197
DESARROLLO PRACTICO (PARTE II)	211
VI.- CONVERTIDORES A/D Y D/A CON APLICACIONES	219
VI.1 Introducción	221
VI.2 Convertidor digital-analógico (DAC)	222
VI.3 Convertidor analógico-digital (ADC)	230
VI.4 La hoja de datos de los DAC's y ADC's comerciales	239
VI.5 Fallas en los DAC's y ADC's	240
VI.6 Métodos de corrección de fallas en los DAC's y ADC's	241
DESARROLLO PRACTICO (PARTE I)	243
DESARROLLO PRACTICO (PARTE II)	251
VII.- MALLAS DE FASE ENCADENADA (PLL)	263
VII.1 Introducción	265
VII.2 Operación del PLL	265
VII.3 Elementos internos del PLL	268
VII.4 Terminología empleada en los PLL	269
VII.5 Respuesta del PLL	269
VII.6 Características de los elementos para el diseño de circuitos con PLL	274
VII.7 Fallas en los circuitos con PLL	277
VII.8 Aplicaciones del PLL	278
DESARROLLO PRACTICO	281

VIII.- CIRCUITOS CON MICROPROCESADORES Y APLICACIONES	291
VIII.1 Introducción	293
VIII.2 El microprocesador	293
VIII.3 Definición de un circuito basado en el microprocesador	308
VIII.4 El diseño de circuitos basados en el microprocesador	311
VIII.5 Descripción de que es un sistema mínimo	316
VIII.6 Fallas en los circuitos con microprocesador	335
VIII.7 Aplicaciones del microprocesador	339
IX.- PROYECTOS	347
IX.1 Introducción	349
IX.2 Definición de un proyecto	349
IX.3 Definición del diseño	352
IX.4 Técnicas de diseño	353
IX.5 Tipos de diseño	354
IX.6 Procedimiento de diseño	355
IX.7 Diseño de un sistema pequeño	367
CONCLUSIONES	385
BIBLIOGRAFIA	391

INTRODUCCION

Los grandes avances en el área de la electrónica se han dado por el desarrollo constante de dispositivos cada vez más potentes, flexibles, funcionales y de bajo costo. Desde la aparición de los circuitos integrados a principios de la década de los años 60's hasta nuestros días hemos visto aparecer sistemas y equipos electrónicos que realizan diversidad de funciones que años atrás no eran posibles.

Los dispositivos electrónicos (cabe mencionar que, cuando hablemos de dispositivos nos referiremos a los dispositivos electrónicos) con los que contamos en la actualidad han permitido simplificar el diseño de circuitos electrónicos y de control; el uso adecuado de los mismos depende exclusivamente del ingeniero, quien debe seleccionarlos dada su aplicación en particular; para ello debe consultar manuales y catálogos de los diferentes fabricantes a fin de ensayar y determinar la organización más adecuada en que deben disponerse los dispositivos para desarrollar circuitos o sistemas.

Para lograr dominar las técnicas de diseño es indispensable estar en contacto continuo con los dispositivos que se emplean en el área de la electrónica. De esta forma se refuerzan los conocimientos teóricos y la capacidad de aplicarlos en problemas reales. Así es factible salvar ese gran abismo que existe entre la teoría y la práctica, creando un puente entre ambas.

Por lo anterior resulta importante que el ingeniero en electrónica conozca en gran medida cada uno de los dispositivos de que dispone, dado que esto le permitirá diseñar o en su caso modificar circuitos o sistemas electrónicos o de control.

CAPITULO I

**DESCRIPCION DEL EQUIPO EMPLEADO EN EL
LABORATORIO**

I.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO EN EL LABORATORIO

I.1 Introducción

Los instrumentos electrónicos con los que se cuenta actualmente son parte importante en el desarrollo de experimentos electrónicos, donde el éxito de estos, depende en gran medida de conocer las posibilidades, el modo de funcionamiento y operación de dichos instrumentos. Por lo que se hace imprescindible el estudio de los manuales correspondientes a los diferentes instrumentos que en su caso vayan a emplearse.

Por tanto, en el presente capítulo se describe parte del equipo electrónico con el cual se debe contar en un laboratorio electrónico; esto con la finalidad de conocer sus principios de operación, símbolos y términos y, de esta forma emplearlos correctamente para llevar a cabo las mediciones pertinentes, lo que permitirá hacer una evaluación correcta de los circuitos electrónicos que se desarrollan en un laboratorio.

I.2 Fuente de poder de DC

Los circuitos y equipos electrónicos requieren para su operación de fuentes de alimentación, algunos requieren energía de AC y otros de DC; la gran mayoría requieren energía de DC, dado que utilizan dispositivos que deben polarizarse, como son los transistores TBJ y JFET, amplificadores operacionales y dispositivos digitales. Sin embargo, la alimentación de energía por parte de las centrales generadoras es corriente alterna de 60 Hz; potencia que tiene que ser convertida a niveles de voltaje y corriente deseables para su utilización. Esto es factible cuando se cuenta con el equipo adecuado para realizarlo, es decir, con FUENTES DE PODER DE DC, equipo que está configurado de tal forma que realiza la conversión de potencia de AC a una corriente o voltaje de DC, y con ello suministrar la energía suficiente a las diferentes partes que conforman a un circuito electrónico.

Existen fuentes de DC para proporcionar ya sea un voltaje o una corriente constante; estas fuentes son referidas como modelos de voltaje constante (VC) o de corriente constante (CC). Cuando se opera como fuente de voltaje, su función será la de exhibir las características de una fuente de voltaje constante, es decir, cuando se ajusta el voltaje de la fuente, el voltaje de salida debe permanecer constante y sobre todo cuando existen variaciones en la carga. Si por el contrario, se opera como fuente de corriente, la corriente de salida debe permanecer sin variación, dando lugar con ello a que el voltaje varíe de acuerdo a la resistencia de carga que se conecta a la fuente. Estas dos características de las fuentes de poder se muestran en la figura I.1.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

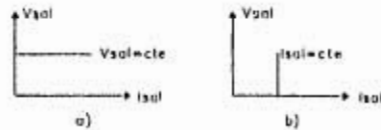


FIG. 1.1 a) Salida de una fuente de voltaje constante ideal;
b) Salida de una fuente de corriente ideal

Para describir el funcionamiento de una fuente de poder utilicemos el diagrama a bloques de la figura I.2. En la entrada se tiene un voltaje de 127 Vrms a 60 Hz; la reducción del voltaje se lleva a cabo a través de un transformador reductor, donde a la salida se tiene una señal análoga a la de entrada; esta señal se alimenta a una etapa de rectificación con la finalidad de convertir el voltaje de AC a un voltaje de DC pulsante. La señal rectificada pasa por una etapa de filtrado para suavizar las variaciones de dicha señal, dando lugar con ello a que se cuente con un voltaje de DC con una determinada componente residual de AC conocido como rizo; finalmente se lleva a una etapa de regulación para que a la salida se pueda mantener y ajustar el rango de voltaje deseado.

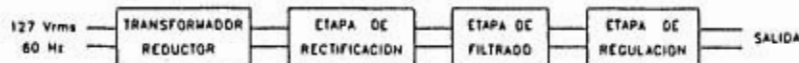


FIG. I.2 Diagrama a bloques de una fuente de poder de DC

Las características de una fuente de poder de DC son las siguientes:

- resistencia de salida muy pequeña (alrededor de 0.01Ω) para una fuente de voltaje constante;
- resistencia de salida muy grande (alrededor de $1M\Omega$) para fuentes de corriente constante;
- salida de corriente directa;
- regulación de carga de aproximadamente 0.1% ;
- entrada de corriente alterna; generalmente de $120 \text{ Vrms} \pm 10\%$ a una frecuencia de 50 a 65 Hz;
- rizo de aproximadamente $60 \mu\text{V}$ a 12 mV ;

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

- temperatura: se especifica el rango de temperatura al que puede trabajar una fuente.

Para la operación de una fuente de poder es necesario seguir los pasos siguientes:

- asegurarse de las conexiones en las terminales de la fuente;
- tener apagada la fuente cuando se conectan o desconectan cargas a la misma;
- emplear un sólo punto de aterrizaje, así como técnicas de blindaje para evitar que se provoquen cortos circuitos;
- conectar la carga en paralelo a la salida de la fuente como se muestra en la figura I.3 a); al conectarse de esta forma las variaciones en la corriente que circula por una sola carga no estarán acopladas conductivamente con las demás cargas (método correcto). Cuando la carga se conecta de forma incorrecta, figura I.3 b), la variaciones de corriente por lo general, originan picos de corriente en los extremos de las demás cargas.

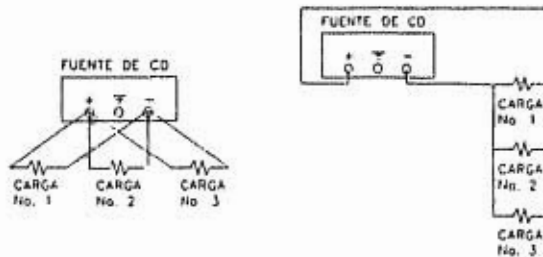


FIG. I.3 forma de conectar carga a una fuente de poder de DC
a) método correcto; b) método incorrecto.

I.3 Multímetro

Los multímetros son instrumentos que por lo general miden las variables de voltaje y corriente en AC y DC, resistencia, así como capacitancia, inductancia, el voltaje de umbral del diodo, el factor de amplificación de los transistores y con accesorios adicionales también son empleados para medir temperatura, frecuencia y presión.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

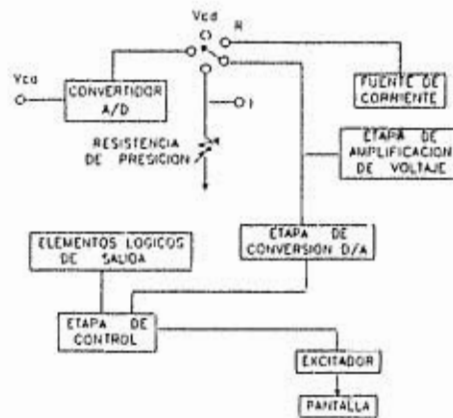


FIG. 1.4 Diagrama a bloques de un multímetro digital

Para un multímetro analógico y digital de baterías se tienen como características las siguientes:

- Baterías 2 de 1.5 V
1 de 9.0 V

vóltmetro

- rango de voltaje de DC 200mV a 1000V
- rango de voltaje de AC 750V
- exactitud 0.1%

ampérmetro

- rango de corriente 10mA a 20Amp
- exactitud 0.2%

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

Óhmetro

- rango de resistencia	0Ω	a	40MΩ
- exactitud para lecturas de resistencias menores a 40MΩ	0.2%		
- exactitud para lecturas de resistencias de 40MΩ	1%		

Recomendaciones para operar un multímetros analógicos y digitales.

- Asegurarse que todos los interruptores se encuentren desactivados antes de encender o apagar el instrumento.
- Cuando se realice una lectura en cualquiera de sus funciones debe empezarse por el rango más alto.
- No operar con rudeza.
- Verificar que la batería esté en óptimas condiciones para el caso de los multímetros que las requiera.
- Calibrar los instrumentos por lo menos una vez al año o según las especificaciones del fabricante.
- En el caso de los multímetros analógicos, verificar que la aguja esté siempre en cero antes de conectar el instrumento a un circuito.

I.4 Generador de funciones

El generador de funciones es un instrumento capaz de funcionar como una fuente de señales de diferentes formas de onda en un amplio rango de frecuencias. En este tipo de generadores se obtienen básicamente tres tipos de ondas, las cuales son:

- senoidal
- cuadrada
- triangular

Sin embargo, existen modelos de generadores de funciones que además de proporcionar las formas de onda anteriores pueden generar rampas, pulsos, ondas trapezoidales o dientes de sierra. Esto nos lleva a que los generadores de funciones sean instrumentos muy versátiles, y puedan ser utilizados en un amplio campo de la electrónica. En la figura I.5. se muestra un diagrama a bloques de un generador de funciones básico.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

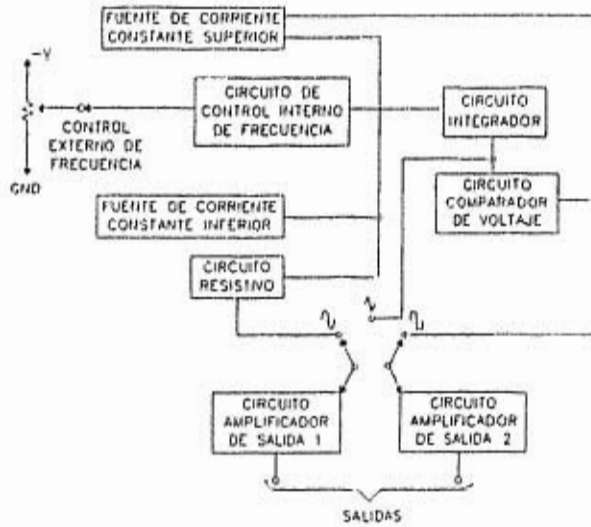


FIG. I.5 Diagrama a bloques de un generador de funciones de propósito general

Las principales características de los generadores de funciones son:

- | | |
|---|--|
| - ondas de salida | senoidal, cuadrada, triangular, diente de sierra, trapezoidal, pulso, rampa. |
| - amplitud de salida | 100mVpp a 50Vpp |
| - impedancia de salida | 50 Ω a 600 Ω |
| - rango de frecuencia | 0.001 Hz a 20MHz |
| - respuesta transitoria tiempo de elevación y caída | 69ns |
| - distorsión de onda senoidal | -40dB a más de 50KHz
-50dB a menos de 50KHz |

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

I.5 Generador de pulsos

Este tipo de instrumento es diseñado para generar trenes de pulsos de igual amplitud; es decir, es un oscilador de pulsos cuadrados. Están diseñados de tal forma que generan pulsos que se aproximan a los pulsos ideales. La amplitud, el ancho del pulso y el período del pulso se generan con frecuencias ajustables a varios rangos. El diagrama a bloques de un generador de pulsos se muestra en la figura I.6.

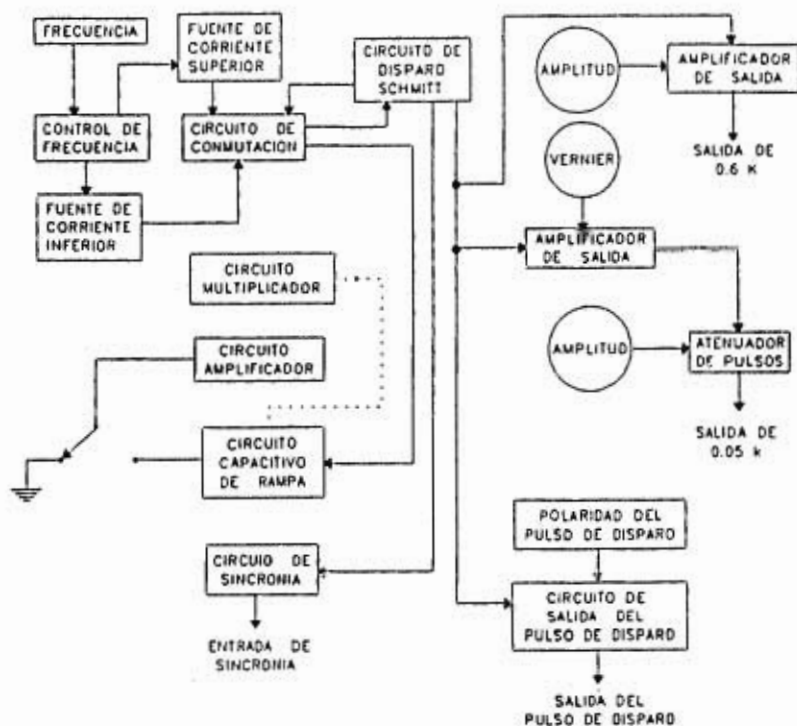


FIG. I.6 Diagrama a bloques de un generador de pulsos

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

Los términos que se usan para describir a un pulso se enumeran a continuación, mismos que se muestran en la figura 1.7.

- a) **Periodo:** es el tiempo entre el inicio de un pulso y el inicio del siguiente;
- b) **Amplitud:** polaridad del pulso y el valor del voltaje pico;
- c) **Ancho del pulso:** duración de la parte activa del pulso;
- d) **Ciclo de trabajo:** relación existente entre el ancho del pulso y el periodo del mismo.
- e) **Sobrepaso:** porcentaje en el que el pulso rebasa su valor estable durante la elevación original;
- f) **Oscilación:** ésta se presenta debido al sobrepaso;
- g) **Tiempo de elevación:** tiempo que tarda el pulso para que suba de un 10% a un 90% de la amplitud;
- h) **Tiempo de caída:** tiempo que tarda el pulso para bajar de un 90% a un 10% de la amplitud.
- i) **Decaimiento:** disminución de la amplitud del pulso que se presenta durante el ancho del pulso;
- j) **Tiempo de asentamiento:** tiempo que transcurre para que el sobrepaso quede dentro de un porcentaje especificado;
- k) **Variación del periodo:** define la variación máxima en periodo de un ciclo al siguiente;
- l) **Línea de base:** nivel de corriente directa en el cual empieza el pulso.

Dentro de los generadores de pulsos, se encuentran los GENERADORES DE PALABRAS, mismos que permiten generar una secuencia de varios pulsos consecutivos.

Para seleccionar un generador de pulsos correctamente es necesario consultar las especificaciones del mismo. Las características de este tipo de instrumento son:

- **Generación de pulso doble:** genera pulsos con una separación mínima de 1 a 2 ns.
- **Impedancia de salida:** normalmente es de 50Ω.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

- *Ciclo de trabajo:* este se encuentra comprendido en un 10% a 90%, sin embargo, puede ajustarse externamente.
- *Fase de inicio:* normalmente es de un $\pm 90\%$.
- *Periodo de pulso:* éste puede variarse de entre 1 a 10 ns, con una exactitud del 3%.
- *Retardo de pulso:* normalmente éste retardo se encuentra comprendido en un rango de 2 ns a 1 s.
- *Duración del pulso:* son iguales a los del retardo.
- *Tiempo de elevación y caída:* tiempo que puede variar, pero normalmente es de 0.5 s con exactitud del 3%. Estos tiempos pueden ser controlados por separado.
- *Corriente de la línea base:* ésta se da, en base a un corrimiento en el pulso generado; dicho corrimiento puede ser de hasta ± 10 Volts con exactitud del 1%.

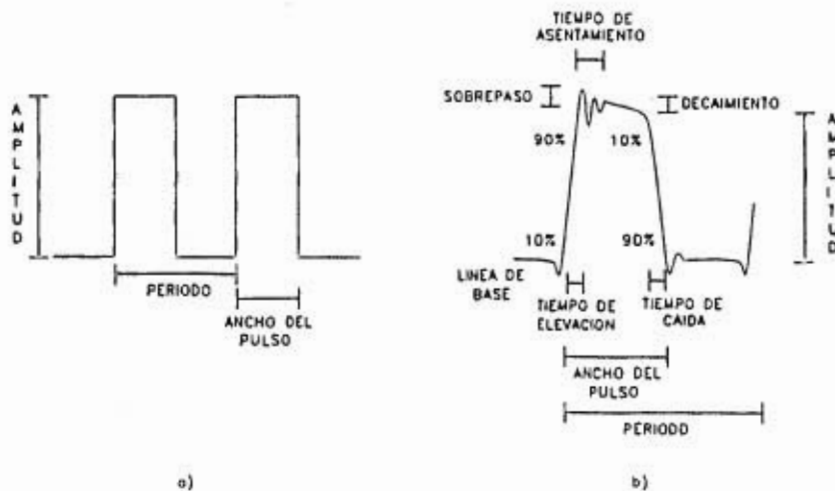


FIG. I.7 Características de un pulso
a) ideal, b) real

I.6 Osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento de medición versátil, mismo que permite el despliegue de señales eléctricas, de las cuales se puede calcular su amplitud y frecuencia. Este instrumento depende del movimiento de un haz de electrones, el cual es visible cuando choca contra una superficie de fósforo. El haz de electrones se mueve en un plano a través de dos ejes ortogonales para la construcción de las gráficas convencionales. El diagrama a bloques típico de un osciloscopio se muestra en la figura I.8.

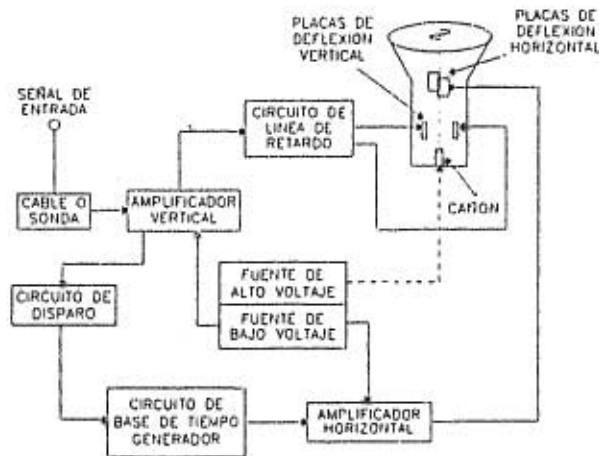


FIG. I.8 Diagrama a bloques de un osciloscopio

Los subsistemas que conforman a un osciloscopio, mismos que permiten efectuar una parte de la medición o despliegue de señales son:

El tubo de rayos catódicos: es un recipiente de vidrio sellado con un cañón de electrones y un sistema de deflexión en un extremo, y de una pantalla fluorescente en el extremo contrario. La función del cañón es la de producir un haz de electrones, éste se produce cuando el cátodo se calienta a alta temperatura. La cantidad de electrones se puede controlar variando la magnitud del voltaje; una vez que el haz deja el cañón se enfoca y acelera para hacerlo pasar por dos conjuntos de placas deflectoras perpendiculares entre sí, entre las cuales existe una diferencia de potencial, permitiendo con ello que el haz no se desvíe de su trayectoria.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

El propósito de colocar dos conjuntos de placas deflectoras perpendiculares entre sí, es el de controlar en forma aislada el haz, tanto en dirección vertical como horizontal. Una vez que el haz pasa por las placas choca con la pantalla fluorescente, donde el material de ésta emite un punto visible, logrando con ello que el haz se mueve en la pantalla en forma repetida a lo largo de la misma trayectoria, y si esa repetición se lleva a cabo rápidamente, la imagen será una línea continua.

Subsistema de deflexión vertical: amplifica o atenúa las señales de entrada, esto con la finalidad de producir una figura correcta cuando se apliquen las señales a las placas de deflexión vertical sin que se introduzca distorsión apreciable en el sistema.

Circuito de la línea de retardo: demora la señal vertical amplificada o atenuada, antes de que se aplique a las placas deflectoras del CRT, y de esta manera sincronizarla con el flanco delantero de la señal de entrada, lo que permite iniciar el despliegue en la pantalla del CRT. Recordemos que la señal de entrada que se aplica al amplificador horizontal y que además se usa para iniciar la onda de barrido se retrasa al pasar por los diferentes circuitos, dando lugar a que el despliegue no se realice si la onda de barrido no ha empezado.

Subsistema de deflexión horizontal: consta de una base de tiempo, un circuito de disparo y un amplificador horizontal. La base de tiempo controla la velocidad del haz con la que se barre en la superficie de la pantalla. Por su parte, el circuito de disparo asegura que el barrido horizontal se inicie en el mismo punto en que la señal de entrada vertical; y por último el amplificador horizontal incrementa la amplitud de las señales generadas al nivel requerido en las placas deflectoras horizontales.

Puntas de prueba: efectúan la detección de las señales en su fuente y las transfieren a las entradas del osciloscopio.

Circuitos de calibración: verifican que el amplificador vertical se encuentre amplificando con exactitud la magnitud de las señales de entrada. Esto se realiza aplicando una señal de amplitud conocida a las entradas del osciloscopio, observando si la lectura obtenida es distinta al valor conocido de referencia. Si se observa alguna diferencia, el amplificador vertical no está calibrado, por lo que deben de efectuarse los ajustes de corrección del instrumento para restaurar la exactitud adecuada en la pantalla.

Las características más generales de un osciloscopio son las siguientes:

Seguimiento rápido: debido a su mecanismo de despliegue, los osciloscopios pueden seguir señales con frecuencias mayores a 1 GHz.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

Diversidad de muestras y señales: La alta capacidad de seguimiento del osciloscopio le permite mostrar casi todo tipo de señales en su pantalla.

Posibilidad de realizar diferentes tipo de mediciones: al de ser un trazado de voltaje, permite determinar la variación del voltaje con respecto al tiempo; así como medir corriente, tiempo, frecuencia y diferencia de fase; es más, puede hasta monitorear la salida de transductores.

Las siguientes reglas permiten usar al osciloscopio correctamente, y con ello realizar las mediciones pertinentes eficientemente.

- 1.- La tierra del osciloscopio se conecta a la tierra del circuito por separado, aún cuando se esta realizando alguna medición en un punto determinado del circuito.
- 2.- Cuando se realiza la medición de voltaje entre dos puntos no aterrizados, la conexión que se realiza dependerá del tipo de entrada disponible en el osciloscopio que se use.
- 3.- La medición de voltaje en un punto determinado con respecto a tierra debe realizarse con una conexión adicional, lo que depende del tipo de entrada del osciloscopio.

I.7 Sonda lógica

La sonda lógica es un instrumento muy sencillo. Indica los niveles lógicos en todos y cada uno de los puntos de un sistema digital. Se emplea en las pruebas de los IC's, así como para indicar la presencia y polaridad de cualquier pulso en forma individual. La figura I.9 muestra una sonda lógica.

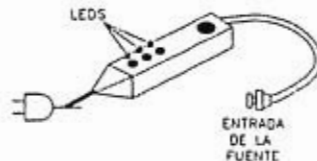


FIG. I.9 Esquema de una sonda lógica

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

La sonda lógica requiere de 5 volts para su óptimo funcionamiento. Presenta aproximadamente una impedancia de entrada de $10k\Omega$, logrando con ello la compatibilidad con los IC's (sobre todo con los TTL); no cuenta con ningún control de operaciones o ajuste; sólo contiene un conjunto de leds indicadores. Se emplea en cualquier análisis de lógica de los IC's; generalmente cuando se desea determinar pulsos de duración corta y velocidad baja, los cuales en un osciloscopio sería difícil observarlos.

El modo de operación de la sonda lógica es relativamente sencillo, sin embargo, puede presentar dificultades al momento de emplearla. Si la sonda se utiliza para determinar los niveles lógicos, la leds se encenderán cuando en la entrada del circuito integrado se aplique un nivel lógico alto; en cambio se apagarán cuando se presente en la misma un nivel lógico bajo.

1.8 Grapa de lógica

La grapa de lógica se emplea en la localización de fallas de los IC's digitales, siendo muy eficiente cuando se usa junto con la sonda lógica; sin embargo, las funciones que realiza las desempeña sin equipo adicional. La facilidad para operarla se debe a que no requiere de controles de ajuste. La grapa de lógica se monta sobre los IC's y de manera instantánea por medio de leds que se localizan en la parte superior se exhiben los estados lógicos que se presentan en los diferentes pines. Los leds siguen los cambios de nivel en la entrada correspondiente de manera independiente.

Se usa para conocer el nivel lógico presente en los diferentes pines de un IC digital, y con ello determinar si existen posibles fallas en las conexiones o en el IC. En realidad la grapa de lógica es un conjunto de voltímetros binarios. La grapa de lógica se muestra en la figura I.10.

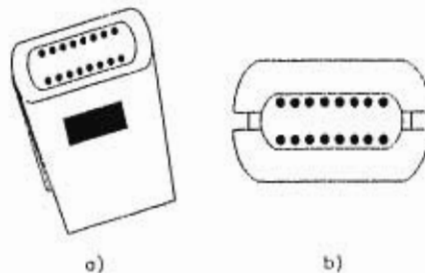


FIG. I.10 Grapa de lógica a) Vista general, b) Vista superior

I.9 Comparador de lógica

Este instrumento lógico se sujeta a los IC's y por medio de un esquema de comparación se exhiben de manera instantánea las diferencias entre el IC de referencia y el de prueba. El comparador de lógica no cuenta con controles de operación y ajuste, además de que no requiere conexiones externas de energía. Con este instrumento se ahorra tiempo en la localización de fallas en un circuito digital.

Para emplearlo primero debe identificarse el circuito a probar en el sistema digital, encontrándose energizado y funcionando. Una vez que se tiene identificado el circuito defectuoso, se inserta sobre él un tablero de referencia que cuente con un circuito del mismo tipo en buenas condiciones, obteniéndose una indicación inmediata, sólo si el circuito que se prueba opera de forma incorrecta.

Cuando se realiza la conexión, si existe una falla en algún pin de entrada, ésta aparecerá como una falla en el circuito que maneja al IC posiblemente defectuoso, por lo tanto la falla detectada indica el pin que en realidad se encuentra funcionando incorrectamente.

En términos generales el usuario determina si un IC falla dentro de un sistema con sólo observar la indicación del comparador de lógica. Un comparador de lógica se muestra en la figura I.11.

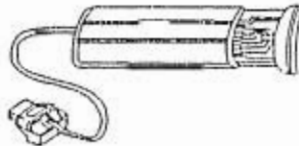


FIG. I.11 Comparador de lógica

I.10 Pulsador lógico

El pulsador lógico se emplea en la prueba de los IC's, así como en la detección de fallas. Genera un pulso corto cuando se activa un botón. La estructura del pulsador cuenta con una punta muy fina, misma que permite hacer contacto con el punto donde se requiere hacer la prueba. Este instrumento presenta una impedancia de salida muy baja, con lo que se logra cambiar el voltaje de un punto en particular.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

El pulsador lógico detecta el nivel lógico existente en un punto, y también produce pulsos en la dirección opuesta. Se emplea para modificar el nivel lógico en un punto determinado de un circuito de manera momentánea, sin importar que el punto se localice a la salida de cualquier otro circuito, es decir, si el punto se encuentra en un nivel bajo al momento en que se activa el botón del pulsador se produce un pulso de una duración corta para obtener un nivel alto; por el contrario, si el punto se encuentra en un nivel alto al momento de activar el botón del pulsador se genera un pulso negativo de igual duración que el anterior.

El pulsador lógico y la sonda lógica se emplean juntos para determinar la operación correcta de un circuito; el primero generando un pulso y el segundo detectando al mismo. Pero debe de tenerse presente que un pulsador lógico no puede generar un pulso en un punto donde se localice un corto circuito ya sea a Vcc o GND. La figura I.12 muestra a un pulsador.

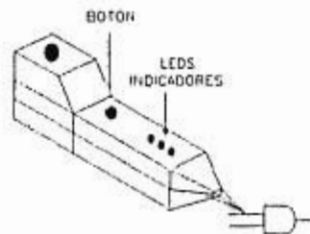


FIG. I.12 Pulsador lógico

I.11 Trazador de corriente

El trazador o detector de corriente consta de una punta aislada que contiene una bobina que sirve para detectar el campo magnético variable que se produce por cambios en la corriente, además de contar con un indicador luminoso; no requiere de aditamentos especiales ni de controles de operación y ajuste.

La aplicación principal del trazador de corriente es para encontrar en un alambre o pista de un circuito impreso las fallas que produce una corriente variante.

La figura I.13 muestra a un trazador de corriente. Este instrumento se emplea junto con la sonda lógica y el pulsador lógico para detectar con mayor facilidad los cortos circuitos a Vcc o GND, así como las fallas en circuitos donde se cuente con dispositivos de tres estados y de colector abierto.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

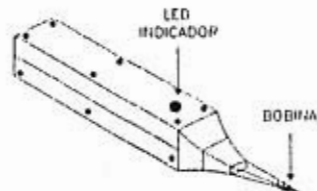


FIG. 1.13 Trazador o detector de corriente

I.12 Analizador de estados lógicos

Dentro del equipo con el que se debe contar en un laboratorio de electrónica está el analizador de estados lógicos; equipo que se emplea para realizar un análisis muy detallado de los sistemas digitales. Es un equipo electrónico que proporciona una visualización de múltiples canales de datos digitales secuenciales en forma de pulsos, o de manera tabular en patrones de unos y ceros. Para llevar a cabo la visualización de los datos se emplea una punta de prueba multicanal de la cual se pueden obtener de 4 a 64 datos simultáneos y ser observados en un número igual de canales. Los datos se almacenan en memoria cuando se realiza un disparo, mismo que define la terminación de captura de datos que han de analizarse, procediendo posteriormente a desplegar la visualización en pantalla.

El diagrama a bloques típico del analizador de estados lógicos se muestra en la figura I.14. La operación del analizador de estados lógicos se define en cuatro funciones básicas:

- Adquisición de datos

Se realiza a través de varios canales agrupados en un solo conector multicanal (punta de prueba), donde las señales de entrada pasan a través de un detector de nivel que tiene como finalidad convertir las señales en niveles lógicos apropiados que son requeridos por el analizador.

- Disparo

Su función es la de registrar y analizar todos los datos de entrada; esto se realiza a través del control escritura/lectura, el cual normalmente se encuentra en un nivel lógico bajo, permitiendo con ello el registro de datos en la memoria. Cuando se proporciona el pulso de disparo en el analizador todos los datos que se presentan posteriormente no son registrados debido a que la memoria se bloquea con el pulso. Este disparo se realiza de dos formas; la primera se denomina como reconocimiento de palabra, y a la segunda se le denomina cualificación.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

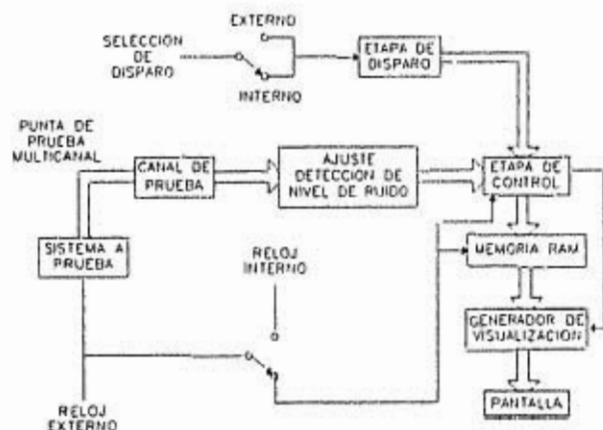


FIG. 1.14 Diagrama a bloques del analizador de estados lógicos

- Almacenamiento de datos

Se hace uso de una memoria de acceso aleatorio, donde los bits son desplazados en serie conforme estos se aplican por el conector multicanal de entrada, logrando con ello que el primer bit almacenado termine en la última posición de memoria. Para almacenar los datos en memoria se debe formatear a la memoria de acceso aleatorio de manera adecuada para con ello lograr almacenar todos los datos de los diferentes canales de entrada. Debe tenerse presente que la capacidad de manejo de información queda definida por la capacidad del analizador.

- Representación de datos

Una vez almacenados los datos en la memoria del analizador se procede a desplegarlos en la pantalla del mismo; el despliegue de datos se puede representar de diferentes formas, lo cual depende del tipo de analizador lógico. Los formatos que se emplean son:

Formato simple: es la representación por medio de diodos emisores de luz agrupados en un panel frontal ubicado generalmente en la parte superior derecha del analizador.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

Formato en pantalla: representación que cubre tres formas comunes:

- a) *Formato de tiempo:* es la representación de los datos digitales almacenados en memoria a través de series de pulsos.
- b) *Formato en patrones:* es la representación tabular de los datos digitales en unos y ceros. Generalmente esta representación es en binario y en hexadecimal.
- c) *Formato de mapeo:* es la representación de un modelo de puntos del sistema digital mostrado en forma de mapa.

Por lo anteriormente descrito un analizador de estados lógicos debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Capacidad para seguir y desplegar diferentes señales en un mismo instante de tiempo.
- Debe de contar con circuitos de disparo interno y externo que permitan la captura de datos de los diferentes bloques de que consta el sistema a probar.
- Velocidad de muestreo alta para obtener una precisión adecuada en la captura de datos.
- Capacidad para desplegar los datos capturados y almacenados en memoria en diferentes formatos: binario, hexadecimal, de tiempo y mapeo.
- Capacidad para adaptarse a las diferentes familias lógicas.
- Capacidad para detectar fallas en el hardware del sistema.
- Capacidad para comparar los datos de entrada con los datos de referencia almacenados en la memoria.

Descripción del Equipo Empleado en el Laboratorio

CAPITULO II

ANALISIS DE COMPUERTAS Y FAMILIAS LOGICAS

II.- ANALISIS DE COMPUERTAS Y FAMILIAS LOGICAS

II.1 Introducción

El desarrollo de la industria electrónica tiene como tendencia la disposición de nuevas técnicas y procesos de fabricación de dispositivos con características propias, mismas que permitan realizar diversas operaciones con gran confiabilidad y a un bajo costo. La tecnología digital es la que más se ha desarrollado en los últimos años, donde se han implementado diferentes familias de circuitos integrados (IC's).

Los IC's digitales operan en uno de dos posibles valores de tensión, mismos que representan a uno de los dos posibles niveles lógicos, de tal forma que una de las características de estos dispositivos es que son diseñados para que consuman un nivel de corriente bajo.

La popularidad que han alcanzado los IC's digitales se debe a diversos factores; tales como: confiabilidad, tamaño y peso, así como un bajo costo de fabricación.

El desarrollo de los IC's digitales se ha diversificado en tal medida, que han tenido que dividirse en dos grandes grupos, esto tomando en consideración el dispositivo semiconductor que se emplea en la fabricación de los mismos. Estos grupos son: el bipolar y el monopolar.

Por tanto, resulta obvio que el uso de los IC's lleva consigo a que los sistemas digitales sean más confiables, debido principalmente al mínimo número de conexiones externas entre dispositivos que se realizan. Sin embargo, debe tenerse presente que los IC's digitales no pueden realizar algunas funciones; tales como las siguientes:

- no son capaces de manejar grandes flujos de corriente o voltaje, debido a que el calor generado en un espacio pequeño provoca un incremento de la temperatura muy por encima de los límites aceptables;
- no pueden reemplazar dispositivos eléctricos, tales como inductores, transformadores y capacitores grandes.

Por lo anterior, y debido al gran uso que se les da a los IC's digitales es necesario conocer y comprender sus características y parámetros principales, sobre todo de las más empleadas en la actualidad.

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

II.2 Familias lógicas

Una familia lógica es una técnica o proceso de fabricación de circuitos integrados. Existen diferentes familias lógicas de circuitos integrados, mismas que están clasificadas de acuerdo al dispositivo semiconductor incorporado en su fabricación, así como por las conexiones realizadas entre sí para generar operaciones lógicas. La disposición de las diferentes familias desarrolladas es la siguiente:

FAMILIA LOGICA	BIPOLAR	<ul style="list-style-type: none"> RTL: lógica resistencia-transistor DTL: lógica diodo-transistor TTL: lógica transistor-transistor HTL: lógica de umbral alto ECL: lógica de emisores acoplados IIL: lógica de inyección integrada
	MONOPOLAR	<ul style="list-style-type: none"> NMOS: metal-óxido semiconductor, canal N PMOS: metal-óxido semiconductor, canal P CMOS: metal-óxido semiconductor complementario

II.2.1 Características de las familias lógicas

En el diseño de los circuitos digitales es importante considerar cada una de las características de las familias lógicas, dado que a partir de éstas se obtiene la información correspondiente para llevar a un sistema a su óptimo funcionamiento.

II.2.1.a Estructura típica de una familia lógica

Es la representación de la circuitería de entrada y salida de la familia lógica, y que generalmente se denomina esquema. Esta representación es importante, sobre todo cuando se desea realizar la interconexión de diferentes familias. En la figura II.1 se muestran las estructuras de dos familias típicas para una función específica.

De la estructura se obtienen todos y cada uno de los parámetros que el fabricante proporciona en la hoja de datos; cabe mencionar que la estructura por lo regular no se muestra en la hoja de datos del fabricante.

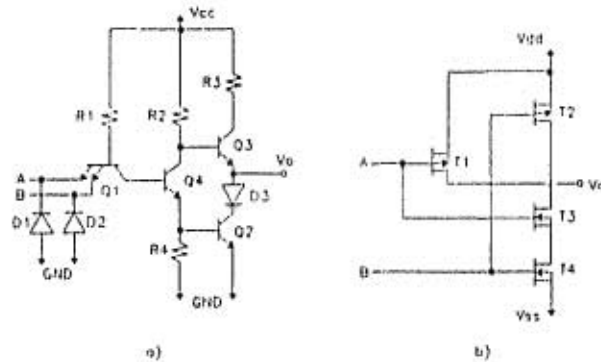


FIG. II.1 Estructura típica correspondiente a dos familias lógicas: a) TTL, b) CMOS.

II.2.1.b Curva característica (función de transferencia)

Es la representación gráfica del comportamiento de una familia lógica, misma que relaciona el voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada. Normalmente, en las hojas de los fabricantes, las curvas características no se proporcionan de forma gráfica (figura II.2), si no, que se proporcionan las zonas de operación en las cuales se encuentran las curvas características de las familias lógicas (figura II.3).

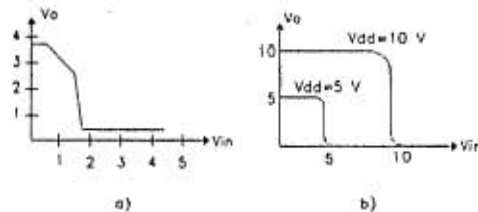


FIG. II.2 Curvas de transferencia correspondientes a las familias: a) TTL estándar, b) CMOS

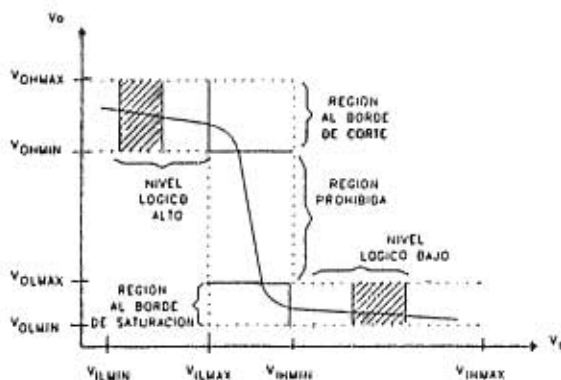


FIG. 11.3 Curva de transferencia correspondiente a las zonas recomendadas de operación

II.2.1.c Cargabilidad

En el diseño de circuitos digitales se realiza la conexión de diferentes bloques, mismos que tienen a bien llevar a que un sistema funcione correctamente. Para ello, debe tomarse en cuenta la capacidad de los diferentes bloques para excitar a otros; a esta capacidad se le denomina cargabilidad, y se refiere al número máximo de cargas que pueden acoplarse a la salida de un circuito sin que se altere el funcionamiento de este último. Esto se explica en términos de la cargabilidad de salida (fanout F_o) y de la cargabilidad de entrada (fanin F_i). La cargabilidad de un circuito se representa por la letra "N" y se expresa como:

$$N = \frac{F_i}{F_o}$$

En la práctica, la cargabilidad de una familia lógica se determina realizando el análisis de la misma; en cambio, en un IC, se requiere conocer la capacidad de salida junto con los requerimientos de corriente de cada entrada, es decir, para la salida es necesario conocer la I_{OLMAX} y la I_{OHMAX} , y para la entrada, la I_{ILMAX} y la I_{IHMAX} . Estas corrientes se encuentran de alguna forma u otra en las hojas de datos del fabricante, por lo que definiendo la cargabilidad de salida en términos de estos parámetros se tiene:

Factor de carga de salida (bajo)

$$F_{CSL} = \frac{I_{OLMAX}}{I_{ILMAX}}$$

Factor de carga de salida (alto)

$$F_{CSH} = \frac{I_{OHHMAX}}{I_{IOHMAX}}$$

De los factores anteriores, debe tomarse en cuenta el que resulte menor, lo que garantizará que la salida del circuito, que opera como comando, excitará en forma adecuada a los circuitos que se encuentran conectados a él. Sin embargo, algunos fabricantes especifican la cargabilidad en función de un término denominado unidad de carga (U.L.), el cual se define como:

1 U.L. = 1.6 mA, cuando se habla de un estado bajo;

1 U.L. = 40 μ A, cuando se habla de un estado alto.

II.2.1.d Tiempo de propagación

Uno de los requisitos indispensables en todo sistema es la velocidad con la que puede funcionar, ésta se especifica en términos del tiempo de propagación, definiéndose como el tiempo que tarda una señal en propagarse a través de un circuito cuando se le ha aplicado una señal. Para determinar el tiempo de propagación, se considera un punto determinado de la señal de entrada con respecto al mismo punto de la señal de salida; a este punto se le denomina punto del 50%, debido a que se encuentra a la mitad de la señal entre los niveles alto y bajo (figura II.4).

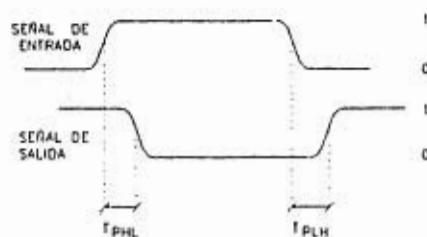


FIG. II.4 Representación gráfica de los tiempos de propagación

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

Los tiempos de propagación observados en la figura II.4 se definen como sigue:

- T_{PHL} : tiempo que tarda una señal en propagarse desde la entrada hasta la salida de un circuito lógico cuando se presenta un cambio de nivel de ALTO a BAJO;
- T_{PLH} : tiempo que tarda en propagarse una señal desde la entrada hasta la salida de un circuito cuando se presenta un cambio de nivel de BAJO a ALTO.

Estos tiempos no son del mismo valor, debido principalmente a que varían de acuerdo a las condiciones de carga, por lo que se emplean como una medida de las velocidades relativas de los diversos circuitos digitales; de tal forma, que el tiempo de propagación total promedio de un circuito se determina de la forma siguiente:

$$T_P = \frac{T_{PLH} + T_{PHL}}{2}$$

II.2.1.e Disipación de potencia

Potencia que absorbe un circuito integrado. La suma de las potencias disipadas de los elementos u operadores que constituyen a un IC completo, determina el consumo de potencia total del sistema; es decir, esto determina la potencia requerida de la fuente de alimentación correspondiente, quedando definida por la expresión:

$$P_D = (V_{CC}) (I_I)$$

donde

V_{CC} : Voltaje de alimentación.

I_I : Intensidad de corriente de entrada.

La potencia disipada por un IC difiere muchas veces, según el nivel lógico. Por ello, y para fijar criterios los fabricantes de IC's proporcionan sólo un valor, que es el promedio entre las potencias disipadas a un nivel lógico alto y a un nivel lógico bajo, es decir:

$$P_D = \frac{P_{OH} + P_{OL}}{2}$$

II.2.1.f Producto potencia-velocidad

Característica de gran interés, debido a que entre menor sea este producto, mejor es la técnica de realización de la familia lógica; sin embargo, el cubrir dos requisitos indispensables como lo son la disipación de potencia y velocidad de operación se crea un conflicto, dado que si en una familia se reduce la disipación de potencia, la velocidad de operación disminuirá, dado que existirá un retardo de las señales, y viceversa. Por tanto, una comparación de mérito entre familias lógicas es el producto potencia-velocidad, que se expresa como sigue:

$$P_{VP} = (T_p) (P_D)$$

II.2.1.g Margen de ruido

La inmunidad al ruido de un circuito se relaciona con la capacidad para operar de manera adecuada en un ambiente ruidoso. Por tanto, una medida cuantitativa de la inmunidad al ruido se le denomina MARGEN DE RUIDO, definiéndose como la variación de tensión que debe existir en la entrada de un circuito lógico sin que la salida sufra cambio alguno.

La relación de los niveles de voltaje estático que debe poseer una familia lógica en sus entradas para que en su salida no exista variación se denomina MARGEN DE RUIDO DE DC. En la figura II.5 se muestra esta relación, misma que nos permite obtener dos valores; estos son:

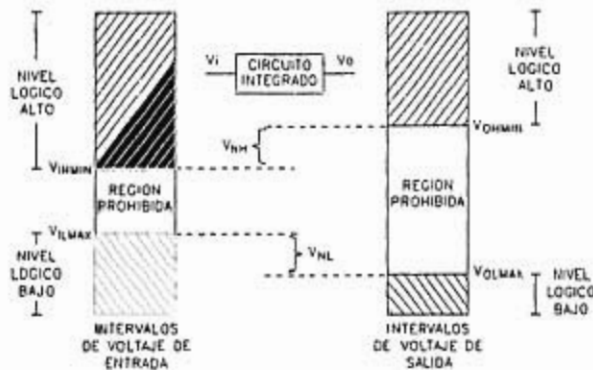


FIG. II.5 Márgenes de ruido de DC

Margen de ruido de estado BAJO (V_{NL})

$$V_{NL} = V_{ILMAX} - V_{OLMAX}$$

Margen de ruido de estado ALTO (V_{NH})

$$V_{NH} = V_{OHMIN} - V_{IHMIN}$$

En el anexo A se muestran las gráficas correspondientes a las características estáticas y dinámicas para las familias TTL y CMOS descritas con anterioridad.

11.3 Definición de parámetros

El uso correcto de los IC's depende del conocimiento de cada una de sus características. Con el fin de efectuar la elección correcta de un IC se describen a continuación los principales parámetros que emplean los diferentes fabricantes de estos dispositivos.

Parámetros de voltaje:

Voltaje de entrada V_i : tensión que se aplica en las entradas de un circuito para obtener de éste una respuesta, presentando dos niveles:

V_{IHMIN} : nivel de tensión mínimo que se requiere a las entradas para ser considerado como un alto. Un valor inferior a éste no será considerado como tal. En la hoja de datos del fabricante se proporciona el valor mínimo.

V_{ILMAX} : máximo nivel de tensión a la entrada para ser considerado como bajo. Un valor superior a éste no se podrá considerar como bajo. El valor que se especifica en la hoja del fabricante es el máximo.

Voltaje de salida V_o : parámetro que determina el intervalo de valores previstos a la salida cuando se ha aplicado una tensión de entrada a un circuito, presenta dos niveles:

V_{OHMIN} : nivel de tensión mínimo a la salida de un circuito para ser considerado como un nivel alto. Un valor por debajo de éste no podrá ser considerado como tal. Normalmente en la hoja de datos del fabricante se especifica el valor mínimo.

V_{OLMAX} : máximo nivel de tensión a la salida para ser considerado como un bajo. Se indica el valor máximo en la hoja de datos del fabricante.

Voltaje de alimentación V_{CC} : es la tensión requerida por el IC, y que debe aplicarse al mismo para que opere correctamente. La tensión de alimentación tiene una tolerancia del 5% en más o menos, por tanto tenemos:

$$V_{CCMIN} = V_{CC} - 5\%V_{CC}$$

$$V_{CCTIP} = V_{CCMIN}$$

$$V_{CCMAX} = V_{CC} + 5\%V_{CC}$$

Parámetros de corriente:

Corriente de entrada I_i : corriente capaz de excitar a los diferentes dispositivos en sus entradas, presenta dos valores:

I_{IH} : corriente que fluye en las entradas de un IC cuando se ha aplicado un nivel de tensión alto, por lo general es un valor muy pequeño y se determina en las condiciones siguientes:

$$I_{IH} @ \begin{matrix} V_{IHMIN} \\ V_{IHC MAX} \end{matrix}$$

I_{IL} : corriente que fluye en las entradas de un IC cuando se ha aplicado un nivel de tensión bajo, a esta corriente se le antepone un signo menos debido a que a pesar de ser corriente de entrada no la consume la compuerta si no que sale del misma, determinándose a partir de las condiciones siguientes:

$$I_{IL} @ \begin{matrix} V_{ILMIN} \\ V_{ILC MAX} \end{matrix}$$

Corriente de salida I_o : corriente que fluye en la salida de un IC cuando se ha aplicado una carga, presentando dos valores:

I_{OH} : corriente que un obtiene de un circuito cuando la salida toma un nivel alto para condiciones de carga específica. Esta corriente es negativa debido a que sale de la compuerta. Se determina bajo las condiciones siguientes:

$$I_{OH} \text{ @ } V_{OHMIN} \text{ y } V_{OHMAX}$$

I_{OL} : intensidad de corriente que un circuito consume cuando en su salida existe un nivel de tensión bajo para condiciones de carga específica, determinándose en las siguientes condiciones:

$$I_{OL} \text{ @ } V_{OLMAX} \text{ y } V_{OLMIN}$$

Corriente de alimentación I_{CC} : corresponde al consumo de corriente continua por cada circuito integrado, presenta dos valores:

I_{CC1} : es la corriente de alimentación que consume un IC cuando todas las salidas presentan un nivel lógico bajo. Se determina a un V_{CC} típico y una $T_A = 25^\circ\text{C}$.

I_{CC2} es la corriente de alimentación requerida por un IC cuando todas las salidas están a un nivel lógico alto, misma que se determina con un V_{CC} típico y una $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Corriente de corto circuito I_{OS} : corriente de salida de un IC cuando la salida de éste presenta un estado alto y se ha cortocircuitado la salida a tierra. Para obtener esta corriente se debe realizar la prueba con una duración máxima de tres segundos.

Los parámetros descritos con anterioridad se proporcionan en las diferentes secciones en que se divide la hoja de datos del fabricante, las cuales se mencionan a continuación.

Primera sección:

Se presenta una descripción de forma técnica del funcionamiento del dispositivo, una tabla de verdad, el diagrama lógico, un esquema simplificado de los diferentes dispositivos y los tipos de encapsulados.

Segunda sección:

Se proporcionan los valores absolutos máximos y mínimos que definen los límites en los cuales puede operarse un IC sin que sufra daño alguno; sin embargo, es importante aclarar que estos no son valores típicos de operación, por lo que nunca deben excederse bajo ninguna circunstancia. Si se dispone de los valores típicos, estos pueden usarse aún cuando se encuentren cerca de los valores máximos. Los parámetros que se incluyen generalmente en esta sección son:

- voltaje de alimentación;
- intervalos de operación a temperatura ambiente;
- corrientes de salida; y,
- cargabilidad.

Tercera sección:

Se proporcionan las características eléctricas de los dispositivos en un intervalo de operación recomendado, indicando las condiciones de prueba empleadas para obtenerlas. Es decir, incluye información muy completa sobre los IC's. Las principales características incluidas son:

Para DC:

- voltajes de entrada y salida para ambos niveles lógicos;
- corrientes de entrada para ambos niveles lógicos;
- corriente de corto circuito a la salida;
- corriente de polarización para ambos niveles lógicos; y,
- voltajes de encendido del dispositivo.

Para AC:

- tiempo de propagación para nivel lógico bajo y alto; y,
- formas de onda de salida de los dispositivos.

De esta sección los parámetros típicos son especificados a un voltaje nominal de alimentación y a una temperatura ambiente de 25°C; sin embargo, los niveles máximos y mínimos se obtienen en el peor de los casos.

Un ejemplo de la descripción de la hoja de datos del fabricante se muestra en el anexo B al final del capítulo.

II.4 Estructura física de un IC digital

La estructura física de un IC es un encapsulado de plástico o cerámica que dispone de un conjunto de terminales o pines, a través de los cuales se pueden realizar las conexiones correspondientes con otros dispositivos. El encapsulado más usado en la construcción de un IC es el de doble línea o paquete dual en línea, mismo que se muestra en la figura II.6.

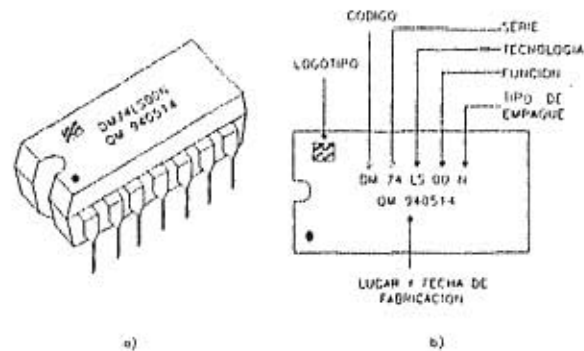


FIG. II.6 Circuito integrado digital a) Estructura física b) Marcas y decodificación

II.5 Tecnologías TTL y CMOS

II.5.1 Tecnología TTL

La familia TTL está disponible en dos versiones: la serie 54 y la serie 74. La serie 54 se destina para aplicaciones militares, siendo indispensable que trabajen con gran exactitud con rangos de operación amplios, tanto de temperatura como de voltaje. Esta serie sólo se fabrica bajo pedido. En cambio, la serie 74 se proyecta para aplicaciones industriales y de propósito general; encontrándose en el mercado como: 74XX, 74SXX, 74LSXX, 74LXX, 74HXX, 74ASXX ó 74ALSXX.

Las características de la familia TTL, en términos generales son las siguientes:

- tensión de alimentación: 5 V, con una tolerancia de $\pm 5\%$;
- niveles de voltaje de entrada: para nivel bajo, de 0 a 0.8 V;
para nivel alto, de 2 a 5 V;
- niveles de voltaje de salida: para nivel bajo, de 0.2 a 0.4 V;
para nivel alto, de 2.4 a 3.6 V;
- disipación de potencia: de 1 a 35 mW;
- factor de carga: de 10;
- margen de ruido: para nivel bajo, de 0.3 a 0.4 V;
para nivel alto, de 0.4 a 0.7 V;
- velocidad de operación: de 2 a 33 ns;
- tiempo de elevación o ascenso: de 3 a 70 ns; y,
- tiempo de bajada, caída o descenso: de 3 a 20 ns.

Análisis de Puertas y Familias Lógicas

Las reglas para usar circuitos TTL son:

- el voltaje de entrada máximo debe ser 5.25 V;
- el voltaje de entrada mínimo debe ser - 0.5 V;
- no deben conectarse las salidas al voltaje de polarización directamente;
- las entradas que no se emplean deben conectarse a Vcc a través de una resistencia de 1K o a GND según el dispositivo utilizado. No es recomendable que se conecten a una entrada en uso porque esto provocara un aumento del factor de carga de entrada.

II.5.2 Tecnología CMOS

La tecnología monopolar esta disponible en el mercado básicamente en dos series; la serie 40XX, o la serie 45XX; sin embargo, también se puede encontrar la serie 74CXX, 74HCXX ó 74HCTXX. Los factores que han permitido que la tecnología MOS haya alcanzado gran popularidad son:

- muy baja disipación de potencia;
- velocidad de operación aceptable, pero menor a la de la familia TTL;
- inmunidad al ruido muy alta; y,
- variedad de dispositivos de funciones diferentes.

La principal característica de la tecnología monopolar es la sensibilidad a las descargas estáticas y tensiones transitorias. Debido a la alta impedancia de entrada de los dispositivos MOS, se acumulan cargas electrostáticas que provocan que se dañe el aislamiento entre el canal y la compuerta. Es por ello que debe seguirse un procedimiento de operación y manejo de los dispositivos monopolares o de los circuitos donde se utilizan a los mismos; este procedimiento contempla los puntos siguientes:

- 1.- almacenar los dispositivos CMOS en papel aluminio o en una esponja semiconductor especial;
- 2.- desconectar las señales de entrada antes de despolarizar al circuito;
- 3.- desconectar la alimentación antes de realizar alguna modificación en las conexiones o al sustituir algún dispositivo;
- 4.- proteger a las tarjetas que contengan dispositivos MOS en bolsas metálicas o de plástico antiestático;
- 5.- las señales de entrada en los dispositivos MOS no deben de sobrepasar la tensión de alimentación;
- 6.- las entradas de los dispositivos MOS no utilizadas deben conectarse a tierra o a la tensión de alimentación; y,
- 7.- conectar el chasis de todos los instrumentos de medición y mesas metálicas a tierra física, así como el usuario de estos dispositivos deberá de conectarse a la mesa a través de una pulsera antiestática.

La tabla II.1 muestra algunos de los fabricantes de IC's digitales, así como los códigos, tecnologías y empaques utilizados por los mismos.

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

TABLA II.1 Compañías fabricantes de IC digitales.

FABRICANTE	CODIGO DEL FABRICANTE	TECNOLOGIA EMPLEADA	NUMERO DE UNIDAD	TIPO DE EMPAQUE
NATIONAL	DM	54/74:		
MOTOROLA	MC	SM LETRAS: ESTANDAR		
TEXAS INSTRUMENT	SN	S: SCHOTTKY		N: EMPAQUE DE PLASTICO
SIGNETIS	H	L: BAJA POTENCIA		J: EMPAQUE DE CERAMICA
INTEL	I o P	LS: SCHOTTKY DE BAJA POTENCIA	TODAS LAS QUE	
RCA	CA	H: ALTA POTENCIA	ESPECIFIQUE EL	W: EMPAQUE SIMPLE O PLANO
FAIRCHILD	F	AS: SCHOTTKY AVANZADA	FABRICANTE	D: EMPAQUE DE SUPERFICIE
MONOLITHIC MEMORIES	MM	ALS: SCHOTTKY AVANZADA DE BAJA POTENCIA		
ADVANCED MICRO DEV.	AM	74:		
ZILOG	Z	C: MOS		
		HC: MOS		
		HCT: MOS		

II.5.3 Comparación entre la tecnología TTL y CMOS

Una comparación cuantitativa entre las tecnologías TTL y MOS es la velocidad de operación y la disipación de potencia. En la figura II.7 se muestra dicha comparación tomando en cuenta estas dos características.

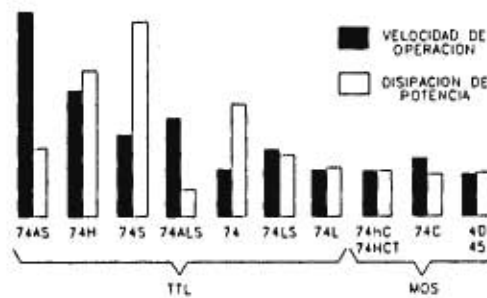


FIG. II.7 Comparación entre la TTL y CMOS

II.6 Circuitos integrados SSI

Los IC's SSI son compuertas lógicas que representan pequeños circuitos de conmutación, mismas que llevan a cabo ciertas operaciones sencillas con señales binarias, lo que permite establecer que pertenecen a los componentes de propósito general. Una compuerta lógica se define como un circuito que dispone de una entrada o más pero sólo una salida.

Las compuertas lógicas se dividen de acuerdo a la operación que realizan, siendo estas las siguientes:

Compuertas básicas:

- AND
- OR
- NOT

Compuertas derivadas:

- NOR
- NAND
- OR EXCLUSIVA
- NOR EXCLUSIVA
- BUFFER

En la tabla II.2 se proporcionan los circuitos SSI más comunes.

TABLA II.2 Circuitos SSI

No. de dispositivo	Descripción	Pd (mW)	Tp (ns)	Familia
TTL				
74LS00	Cuatro compuertas NAND de 2 entradas	3.0	9.5	TTL
74S00	Cuatro compuertas NAND de 2 entradas	19.0	3.0	TTL
74LS01	Cuatro compuertas NAND de 2 entradas con salida de colector abierto	3.0	16.0	TTL
74LS02	Cuatro compuertas NOR de 2 entradas	2.7	10.0	TTL
74S02	Cuatro compuertas NOR de 2 entradas	30.0	3.5	TTL
74LS04	Seis inversores	2.5	9.5	TTL
74LS05	Seis inversores con salida de colector abierto	2.5	16.0	TTL
74LS08	Cuatro compuertas AND de 2 entradas	10.0	9.0	TTL
74S08	Cuatro compuertas AND de 2 entradas	30.0	5.0	TTL
74LS09	Cuatro compuertas AND de 2 entradas con salida de colector abierto	5.0	18.5	TTL
74LS10	Tres compuertas NAND de 3 entradas	2.5	9.5	TTL
74S10	Tres compuertas NAND de 3 entradas	19.0	3.0	TTL

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

Continuación de la Tabla II.2

No. de dispositivo	Descripción	Pd (mW)	Tp (ns)	Familia
74LS11	Tres compuertas AND de 3 entradas	3.0	9.0	TTL
74LS12	Tres compuertas NAND de 3 entradas con salida de colector abierto	2.0	16.0	TTL
74LS15	Tres compuertas AND de 3 entradas con salida de colector abierto	4.0	18.5	TTL
74LS20	Doce compuertas NAND de 4 entradas	2.0	9.5	TTL
74S20	Doce compuertas NAND de 4 entradas	19.0	3.0	TTL
74LS21	Doce compuertas AND de 4 entradas	4.0	9.0	TTL
74LS22	Doce compuertas NAND de 4 entradas con salida de colector abierto	4.0	18.0	TTL
74LS26	Cuatro Buffer NAND de 2 entradas con salida de colector abierto	3.0	16.0	TTL
74LS27	Tres compuertas NOR de 3 entradas	6.0	10.0	TTL
74LS28	Cuatro Buffer NOR de 2 entradas	10.0	12.0	TTL
74LS30	Compuerta NAND de 8 entradas	2.0	10.5	TTL
74S30	Compuerta NAND de 8 entradas	20.0	3.0	TTL
74LS32	Cuatro compuertas OR de 2 entradas	6.0	14.0	TTL
74LS33	Cuatro Buffer NOR de 2 entradas con salida de colector abierto	10.0	19.0	TTL
74LS37	Cuatro Buffer NAND de 2 entradas	8.0	12.0	TTL
74LS38	Cuatro buffer NAND de 2 entradas con salida de colector abierto	6.0	19.0	TTL
74LS40	Doce Buffer NAND de 4 entradas	8.0	12.0	TTL
74LS86	Cuatro compuertas XNOR de 2 entradas	10.0	10.0	TTL
74LS125	Cuatro Buffer activados en bajo	25.0	8.0	TTL
74LS126	Cuatro Buffer activados en alto	25.0	8.0	TTL
74LS133	Compuerta NAND de 13 entradas	4.0	25.0	TTL
74LS136	Cuatro compuertas XNOR de 2 entradas con salida de colector abierto	20.0	18.0	TTL
74LS260	Doce compuertas de 5 entradas	4.0	10.0	TTL
MOS				
4001B	Cuatro compuertas NOR de 2 entradas	0.6	250.0	CMOS
4002B	Cuatro compuertas NOR de 2 entradas	0.3	300.0	CMOS
4011B	Cuatro compuertas NAND de 2 entradas	0.6	250.0	CMOS
4012B	Doce compuertas NAND de 4 entradas	0.3	320.0	CMOS
4023B	Tres compuertas NAND de 3 entradas	0.4	300.0	CMOS
4025B	Tres compuertas NOR de 3 entradas	0.4	350.0	CMOS
4049B	Seis Buffer	0.9	100.0	CMOS
4068B	Compuerta NAND de 8 entradas	0.2	350.0	CMOS
4069B	Seis inversores	0.9	120.0	CMOS
4070B	Cuatro compuertas XOR de 2 entradas	0.2	400.0	CMOS
4071B	Cuatro compuertas OR de 2 entradas	0.2	300.0	CMOS
4072B	Tres compuertas de 3 entradas	0.3	300.0	CMOS
4077B	Cuatro compuertas XNOR de 2 entradas	0.2	300.0	CMOS
4078B	Compuerta NOR de 8 entradas	0.1	400.0	CMOS
4081B	Cuatro compuertas AND de 2 entradas	0.6	300.0	CMOS
4086B	Doce compuertas AND de 4 entradas	0.3	300.0	CMOS

II.7 El diseño con circuitos SSI

Para diseñar circuitos digitales con dispositivos SSI se requiere de la aplicación metódica de principios, reglas y criterios de razonamiento perfectamente definidos. Los métodos empleados tratan los aspectos lógicos, donde estos son muy simples y, por tanto no requieren de matemáticas complicadas para la comprensión de los mismos. Por ende, el dominio de los métodos de diseño y análisis de circuitos lógicos es un proceso de aprendizaje a través de la práctica y no solamente de la teoría que se desarrolla sobre el mismo, dejando con ello el diseño empírico e intuitivo.

La aplicación metódica del diseño tiene sus raíces en un sistema algebraico de dos valores, mismo que permite darle un lenguaje simbólico de cálculo a las leyes fundamentales del razonamiento. A este sistema se le conoce como ALGEBRA BOOLEANA.

Las reglas del álgebra de Boole que permiten manipular las expresiones lógicas para simplificar y por ende minimizar los circuitos correspondientes se enuncian a continuación.

Leyes del producto lógico:

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

Leyes de la suma lógica

$$A + 0 = A$$

$$A + 1 = 1$$

Leyes de la similitud:

$$A \cdot A = A$$

$$A + A = A$$

Leyes del complemento:

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

$$A + \bar{A} = 1$$

Leyes conmutativas:

$$A \cdot B = B \cdot A$$

$$A + B = B + A$$

Leyes distributivas:

$$A(B + C) = AB + AC$$

$$A + BC = (A + B)(A + C)$$

Leyes asociativas:

$$ABC = (AB)C$$

$$A + B + C = (A + B) + C$$

Leyes de simplificación o absorción:

$$A(A + B) = A$$

$$A(\bar{A} + B) = AB$$

$$A + AB = A$$

$$\bar{A} \cdot \bar{B} = \overline{A + B}$$

$$\bar{A}(\bar{A} + B) = \bar{A}$$

$$\bar{A} + AB = \bar{A} + B$$

$$A + \bar{A}B = A + B$$

$$\bar{A} + \bar{B} = \overline{AB}$$

$$\bar{A} + \bar{A}B = \bar{A}$$

Ley de la doble negación:

$$\overline{\bar{A}} = A$$

Pero, ¿Cual es el punto de partida para diseñar circuitos lógicos con dispositivos SSI?. Por regla general, se inicia a partir de una descripción verbal, o de una lista de combinaciones de entrada para las que una señal debe estar activa o no. Posteriormente se obtiene una expresión lógica que cumpla con las especificaciones de la descripción verbal.

Una vez que se cuenta con la expresión lógica, se puede construir directamente el circuito o se puede manipular para obtener diferentes circuitos que lleven a cabo la misma función.

Por tanto, el diseño de circuitos lógicos con dispositivos SSI comprende tres puntos básicos; los cuales se mencionan a continuación:

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

- a) *Tabla de verdad*: es la representación tabular de todas las combinaciones posibles que se pueden presentar para generar una salida, claro de acuerdo a las especificaciones de una descripción verbal. Si se cuenta con N variables de entrada se deben obtener 2^N combinaciones posibles.
- b) *Ecuación lógica*: es la relación matemática que representa a las entradas y salidas de un circuito lógico, es decir, sintetiza el funcionamiento del mismo. La ecuación lógica consta de tres elementos; estos son: las variables de entrada, la función de salida y la operación lógica.
- c) *Diagrama de tiempos*: es la representación gráfica de las diferentes combinaciones de las variables de entrada y de la salida correspondiente.

Otro punto importante en el diseño de circuitos lógicos con dispositivos SSI, es el uso de los simuladores electrónicos, los cuales son muy útiles para diseñar prototipos sin tener que llevar a cabo ni una sola conexión física. Básicamente, estos simuladores implican al usuario la creación de su propio circuito, claro con la ayuda de librerías de componentes almacenadas en el programa de software o con la importación desde otras herramientas CAD compatibles. El uso de este tipo de software hace posible diseñar, probar y verificar tanto los módulos individuales como sus modelos de salida que se utilizarán para comprobar los módulos subsiguientes del circuito lógico. Esto permite establecer, que la principal ventaja al utilizar estas herramientas informáticas, es el ahorro de tiempo que se invierte en el diseño, dado que con ello se puede depurar y verificar el funcionamiento de un prototipo sin tener que construirlo físicamente.

II.8 Reglas a seguir en caso de que se presenten fallas

Existen diferentes métodos para determinar las posibles fallas que pueden presentarse en un circuito lógico, sin embargo, deben establecerse cuatro puntos básicos para la determinación de las mismas; estas son:

Diagnóstico: se identifica la parte del circuito donde puede encontrarse el problema, lo cual se realiza a partir de una observación del funcionamiento del circuito. En el diagnóstico debe verificarse lo siguientes:

- localización de partes quemadas o calientes;
- olores inusuales;
- cortocircuitos;
- ruido aleatorio; y,
- conexiones abiertas.

Localización: debe ubicarse la sección donde se presenta la falla haciendo uso del equipo adecuado para tal fin.

Aislamiento: localizado el problema se aísla la sección que contiene al o a los elementos dañados para realizar una buena reparación.

Corrección: una vez que se ha realizado el aislamiento se procede a realizar la sustitución del o de los elementos, o la corrección de la conexión que se haya encontrado mal realizada.

Pero ¿Cuales son las fallas que pueden presentarse en un circuito lógico?. Estas se enumeran a continuación.

Fallas internas

- a) entradas cortocircuitadas con diferente nivel lógico;
- b) salidas en cortocircuito a Vcc o GND;
- d) daño en algún elemento interno del IC; y,
- e) entradas o salidas en circuito abierto.

Fallas externas

- a) falta de suministro de energía;
- b) cortocircuitos entre puntos de conexión y bornes de alimentación;
- c) puntos de conexión en circuito abierto;
- d) elementos pasivos defectuosos; y,
- e) cable desnudo o puentes de soldadura en cortocircuito.

Un conjunto de sugerencias que deben seguirse para corregir una falla, independientemente de su naturaleza, son las siguientes:

- No improvisar una reparación de un circuito digital si no se cuenta con los elementos necesarios (diagramas esquemáticos del circuito, información técnica, equipo de medición, etc.).
- No llevar acabo la sustitución de elementos si no se ha identificado la falla plenamente.
- Tener presente las señales y niveles que deben presentarse en los diferentes puntos del circuito.
- Emplear multímetros, osciloscopios y demás instrumentos para la medición de puntos críticos.
- Cuando se revise el funcionamiento de un circuito integrado, este debe realizarse tocando los pines de los mismos con las puntas de prueba.
- Si el circuito lógico cuenta con dispositivos MOS seguir las instrucciones de manejo indicadas para los mismos.

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

Además debe tenerse siempre presente las siguientes recomendaciones:

- a) Si la falla es compleja y por ende el esfuerzo realizado en la reparación es infructuoso, se debe descansar y relajarse a través de otra actividad, procediendo posteriormente con la reparación cuando se este con la mente despejada.
- b) Si no se determinó la falla y por consiguiente no se efectuó la reparación del circuito en un tiempo determinado, ser honesto y explicar de manera clara y precisa las causas por las cuales no se puede reparar, lo que permite obtener confianza.

Lo anterior permite fundamentar que para detectar, analizar y reparar fallas, es necesario contar con los conocimientos teórico-prácticos suficientes, los cuales nos lleven a realizar una buena reparación de un circuito lógico, y de esta forma dejar de ser un empírico y convertirse en un experto cuando se ha desarrollado, por medio del estudio y la experiencia, un método eficaz surgido del propio razonamiento.

II.9 Pruebas básicas que deben realizarse a los IC's digitales

Es frecuente que para el diseño de circuitos lógicos se consideren las características y parámetros que el fabricante proporciona en los manuales correspondientes. Sin embargo, también es frecuente realizarse las siguientes preguntas: ¿Como es posible determinar dichas características y parámetros? ¿Cuales son los circuitos que ha empleado el fabricante para obtener los datos que proporciona en la hoja de datos? ¿Los datos que proporciona se cumplen para todos los dispositivos de la misma clase? ¿Se encuentran en las hojas de datos toda la información necesaria para utilizarla en el diseño de circuitos lógicos?. Preguntas que presentan cierta dificultad para responderse, pero que solo con el estudio constante y práctica correspondiente se pueden responder lo mas correctamente posible.

Las respuestas que pueden darse a cada una de las preguntas que se han formulado con anterioridad, se pueden resumir de la siguiente forma:

El fabricante establece que no da a conocer la información concerniente a las pruebas que realiza a cada uno de sus dispositivos debido a que, el diseñador o usuario de los circuitos integrados debe conocer las técnicas y procedimientos de prueba para determinar todas las características y parámetros de los circuitos integrados y con ello establecer la veracidad de los datos que proporciona en sus manuales.

II.9.1 Técnicas de prueba de los dispositivos lógicos

La primera parte de las pruebas que se le realizan a los circuitos integrados digitales corresponden a las condiciones estáticas. Estas pruebas se realizan para conocer los parámetros reales del dispositivo, tales como:

- corrientes de polarización (I_{CC1} e I_{CC2});
- corrientes de entrada (I_{in} e I_{in});
- corrientes de salida (I_{OL} e I_{OH});
- voltajes de entrada (V_{in} y V_{in});
- voltajes de salida (V_{OL} y V_{OH}); y,
- corriente de salida de corto circuito (I_{OS}).

Con estos parámetros se determinan las características siguientes:

- disipación de potencia;
- cargabilidad de salida;
- la curva de transferencia; e,
- inmunidad al ruido de DC.

En lo que respecta a la medición de las condiciones dinámicas en los IC digitales, no importa del elemento que se trate, se pueden realizar pruebas para determinar la amplitud, frecuencia, duración del pulso y retraso del mismo. Las técnicas que se indican a continuación comprenden a cualquier tipo de pulso, incluyendo las señales de onda cuadrada.

Amplitud del pulso

La medición de la amplitud del pulso se realiza con un osciloscopio de trazo simple o doble en la escala vertical. Los pulsos que generalmente se emplean son de 5 volts o menos. La amplitud del pulso en un circuito digital es crítica en la operación del mismo, de ahí la importancia de conocer la técnica de medición de la amplitud para determinar la operación correcta del circuito integrado digital.

En la figura II.8 se muestran las conexiones básicas para llevar a cabo las mediciones de la amplitud, así como la correspondiente imagen que debe observarse en el osciloscopio.

Duración del pulso

Para determinar la duración del pulso es necesario hacer uso del osciloscopio de doble trazo, en el que la escala horizontal se encuentra calibrada en relación al tiempo. En la figura II.9 se muestran las conexiones básicas para la prueba correspondiente a la medición de la duración del pulso.

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

Frecuencia del pulso

La frecuencia del pulso se obtiene al medir la duración de un ciclo completo del pulso (período del pulso T) obteniendo posteriormente el recíproco, es decir:

$$F = \frac{1}{T}$$

Esta medición se realiza con un osciloscopio de doble trazo, en la que la escala horizontal está calibrada en relación al tiempo. En la figura II.10 se muestran las conexiones básicas para llevar a cabo la medición correspondiente.

Retardo entre pulsos

El retardo que se presenta entre dos pulsos de entrada-salida de un operador, flip-flop u otro circuito digital puede ser medido por un osciloscopio de doble trazo o trazo múltiple. Las conexiones básicas para llevar a cabo esta prueba se muestran en la figura II.11 con la imagen correspondiente del osciloscopio.

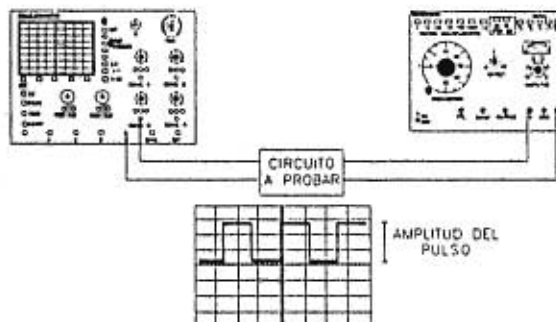


FIG. II.8 Conexiones básicas para determinar la amplitud del pulso

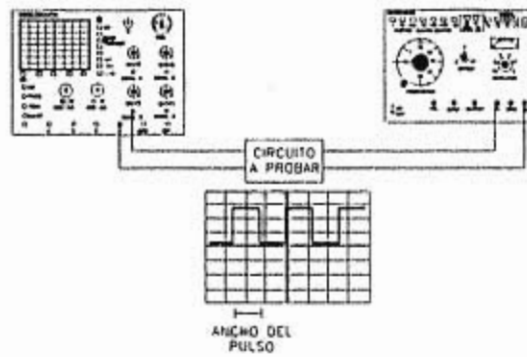


FIG. II.9 Conexiones básicas para obtener la duración del pulso

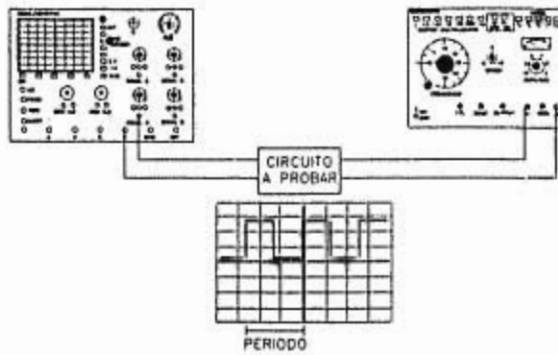


FIG. II.10 Conexiones básicas para obtener el periodo (T) y la frecuencia (f) del pulso

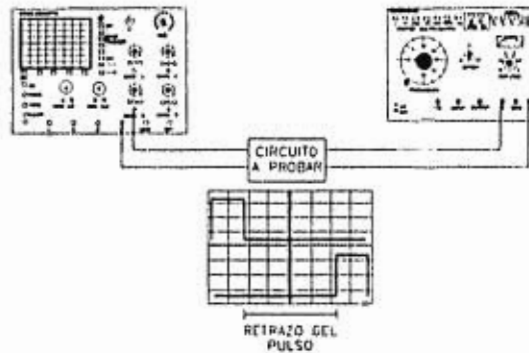


FIG. II.11 Conexiones básicas para medir el retraso entre pulsos

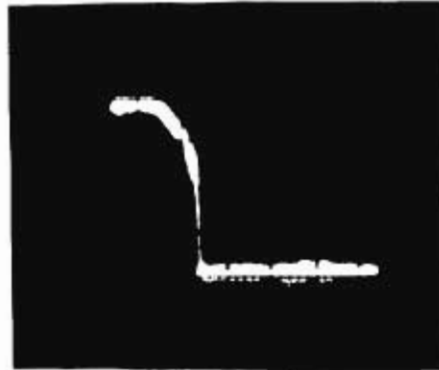
II.10 Selección de IC's SSI

La elección de un IC digital SSI puede parecer una tarea muy complicada o sencilla, según se quiera ver. Para ello, es importante definir el trabajo que ha de realizar el IC y especificar sus características y parámetros más importantes, anotando claro sus valores máximos. Las características más importantes en la elección del IC son: el margen de ruido, la disipación de potencia, el producto velocidad-potencia, el tiempo de propagación y por su puesto la cargabilidad. Por su parte, los parámetros más importantes son: los niveles lógicos y las corrientes de entrada y salida para ambos niveles lógicos.

Pero, en el diseño de un circuito lógico, se tiene que resolver la disyuntiva entre potencia y velocidad, por lo que la elección debe realizarse tomando en cuenta a las dos familias lógicas más conocidas: la TTL y la MOS (CMOS). La familia TTL tiene como características alta velocidad y cierta tolerancia al ruido inyectado en una señal, así como una adecuada capacidad de conducción. Por su parte, la familia MOS presenta excelente inmunidad de ruido, una disipación de potencia familias baja y por su puesto la capacidad para operar en un amplio intervalos de voltajes.

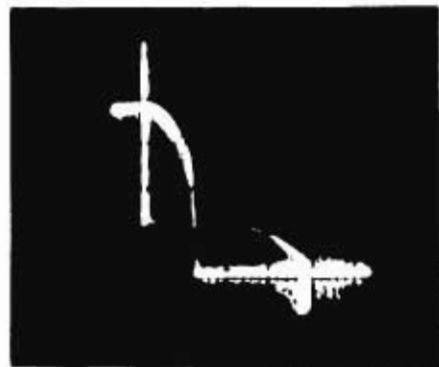
Sin embargo, no existen reglas absolutas que determinen la elección de un IC TTL o MOS para un diseño específico, dado que entre ambas familias existe un área difusa para su elección, por lo que es necesario, que el usuario de estos dispositivos cuente con los suficientes conocimientos, tanto teóricos y prácticos para llevar a cabo una buena elección de los IC's.

ANEXO A



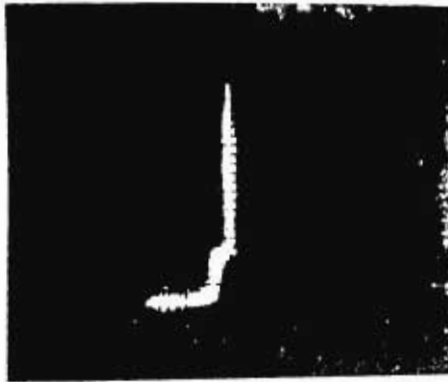
Base de tiempos: Modo X Y
Canal X: 1 V/div Eje X: -2 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: -2 div

Característica de transferencia de una puerta NAND TTL-Estándar



Base de tiempos: Modo X Y
Canal X: 1 V/div Eje X: -2 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: -2 div

Característica de transferencia de una puerta NAND TTL-Estándar conectada a otra y realimentadas.



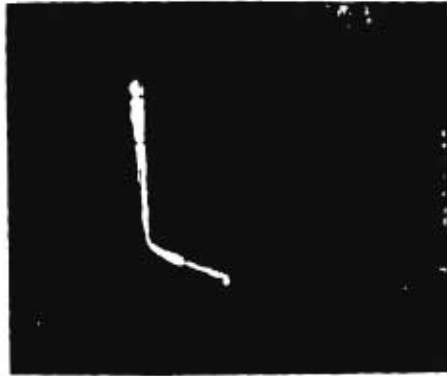
Base de tiempos: Modo X Y
Canal X: 2 mA/div Eje X: 0 div Canal Y: 2 V/div Eje Y: -2 div

Característica $V_{CE} - I_{CE}$



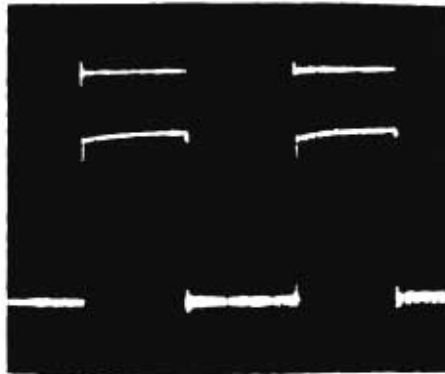
Base de tiempos: Modo X Y
Canal X: 10 mA/div Eje X: 0 div Canal Y: 2 V/div Eje Y: -2 div

Característica $V_{CE} - I_{CE}$



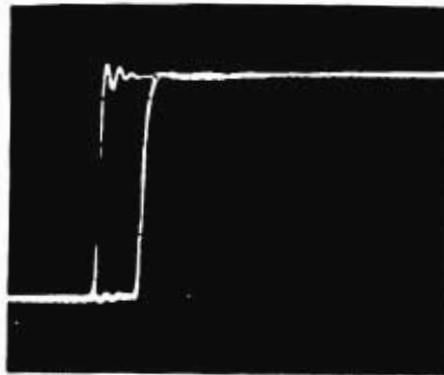
Base de tiempos: Modo XY
 Canal X: 50 mA/div Eje X: 0 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: -2 div

Característica V_{OH} - I_{OH}



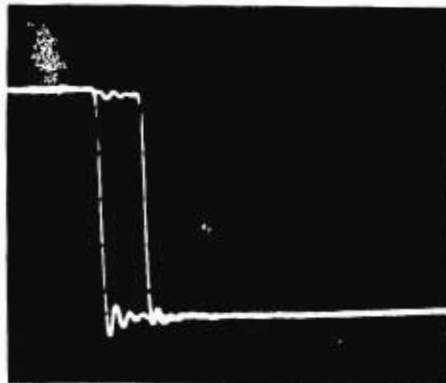
Base de tiempos: 1 μ s/div
 Canal 1: 1 V/div Eje 1: -2.5 div Canal 2: 1 V/div Eje 2: -2.5 div

Formas de onda de entrada y salida de ocho puertas TTL-Estandar en serie.



Base de tiempos: 50 ns/div
Canal 1: > 1 V/div Eje 1: -2.5 div Canal 2: > 0.5 V/div Eje 2: -2.5 div

Transición del estado bajo al alto simultáneamente en la entrada y salida de ocho puertas NAND TTL-Estándar.



Base de tiempos: 50 ns/div
Canal 1: > 1 V/div Eje 1: -2.5 div Canal 2: > 0.5 V/div Eje 2: -2.5 div

Transición del estado alto al bajo simultáneamente en la entrada y salida de ocho puertas NAND TTL-Estándar.



Base de tiempos: Modo X Y
 Canal X: 1 V/div Eje X: -1 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: -2 div

Característica de transferencia de una puerta NAND CMOS 4000



Base de tiempos: Modo X Y
 Canal X: 1 V/div Eje X: -1 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: -2 div

Característica de transferencia de una puerta NAND CMOS 4000 conectada a otra y realimentadas



Base de tiempos: Modo X Y
Canal X: 2 mA/div Eje X: 0 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: 2 div

Característica $V_{GS} - I_{DS}$



Base de tiempos: Modo X Y
Canal X: 5 mA/div Eje X: 0 div Canal Y: 1 V/div Eje Y: 2 div

Característica $V_{GS} - I_{DS}$



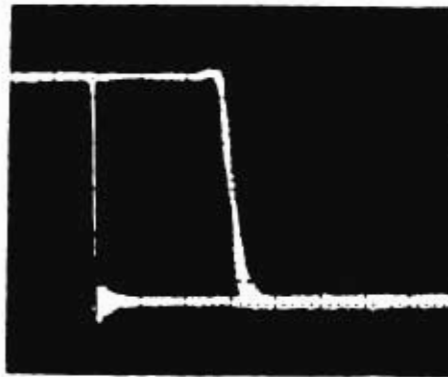
Base de tiempos: 1 μ s/div
Canal 1: 1 V/div Eje 1: -2.5 div Canal 2: 1 V/div Eje 2: -2.5 div

Formas de onda de entrada y salida de ocho puertas CMOS 4000 en serie



Base de tiempos: 100 ns/div
Canal 1: > 1 V/div Eje 1: -2.5 div Canal 2: > 0.5 V/div Eje 2: -2.5 div

Transición del estado bajo al alto simultáneamente en la entrada y salida de ocho puertas NAND CMOS 4000.



Base de tiempo: 100 ns/div
Canal 1: > 1 V/div Eje 1: -2.5 div Canal 2: > 0.5 V/div Eje 2: -2.5 div

Transición del estado alto al bajo simultáneamente en la entrada y salida de ocho puertas NAND CMOS 4000.

ANEXO B

Primera sección

SN54/74LS194A		REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO UNIVERSAL BIDIRECCIONAL DE 4-BITS
<p>El SN54/74LS194A es un registro de desplazamiento universal bidireccional de 4 - bits de alta velocidad. Fabricado como un bloque secuencial multifuncional de alta velocidad, que se emplea en gran variedad de aplicaciones. Este dispositivo se emplea en la transferencia de datos serie - serie, serie-paralelo, paralelo-serie, paralelo- paralelo y en los desplazamientos a la derecha y a la izquierda. El LS194A opera de manera similar al registro de desplazamiento universal LS195A, agregando la característica de desplazamiento a la derecha y el modo de retención sin conexiones externas. Se emplean diodos de sujeción Schottky para realizar el proceso de alta velocidad y de esta manera sea compatible con la familia TTL de la Motorola.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia típica de desplazamiento de 36 MHz • Entrada Master Reset asíncrona • Modo de retención • Transferencia de datos en serie o paralelo completamente sincrónica • Los diodos de sujeción de entrada limitan los efectos de la terminación de la alta velocidad 	

MODO DE SELECCION - TABLA DE VERDAD

MODO DE OPERACION	INPUTS						OUTPUTS			
	HR	S ₁	S ₀	SR	SL	P _n	Q ₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃
RESET	L	X	X	X	X	X	L	L	L	L
RETENCION	H	1	1	X	X	X	q ₀	q ₁	q ₂	q ₃
DESPLAZAMIENTO A LA IZQUIERDA	H	h	1	X	1	X	q ₁	q ₂	q ₃	L
	H	h	1	X	h	X	q ₁	q ₂	q ₃	H
DESPLAZAMIENTO A LA DERECHA	H	1	h	1	X	X	L	q ₀	q ₁	q ₂
	H	1	h	h	X	X	H	q ₀	q ₁	q ₂
CARGA PARALELA	H	h	h	X	X	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₃

L = Nivel lógico BAJO.

H = Nivel lógico ALTO.

X = Condición de no importa.

1 = Nivel de voltaje BAJO un tiempo antes de la transición del reloj de un BAJO a un ALTO.

h = Nivel de voltaje ALTO un tiempo antes de la transición del reloj de un BAJO a un ALTO.

P_n(Q_n) = Indica el estado de las entradas (o salidas) de referencia un tiempo antes de la transición del reloj de un BAJO a un ALTO.

DESCRIPCION FUNCIONAL

El diagrama lógico y la tabla de verdad muestran las características funcionales del registro de desplazamiento bidireccional de 4 - bits LS194A. La operación del LS194A es similar a la del registro de desplazamiento bidireccional universal LS195A, cuando se emplea como un registro de transferencia de datos en serie o paralelo. Algunas de las características comunes de ambos dispositivos se describen abajo:

Todas las entradas de datos y de modo de control responden solo a la transición del reloj (CP) de un BAJO a un ALTO. Por lo tanto la única restricción es que el modo de control y las entradas de datos seleccionadas deben de ser estables un tiempo antes de la transición del pulso de reloj.

El registro es completamente síncrono, realizando todas las operaciones en menos de 15 ns (típico); el dispositivo es especialmente empleado en la implementación de CPUs de muy alta velocidad, o como registros buffer de memoria.

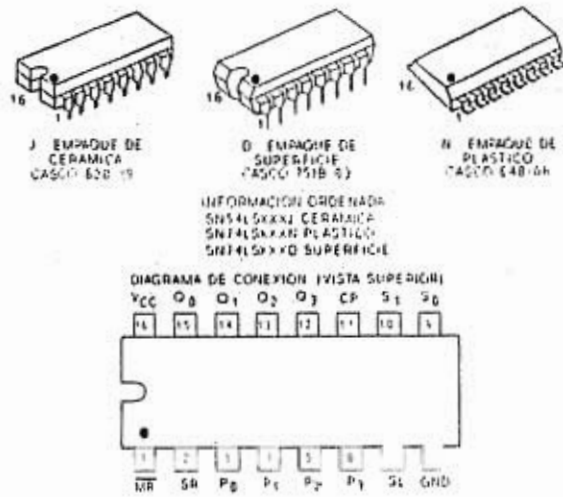
Las cuatro entradas de datos en paralelo (P_0, P_1, P_2, P_3) son entrada tipo D. Cuando S_0 y S_1 están en ALTO, los datos que aparecen en las entradas P_0, P_1, P_2, P_3 se transfieren a las salidas Q_0, Q_1, Q_2 y Q_3 respectivamente después de la próxima transición del reloj de un BAJO a un ALTO.

La entrada Master Reset (MR) es asíncrona cuando es BAJA, pasando por alto a todas las entradas y forzando a las salidas Q a estar en BAJO.

Las características lógicas especiales del LS194A que incrementan el rango de aplicaciones se describen abajo:

Las dos entradas de modo de control (S_0, S_1) determinan la operación síncrona del dispositivo. Como se muestra en el modo de selección de la tabla, los datos pueden ser desplazados de izquierda a derecha (desplazamiento a la derecha, $Q_0 \rightarrow Q_1$, etc) o de derecha a izquierda ($Q_1 \rightarrow Q_0$, etc), o los datos en paralelo pueden ser cargados en el registro de cuatro bits simultáneamente. Cuando S_0 y S_1 están en BAJO los datos existentes son retenidos y no cambian aún presentándose cualquier transición del reloj.

Las entradas de datos en serie (SR y SL) son tipo D, ambas entradas están provistas para realizar la función de desplazamiento en la transferencia de datos a la derecha o a la izquierda sin interferir en la operación de carga en paralelo.



Tipos de encapsulados de los dispositivos digitales

Segunda sección

Valores máximos y mínimos de operación

RANGOS DE OPERACION GARANTIZADOS

VARIABLE	PARAMETRO		MIN.	TIP.	MAX.	UNIDADES
V _{CC}	Voltaje de suministro	54	4.5	5.0	5.5	V.
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Rango de operación a temperatura ambiente	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Corriente de salida - alta	54			-0.4	mA
		74			-0.4	
I _{OL}	Corriente de salida - baja	54			4.0	mA
		74			8.0	

NOMBRE DEL PIN		CARGA (Nota a)	
		Alto	Bajo
S ₀ S ₁	Entradas de modo de control	0.5 U.L.	0.25 U.L.
P ₀ - P ₃	Entradas de datos en paralelo	0.5 U.L.	0.25 U.L.
SR	Entrada de datos en serie (Desplazamiento a la derecha)	0.5 U.L.	0.25 U.L.
SL	Entrada de datos en serie (Desplazamiento a la izquierda)	0.5 U.L.	0.25 U.L.
CP	Entrada de reloj	0.5 U.L.	0.25 U.L.
MR	Entrada del Master Reset	0.5 U.L.	0.25 U.L.
Q ₀ - Q ₃	Salidas en paralelo (Nota b)	0.5 U.L.	5(2.5) U.L.

NOTAS:

- a. 1 Unidad de carga (U.L.) TTL = 40 μ A alto / 1.6 mA bajo.
 b. La salida baja tiene un factor de carga de 2.5 para los dispositivos militares y de 5 para los comerciales a los rangos de temperatura especificados.

Tercera sección

Características eléctricas

CARACTERÍSTICAS DE DC EN LOS RANGOS DE TEMPERATURA DE OPERACION

VARIABLE	PARAMETRO	LIMITES			U	CONDICIONES DE PRUEBA		
		HIN	TIP	MAX				
V_{IH}	Voltaje de entrada alto	2.0			V	Voltaje de entrada alto garantizado para todas las entradas		
V_{IL}	Voltaje de entrada bajo	54		0.7	V	Voltaje de entrada bajo garantizado para todas las entradas		
		74		0.8				
V_{IN}	Voltaje de entrada del diodo de sujeción		-0.6	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{IN} = -18 \text{ mA}$		
V_{OH}	Voltaje de salida alto	54	2.5	3.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{OH} = \text{MAX}$, $V_{IN} = V_{IH}$ o V_{IL} por tabla de verdad		
		74	2.7	3.5	V			
V_{OL}	Voltaje de salida bajo	54		0.25	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 \text{ mA}$ $V_{CC} = V_{CC} \text{ MIN}$, $V_{IN} = V_{IL}$ por tabla de verdad	
		74		0.35	0.5	V		$I_{OL} = 8.0 \text{ mA}$
		74		0.35	0.5	V		
I_{IH}	Corriente de entrada alta			20.0	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$		
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$		
I_{IL}	Corriente de entrada baja			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$		
I_{OS}	Corriente de cortocircuito (Nota 1)	-20		-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$		
I_{CC}	Corriente de polarización			23.0	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$		

Nota 1: Mantener a una salida cortocircuitada en un tiempo no mayor a un 1 segundo

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

CARACTERISTICAS DE AC ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$)

VARIABLE	PARAMETRO	LIMITES			UNID	CONDICIONES DE PRUEBA
		MIN	TIP	MAX		
F_{MAX}	Frecuencia máxima de reloj	25	36		MHz	$V_{CC} = 5.0\text{ V.}$ $C_L = 15\text{ pF}$
T_{PLH} T_{PHL}	Retardo en la propagación de la salida con respecto al reloj.		14 17	22 26	ns ns	
T_{PHL}	Retardo en la propagación de la salida con respecto al MR.		19	30	ns	

REQUERIMIENTOS DE ORGANIZACION EN AC ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$)

VARIABLE	PARAMETRO	LIMITES			UNID	CONDICIONES DE PRUEBA
		MIN	TIP	MAX		
T_w	Ancho del pulso del reloj y del MR	20			ns	$V_{CC} = 5.0\text{ V.}$
T_s	Tiempo de organización del modo de control	30			ns	
T_d	Tiempo de organización de datos	20			ns	
T_h	Tiempo de retención, todas las entradas	0			ns	
T_{rec}	Tiempo de restablecimiento	25			ns	

DEFINICION DE TERMINOS

TIEMPO DE ORGANIZACION (T_s) - se define como el tiempo mínimo requerido para un nivel lógico correcto que se presenta en una entrada antes de la transición del reloj de un BAJO a un ALTO para ser reconocido y transferido a la salida.

TIEMPO DE RETENCION (T_h) - se define como el tiempo mínimo siguiente a la transición del reloj de un BAJO a un ALTO en el que el nivel lógico debe de mantenerse en la entrada para ser reconocido y asegurar la continuidad. Un tiempo de retención negativo indica que el nivel lógico correcto se puede disparar antes de la transición del reloj de un BAJO a un ALTO y todavía pueda ser reconocido.

TIEMPO DE RESTABLECIMIENTO (T_{rec}) - se define como el tiempo mínimo requerido entre el punto final del reset y la transición del reloj de un BAJO a un ALTO para ser reconocida y transferir un ALTO a las salidas Q.

LAS AREAS SOMBRADAS INDICAN CUANDO ES PERMITIDO UN CAMBIO EN LA ENTRADA PARA GENERAR UN RESULTADO EN LA SALIDA

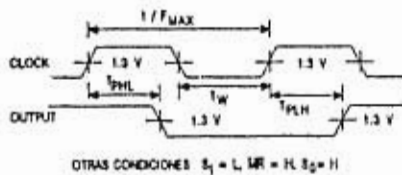


FIGURA 1. RETRASO DE LA SALIDA CON RESPECTO AL PULSO DE RELOJ

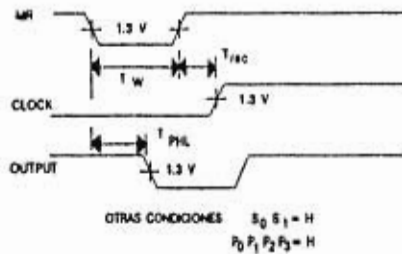
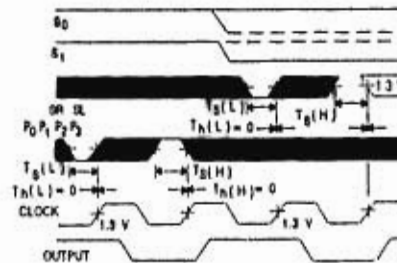


FIGURA 2. ANCHO DEL PULSO DEL MASTER RESET, TIEMPO DE RESTABLECIMIENTO Y DEMORA DEL MASTER RESET CON RESPECTO A LA SALIDA Y AL RELOJ



OTRAS CONDICIONES $\overline{MR} = H$
 SR : TIEMPO DE DISPOSICION QUE AFECTA SOLO A Q_0
 SL : TIEMPO DE DISPOSICION QUE AFECTA SOLO A Q_1

FIGURA 3. TIEMPO DE DISPOSICION (T_S) Y RETENCION (T_H) PARA LOS DATOS EN SERIE Y PARALELO

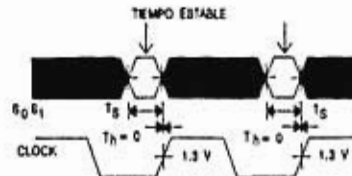


FIGURA 4. TIEMPO DE DISPOSICION (T_S) Y RETENCION (T_H) PARA LA ENTRADA S

Formas de onda de AC

DESARROLLO PRACTICO

CARACTERISTICAS DE LOS CIRCUITOS SSI, TTL Y CMOS

OBJETIVO

Familiarizarse con las diferentes características y parámetros de los circuitos integrados digitales.

- a) Circuitos integrados TTL.
- b) Circuitos integrados CMOS.

INTRODUCCION

La determinación de las características eléctricas reales de los dispositivos digitales es parte fundamental en la implementación de cualquier diseño; cuando estas no se consideran o no se determinan correctamente el resultado del diseño puede ser inesperado.

Normalmente cuando se lleva a cabo un diseño o la implementación de un circuito digital es costumbre tomar en cuenta los datos que el fabricante proporciona en la hoja de datos, aunque estos son derivados de pruebas reales que se realizan a los dispositivos, estos son valores típicos y no manifiestan los valores reales para un dispositivo en particular, siendo solo un rango de operación óptimo de los mismos.

Por lo anterior, es necesario conocer algunos de los métodos por los cuales se pueden determinar las principales características de los dispositivos digitales; siendo esta la finalidad del desarrollo propuesto. Los puntos que comprende el desarrollo son válidos para cualquier tecnología digital; sin embargo se debe tener presente que los métodos propuestos no son los únicos, existen otros que se derivan de los indicados aquí.

DESARROLLO

- 1.- Implemente el circuito de la figura II.12. Conecte una fuente de DC a la entrada del circuito; varíe el voltaje de la fuente y mida el voltaje de salida para cada incremento del voltaje de entrada. Llene la tabla II.3.
- 2.- Acote en papel milimétrico la curva característica resultante con los datos de la tabla II.3. Indique en la misma los valores correspondientes a: V_{OHMIN} , V_{OHMAX} , V_{OLMIN} y V_{OLMAX} .

Análisis de Compuertas y Familias Lógicas

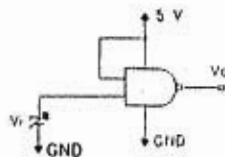


FIG. II.12 Circuito para obtener la curva característica de un operador lógico aplicando una fuente de DC

TABLA II.3

Vi (V)	Vo (V)
0.0	
0.5	
0.6	
0.7	
0.8	
0.9	
1.0	
1.5	
2.0	
2.1	
2.2	
2.3	
2.4	
2.5	
2.6	
2.7	
2.8	
2.9	
3.0	
3.5	
4.0	
4.5	
5.0	

- 3.- Implemente el circuito de la figura II.13 para obtener la curva característica $V_o=f(V_i)$. Conecte la salida del circuito al canal vertical (canal Y) y la entrada al barrido horizontal (canal X) de un osciloscopio de doble trazo. El osciloscopio debe de estar en el modo XY. Aplique una señal senoidal de 5 Vpp y una frecuencia de 300 Hz.

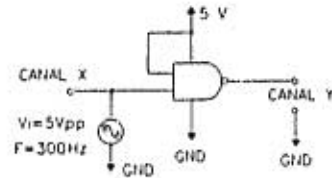


FIG. II.13 Circuito para obtener la curva característica de un operador lógico aplicando una señal de 5 Vpp con una frecuencia de 300 Hz

- 4.- Acote en papel milimétrico la curva característica que se observa en la pantalla del osciloscopio. Indique en la misma los valores correspondientes a: V_{IHMIN} , V_{ILMAX} , V_{OHMIN} Y V_{OLMAX}
- 5.- Para verificar el comportamiento de la curva característica de un operador lógico cuando se le conecta carga, implemente el circuito de la figura II.14. Repita los puntos 3 y 4.

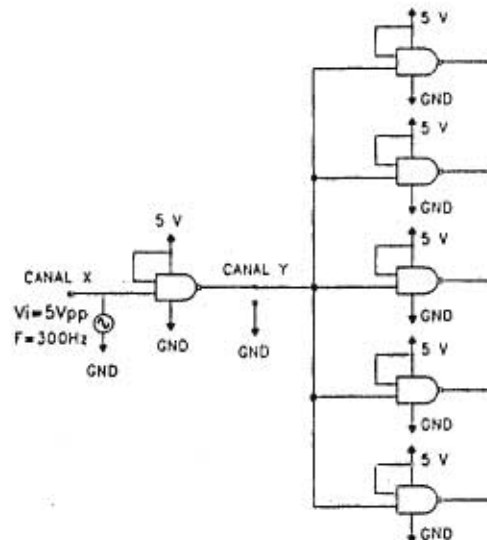


FIG. II.14 Circuito para obtener la curva característica de un operador con carga

- 6.- Con los valores de voltaje de entrada y salida (V_{IHMIN} , V_{OLMAX} , V_{OHMIN} y V_{ILMAX}) obtenidos del punto anterior, calcula los márgenes de ruido por medio de las expresiones siguientes:

Para nivel bajo:

$$V_{NL} = V_{ILMAX} - V_{OLMAX}$$

Para nivel alto:

$$V_{NH} = V_{OHMIN} - V_{IHMIN}$$

- 7.- Para medir la corriente de polarización implemente los circuitos de la figura II.15. Mida la corriente para ambos niveles lógicos y obtenga la corriente promedio.

Esta corriente debe de dividirse por el número de operadores integrados en un circuito, debido a que no se puede referir a un sólo operador.

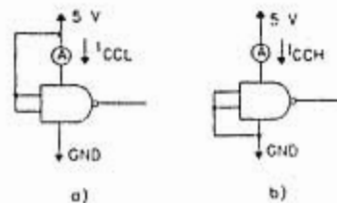


FIG. II.15 Circuitos para medir la corriente de polarización
a) para un nivel bajo; b) para un nivel alto

- 8.- Implemente el circuito de la figura II.16 y mida el consumo de corriente cuando se aplica una señal cuadrada de 5 Vpp de amplitud y de frecuencia variable. Llene la tabla II.4.
- 9.- Para observar la característica de entrada $V_i - I_i$ de un operador lógico, implemente el circuito de la figura II.17. El osciloscopio debe de estar en el modo XY y utilizar el inversor para el canal Y (voltaje). La resistencia R debe de ser de 1 Ω , esto provocará que fluya una corriente de 1 Amp. por cada voltio que caiga en ella. Las conexiones ha realizar son las siguientes:

- a) La masa del osciloscopio se debe de conectar al punto A con lo que se lograra invertir el voltaje de entrada.

- b) La entrada del operador (punto B) debe de conectarse al barrido horizontal, para con ello aplicar la intensidad al canal vertical (canal X). Acote en papel milimétrico la señal observada en el osciloscopio

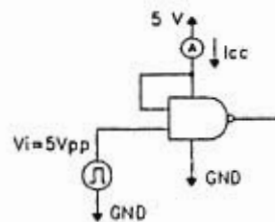


FIG. II.16 Circuito para medir la corriente de polarización aplicando una señal cuadrada de 5 Vpp y frecuencia variable

TABLA II.4

F (KHz)	Icc (mA)
0.1	
0.5	
1.0	
5.0	
10.0	
20.0	
50.0	
100.0	

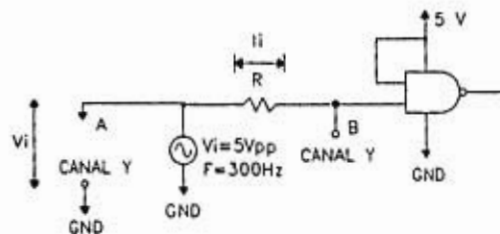


FIG. II.17 Circuito para observar la característica de entrada V_i -II

- 10.- Implemente los circuitos de la figura II.18. Estos nos permiten obtener de forma individual el voltaje y la corriente para un nivel lógico alto y bajo en la entrada. Varie el potenciómetro para obtener la corriente de entrada máxima para ambos niveles. Anote este valor, así como el del voltaje al cual se obtuvo dicha corriente.

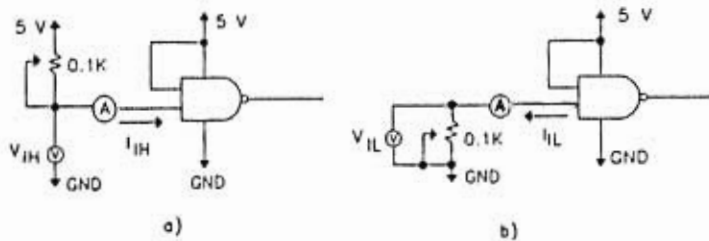


FIG. II.18 Circuitos para medir la corriente y el voltaje de entrada
a) para un nivel lógico alto; b) para un nivel lógico bajo

- 11.- Para observar la característica de salida $V_{OH} - I_{OH}$ de un operador lógico, implemente el circuito de la figura II.19. El osciloscopio debe de estar en el modo XY (utilice el modo INVERSOR del osciloscopio para reinvertir el voltaje de salida en el canal Y). La resistencia R es de 1Ω y R1 de $1 K\Omega$. Las conexiones ha realizar son las siguientes:

- La masa del osciloscopio se debe de conectar al punto A para invertir el voltaje de salida.
- La entrada del operador (punto B) debe de conectarse al barrido horizontal, para con ello aplicar la intensidad al canal vertical (canal X)

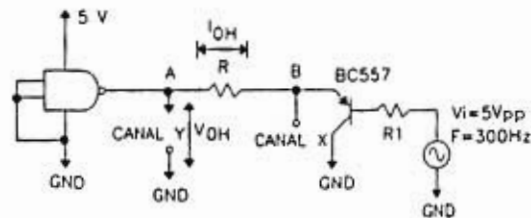


FIG. II.19 Circuito para observar la característica de salida $V_{OH} - I_{OH}$.

- 12.- Implemente el circuito de la figura II.20 para obtener la característica de salida $V_{OL} - I_{OL}$ de un operador lógico. Realice las mismas conexiones del punto anterior. Acote en papel milimétrico la señal observada en la pantalla del osciloscopio.

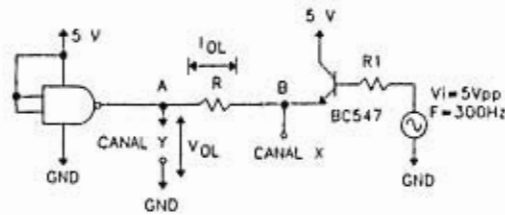


FIG. II.20 Circuito para observar la característica de salida $V_{OL} - I_{OL}$.

- 13.- Implemente los circuitos de la figura II.21. Estos nos permiten obtener de forma individual el voltaje y la corriente para un nivel lógico alto y bajo en la salida. Varíe el potenciómetro para obtener la corriente de salida máxima para ambos niveles. Anote este valor, así como el del voltaje al cual se obtuvo dicha corriente.

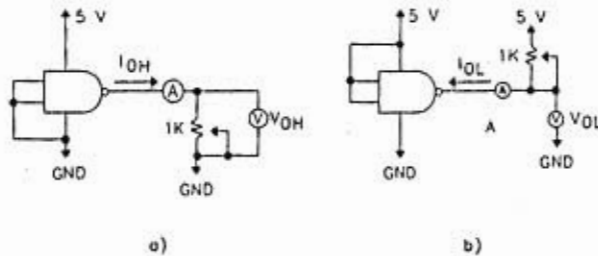


FIG. II.21 Circuitos para medir la corriente y el voltaje de salida
a) para un nivel lógico alto; b) para un nivel lógico bajo

- 14.- Implemente el circuito de la figura II.22, y mida la corriente de corto circuito. Esta prueba no debe durar más de tres segundos.

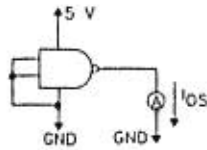


FIG. II.22 Circuito para medir la corriente de corto circuito

- 15.- Implemente el circuito de la figura II.23. Mida la corriente de polarización y determine la disipación de potencia total, promedio y por operador.

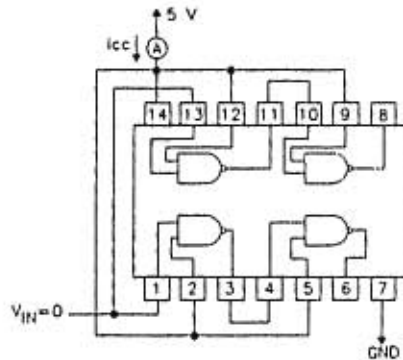


FIG. II.23 Circuito para determinar la disipación de potencia

- 16.- Para determinar el tiempo de propagación en los operadores digitales, implemente el circuito de la figura II.24; el mismo está conformado por 7 operadores NAND conectados en serie.

Conecte el canal A de un osciloscopio de doble trazo a la entrada del circuito y el canal B a la salida del circuito. Aplique una señal cuadrada de 5 Vpp a una frecuencia de 100 KHz.

Polarice y observe las señales de entrada y salida del circuito y mida el tiempo entre señales. Este tiempo debe dividirse entre el número de operadores. Acote en papel milimétrico las señales observadas.

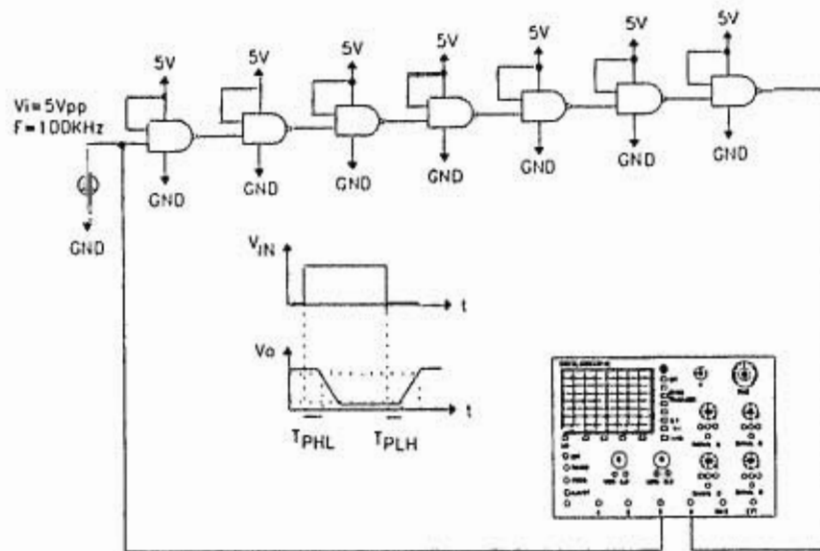


FIG. II.24 Circuito para determinar el tiempo de propagación de un operador lógico

- 17.- Elabore una tabla comparativa de las tecnologías TTL y CMOS, que contenga las lecturas correspondientes a cada uno de los puntos realizados.

CAPITULO III

**IMPLEMENTACION DE CIRCUITOS COMBINACIONALES
EMPLEANDO CIRCUITOS MSI**

III.- IMPLEMENTACION DE CIRCUITOS COMBINACIONALES EMPLEANDO CIRCUITOS MSI

III.1 Introducción

Las técnicas y procesos de fabricación de IC's digitales se ha desarrollado de manera espectacular desde su aparición a principios de la década de los 60's. Los primeros IC's que aparecieron realizaban operaciones simples, por lo que tenían que interconectarse entre sí para llevar a cabo determinadas funciones en un sistema digital. Sin embargo, conforme aumentaron las necesidades del ser humano, los sistemas digitales crecieron y con ello aumentó su grado de complejidad, por lo que fue necesario de disponer de nuevos circuitos que satisficieran dichas necesidades con gran confiabilidad y a un bajo costo.

Los dispositivos que permitieron cubrir estos requerimientos son los denominados IC's MSI, mismos que presentan diversas ventajas; tales como: bajo consumo de energía, un costo relativamente bajo, alto nivel de integración en comparación con los IC's SSI, un mínimo tamaño y velocidad de operación relativamente alta.

Actualmente los dispositivos MSI se usan como circuitos de apoyo en diversas funciones; entre las que destacan las siguientes:

- En el direccionamiento de memorias, decodificación de direcciones, multiplexión de datos. etc.
- Donde se requiere un amplio intervalo de velocidad y bajo consumo de energía.
- En circuitos de alta confiabilidad.
- En aplicaciones donde no se justifica el uso de otros circuitos de mayor escala de integración.

III.2 Nomenclatura y notación de un circuito MSI

Esta se relaciona con la simbología empleada para representar a los IC's MSI, misma que se lleva a cabo a través de un bloque rectangular y de un número determinado de letras nemotécnicas, las cuales permiten identificar con mayor facilidad a las líneas de entrada, de salida, de habilitación y de selección con las que normalmente cuenta un IC MSI.

La designación de las letras nemotécnicas que se usa para representar, en un IC MSI, a cada una de las líneas o un grupo de ellas, es a partir de la función que llevan a cabo. Cuando se hace uso del mismo nemotécnico para denotar a las salidas, entradas u otras líneas de que disponga el circuito se emplean subíndices numéricos, mismos que permiten identificar con mayor seguridad la significancia de cada una de ellas. En la figura III.1 se muestra el diagrama a bloques general de un dispositivo MSI.

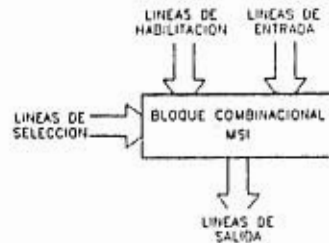


FIG. III.1 Diagrama a bloques de un IC MSI

Los símbolos lógicos que se usan para representar a los diferentes dispositivos MSI, ha sido desarrollado por la International Electrotechnical Commission (IEC). Pero, existen otros símbolos que son compatibles con los de la IEC, y estos son los que han desarrollado conjuntamente el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) y el American National Standards Institute (ANSI). Este conjunto de símbolos da cabida a la noción del diseño de inversión a inversión, con las características siguientes:

- a) Un estado lógico interno es aquel estado lógico que se supone existe dentro del contorno de un símbolo en una entrada o una salida.
- b) Un estado lógico externo es aquel que se supone existe fuera del contorno del símbolo:
 - 1.- En una línea de entrada previa a cualquier símbolo calificador externo en esa entrada.
 - 2.- En una línea de salida más allá de cualquier símbolo calificador en esa salida.

Un símbolo calificador es una gráfica o texto que con frecuencia se agrega al contorno básico de un símbolo lógico para describir las características físicas o lógicas del dispositivo. Este símbolo es frecuentemente un círculo, mismo que denota una entrada o salida negada, es decir, para la que un estado externo 0 le corresponde un estado interno 1.

III.3 Dispositivos MSI

Dispositivos combinatoriales que con frecuencia son denominados como bloques lógicos, están conformados por grupos de compuertas lógicas conectadas entre sí para llevar a cabo determinadas funciones con cierto grado de complejidad. Estos dispositivos cuentan con varias entradas y salidas, donde el estado de estas últimas dependen exclusivamente de la combinación de los estados de las entradas. Las conexiones que se realizan con estos circuitos en diversas aplicaciones proporcionan una funcionalidad distinta a los sistemas digitales en comparación a la que se obtiene con los circuitos SSI. Los principales dispositivos MSI se describen a continuación.

MULTIPLEXOR

Circuito combinatorial que permite seleccionar la información presente de alguna de sus entradas y dirigirla a su salida. Para ello cuenta con n líneas de selección, 2^n líneas de entrada y una sola salida. El diagrama a bloques general del multiplexor se muestra en la figura III.2.

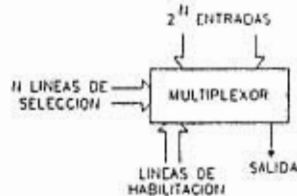


FIG. III.2 Diagrama a bloques del multiplexor

En los multiplexores comerciales, el número de líneas de selección, de entradas y de salida esta determinado por el número de terminales disponibles en un paquete IC; donde el paquete más utilizado es el de 16 terminales. Estos dispositivos cuentan con una línea de habilitación denotada por E (enable) o S (strobe), misma que debe conectarse a GND para que el multiplexor lleve a cabo sus operaciones. Los símbolos IEEE de tres dispositivos comerciales se muestran en la figura III.3

Los multiplexores se emplean en los sistemas digitales de diversas formas, entre las que están las siguientes:

- selector de datos;
- secuencia de operaciones;
- generación de funciones lógicas; y,
- conversión de paralelo-serie.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

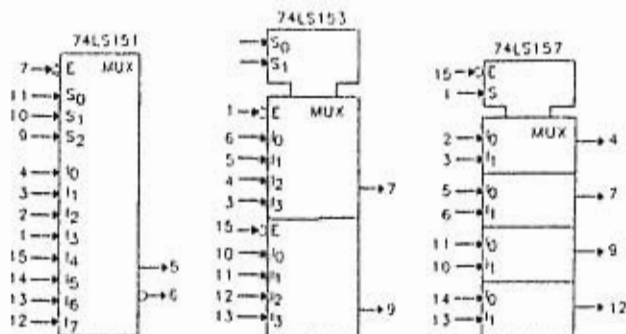


FIG. III.3 Símbolos IEEE para multiplexores comerciales

DEMÚLTIPLEXOR

Dispositivo que permite dirigir por diferentes caminos, de manera ordenada y controlada, la información procedente de su única entrada. Para realizar esta operación dispone de N líneas de selección, 2^N líneas de salida y una sola entrada. En la figura III.4 se muestra el diagrama a bloques correspondiente.



FIG. III.4 Diagrama a bloques del demultiplexor

Los demultiplexores comerciales disponen de un número de terminales, mismas que están destinadas al control del dispositivo; estas líneas son las de habilitación, en las que, dependiendo del nivel lógico aplicado se pueden presentar los casos siguientes:

- Si las líneas de habilitación y salida se activan en bajo o en alto, la información se transfiere a la salida seleccionada conservando el mismo nivel que la entrada.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

- b) Si las líneas de habilitación se activan en bajo y las de salida en alto o viceversa, la información de salida será inversa a la que se tiene en la entrada.

Los símbolos IEEE para tres dispositivos comerciales se muestran en la figura III.5.

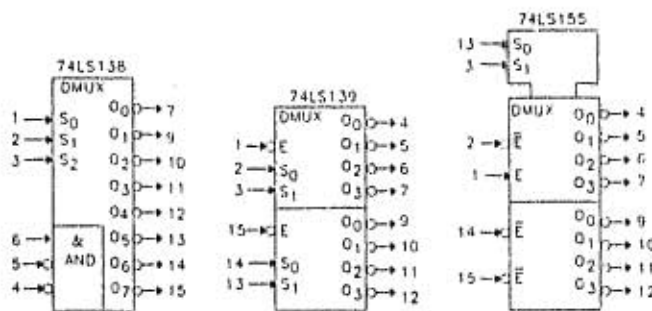


FIG. III.5 Símbolos IEEE para demultiplexores comerciales

DECODIFICADOR

Circuito combinacional con el que se puede transformar un código de entrada en una señal de salida, codificada en otro código, sin alterar la información que contiene. Esto es factible, dado que el decodificador genera los productos canónicos de cada código de entrada a través de un mapeo uno a uno, mismo que se refiere a que, para cada código de entrada se genera un código de salida diferente. El decodificador cuenta con N líneas de entrada y 2^N líneas de salida; el diagrama a bloques se muestra en la figura III.6.



FIG. III.6 Diagrama a bloques del decodificador

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

Es frecuente clasificar a los decodificadores en excitadores y no excitadores. Un decodificador excitador es aquel cuyas salidas pueden excitar y poner en funcionamiento dispositivos luminosos en los cuales, se muestre el número decimal correspondiente al código binario aplicado; a estos se les conoce como decodificadores a 7 segmentos. Por su parte, los decodificadores no excitadores, son aquellos en los que sólo se activa la salida decimal correspondiente al código binario o BCD aplicado en sus entradas.

Por otra parte, los decodificadores comerciales, en su gran mayoría, cuentan con entradas de habilitación, mismas que deben estar activas para que el decodificador realice su función de mapeo. De lo contrario, el decodificador mapea el código de entrada en un sólo código de salida sin ningún sentido. Los símbolos lógicos de tres decodificadores comerciales se muestran en la figura III.7.

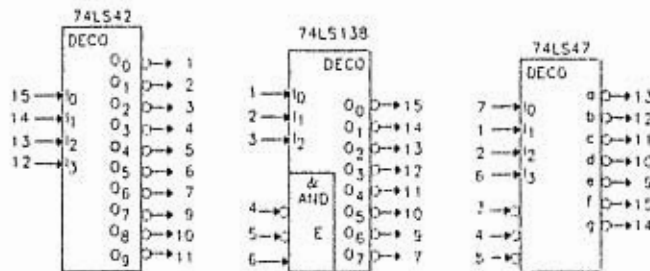


FIG. III.7 Símbolos IEEE para decodificadores comerciales

CODIFICADOR

Es un circuito combinacional que consta de 2^N líneas de entrada y N líneas de salida. Estos dispositivos realizan la conversión de un código decimal a código binario y se diseñan con prioridad o sin prioridad; los primeros se diseñan con la finalidad de asegurar que el código de salida corresponde al de la entrada activa más alta, esto cuando se activan dos o más líneas de entrada. En cambio, un codificador sin prioridad o BCD es un dispositivo que cuando se activa una línea de entrada y sólo una, en la salida se obtiene el código binario correspondiente a dicha entrada.

Un punto importante de los codificadores es que nunca cambian la información, si no lo que cambia el código utilizado para expresarlo. El diagrama a bloques del codificador y los símbolos IEEE para representarlos se muestran en la figura III.8.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

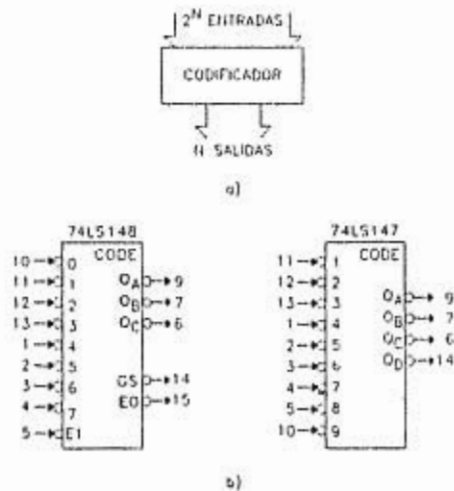


FIG. III.8 Codificador: a) Diagrama a bloques,
b) Símbolos IEEE

COMPARADOR

Circuito con el que se detecta, si dos números binarios son iguales o no y, en este último caso, determina cuál de estos números es mayor o menor. Este proceso se utiliza con frecuencia en el diseño de sistemas digitales, sobre todo en aquellos donde es necesario realizar operaciones aritméticas, por lo que el comparador constituye por sí mismo un bloque funcional aritmético. Pero además, es susceptible a emplearlos ampliamente en sistemas digitales donde se realizan procesos de control.

Las aplicaciones de los comparadores son tan frecuentes, que se han desarrollado varios circuitos MSI que llevan a cabo la importante función de comparar. Estos circuitos se encuentran comercialmente disponibles en paquetes de 16 o 20 terminales. El diagrama a bloques del comparador y el símbolo IEEE que se usa para representarlo se muestran en la figura III.9.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

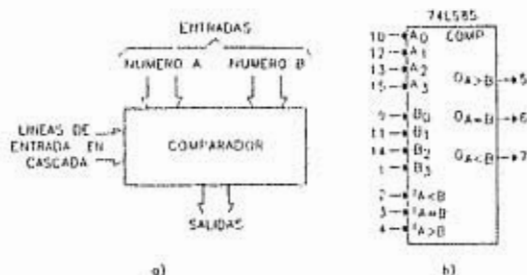


FIG. III.9 Comparador: a) Diagrama a bloques, b) Símbolo IEEE

CIRCUITOS ARITMETICOS

Circuitos combinatoriales que están conformados por un grupo de compuertas lógicas, mismas que se encuentran interconectadas de tal forma que puedan sumar, restar y multiplicar. Prácticamente, para llevar a cabo estas operaciones, se dispone de circuitos MSI los cuales se describen a continuación.

El primer circuito MSI es el sumador paralelo de 4 bits, mismo que realiza la suma de dos números de 4 bits cada uno. Con este dispositivo se pueden diseñar sumadores, restadores, multiplicadores y unidades lógicas aritméticas, todo ello cuando se combinan con otros dispositivos lógicos.

Otro circuito aritmético es la ALU, mismo que es un bloque funcional polivalente, capaz de realizar diferentes operaciones aritméticas y lógicas en un par de operandos de n bits. Las operaciones que lleva a cabo este dispositivo se realizan de acuerdo a la información que se aplica en las líneas de entrada. El dispositivo comercial más utilizado es la ALU de 4 bits, el cual dispone de una línea de control de función, misma que indica si la ALU trabajara como bloque lógico o como bloque aritmético. Dispone, además, de líneas de selección de operación, de entrada de operandos y de salida, en estas últimas es donde se puede visualizar el resultado de las operaciones realizadas. Así también, cuenta con una entrada y una salida de acarreo, las cuales quedan habilitadas cuando el ALU funciona como bloque aritmético. Estas dos últimas líneas son empleadas normalmente cuando se desea diseñar ALU's de más de cuatro bits.

Los diagramas a bloques de un sumador de 4 bits y del ALU se muestran en la figura III.10, y en la figura III.11 se proporcionan los símbolos IEEE para un circuito sumador y una ALU comercial.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

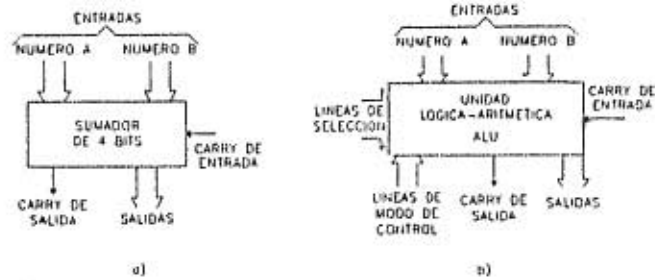


FIG. III.10 Diagrama a bloques: a) Sumador paralelo de 4 bits, b) Unidad Lógica-Aritmética

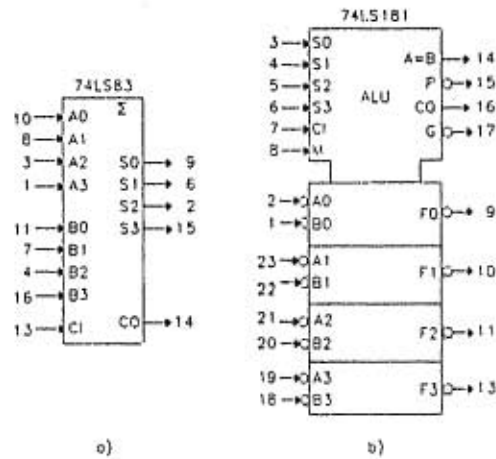


FIG. III.11 Símbolos IEEE: a) Sumador paralelo de 4 bits, b) Unidad Lógica-Aritmética

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

GENERADOR/DETECTOR DE PARIDAD

Para detectar si la paridad de una palabra binaria es correcta o incorrecta se usa un bloque funcional denominado detector de paridad; y, para generar el bit de paridad se requiere de un generador de bit de paridad. Sin embargo, comercialmente se dispone de dispositivos que son capaces de realizar ambas funciones a los que se les denomina generadores/detectores de paridad.

El generador/detector de paridad es un circuito combinacional que dispone de $m+1$ entradas y de dos salidas. En las $m+1$ entradas se aplica la palabra binaria de n bits junto con el bit de paridad, y el dispositivo se encarga de verificar internamente la paridad de la palabra aplicada, generando en sus salidas el bit de paridad correspondiente a la palabra que se ha aplicado en sus entrada.

El diagrama a bloques y el símbolo IEEE que se usa para representar al generador/detector de paridad se muestran en la figura III.12.

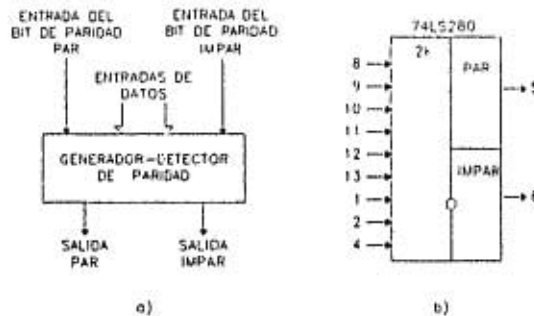


FIG. III.12 Generador/detector de paridad: a) Diagrama a bloques, b) Símbolos IEEE

Los circuitos MSI son parte fundamental en el diseño de los sistemas digitales modernos, estos circuitos se consideran como bloques constitutivos de gran relevancia en cada una de las funciones que llevan a cabo dichos sistemas. Los dispositivos MSI más representativos se enlistan en la tabla III.1.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

TABLA III.1 DISPOSITIVOS MSI

No. DE DISPOSITIVO	DESCRIPCION	FAMILIA
74LS157	Cuatro multiplexores 2:1. La línea de selección es común para los cuatro MUX. Cuenta con línea de habilitación activada en bajo.	TTL
74LS153	Multiplexor dual 4:1. Las líneas de selección son comunes para ambos MUX. Cuenta con líneas de habilitación independientes, mismas que se activan en bajo.	TTL
74LS151	Multiplexor sencillo 8:1. Cuenta con línea de habilitación activada en bajo. Dispone de dos terminales de salida complementadas entre sí.	TTL
74LS150	Multiplexor 16:1. Dispone de terminal de salida negada y cuenta con línea de habilitación activada en bajo.	TTL
74LS42	Decodificador binario de cuatro entradas y diez salidas, estas últimas son activadas en bajo.	TTL
74LS47	Decodificador BCD a 7 segmentos. Cuenta con cuatro entradas y siete salidas activadas en bajo. Las líneas de habilitación se activan en alto.	TTL
74LS138	Decodificador/demultiplexor con salidas activadas en bajo. Como deco. Entradas: A0, A1 y A2 Líneas de habilitación: E1 y E2 activadas en bajo y E3 activada en alto. Como Demux. Líneas de selección: A0, A1 y A2 Entrada: E1 Líneas de habilitación: E2 activada en bajo y E3 activada en alto.	TTL
74LS147	Codificador de prioridad. Dispone de nueve terminales para entradas decimales y cuatro salidas binarias. Tanto entradas como salidas son activadas en bajo.	TTL
74LS85	Comparador de magnitud de cuatro bits. Cuenta con terminales en cascada, mismas que se usan para expandir la capacidad del comparador, y de tres salidas para indicar si es mayor que, menor que o igual.	TTL
74LS83	Sumador binario de cuatro bits. Dispone de terminales para el acarreo de entrada y salida, las cuales se usan para conectar sumadores en cascada y con ello aumentar los bits a sumar.	TTL
74LS181	ALU de cuatro bits. Cuenta con cinco terminales para seleccionar la función y operación que ha de realizarse con los operandos aplicados en las terminales destinadas a las entradas de datos. La ALU puede realizar 16 operaciones lógicas y 16 operaciones aritméticas. Para conectar en cascada mas ALU's dispone de dos terminales de acarreo.	TTL

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

Continuación de la TABLA III.1

NO. DE DISPOSITIVO	DESCRIPCION	FAMILIA
74LS280	Generador/detector de paridad de 9 bits. Cuenta con dos terminales de salida para indicar la paridad de la palabra que se aplica en sus entradas.	TTL
MC14512B	Multiplexor 8:1. Cuenta con línea de habilitación activada en bajo.	CMOS
MC14539B	Multiplexor dual 4:1. Cuenta con líneas de selección compartidas y líneas de habilitación activadas en bajo independientes.	CMOS
MC14028B	Decodificador BCD a binario o BCD a octal. Cuenta con cuatro entradas y 10 salidas activadas en alto.	CMOS
MC14558B	Decodificador BCD a 7 segmentos. Cuenta con cuatro entradas y siete salidas activadas en alto. Dispone de tres líneas de habilitación, mismas que se activan en alto.	CMOS
MC14585B	Comparador de magnitud de cuatro bits. Cuenta con terminales en cascada, mismas que se usan para conectar comparadores en cascada y con ello expandir la capacidad del comparador, y de tres salida para indicar si es mayor que, menor que o igual.	CMOS

III.4 El diseño con dispositivos MSI

En los circuitos combinacionales prácticos puede presentarse el caso de que se cuente con docenas de entradas y salidas, y que requiera de gran cantidad de términos para describirlo; lo que provoca que se tengan diversos problemas en el diseño real de estos circuitos. Uno de estos problemas es que son demasiados grandes para ser analizados por los métodos de diseño teóricos o tradicionales.

Pero, entonces cabe la pregunta, ¿Que debe considerarse para diseñar un circuito combinacional de gran complejidad? La respuesta esta, en que hay que concebirlos como un conjunto de subsistemas, donde cada subsistema debe tener una descripción más sencilla.

Afortunadamente, se dispone en el mercado de varias estructuras comunes que facilitan, en cierta manera, el diseño de los circuitos combinacionales complejos. Estas estructuras son utilizados con bastante regularidad como bloques funcionales constitutivos de sistemas más grandes. Por tanto, debe tenerse presente que:

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

Un circuito combinacional esta bien diseñado cuando, a partir de un análisis profundo de las funciones a realizar, se obtiene un conjunto de bloques interconectados debidamente para llevar acabo cada una de las acciones correspondientes, de acuerdo claro, a las especificaciones del problema planteado.

Por otro parte, es importante que en el diseño de los circuitos combinacionales prácticos, se consideren un conjunto de reglas que permitan facilitar el diseño de estos, lo que permitirá desarrollar un circuito confiable y de bajo costo. Estas reglas se enumeran a continuación.

- 1.- El diseño de un circuito combinacional con dispositivos MSI, se debe realizar a partir de un diagrama a bloques, en el cual se muestren cada uno de los bloques que conforman al circuito y las conexiones que deberán de existir entre ellos.
- 2.- Deben establecerse las características y capacidades de los dispositivos MSI ha emplearse, para con ello optimizar el funcionamiento del circuito combinacional y de los propios dispositivos MSI.
- 3.- A partir de las funciones ha realizar, los dispositivos MSI, así como la arquitectura del circuito combinacional deberán de adaptarse a las necesidades correspondientes.
- 4.- Utilizar las señales de entrada y salida correctamente, de tal forma que no se altere el comportamiento deseado del circuito combinacional.
- 5.- Nunca emplear elementos RC en los circuitos en los que se utilizan dispositivos MSI combinacionales.

Por tanto, el diseño de un circuito combinacional, en el que los dispositivos MSI son la parte central, requiere de la cuantificación de dos puntos fundamentales; estos son: El diseño del soporte físico y el análisis que se realice del mismo. Para ello, es importante que el diseñador posea los conocimientos, tanto teóricos como prácticos, del comportamiento de cada uno de los dispositivos MSI existentes en el mercado. Además, es importante que el diseñador cuente con un procedimiento de diseño que le permita obtener un diseño confiable, de fácil mantenimiento y sobre todo de bajo costo.

Un conjunto de pasos para diseñar circuitos combinacionales se propone en la figura III.13. Este procedimiento toma en consideración lo anteriormente expuesto.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

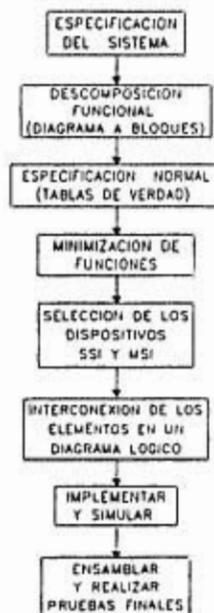


FIG. III.13 Pasos a seguir en el diseño de circuitos combinacionales con dispositivos MSI

III.5 Diseño de un pequeño sistema digital con dispositivos MSI

Antes de iniciar con el diseño del sistema digital, es importante recordar que, los circuitos combinacionales prácticos no pueden diseñarse a través de la aplicación metódica de procedimientos perfectamente definidos, dado al gran número de entradas y salidas con las que cuentan. Por tanto, hay que buscar métodos alternos que nos permitan llevar a cabo un diseño bien estructurado y sobre todo confiable y de bajo costo. Estos métodos alternos no deben salir de la nada, si no más bien de un razonamiento lógico que se derive del estudio y de la práctica constante, lo que permitirá alcanzar los fines establecidos en el diseño de cualquier circuito.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

DESCRIPCION DEL SISTEMA

Se desea diseñar un sistema de seguridad de una empresa bancaria; el cual consiste en permitir el paso del personal de dicha empresa, a través de dos puertas especiales en el horario en que dicha empresa permanece cerrada al público. En caso de que una o las dos puertas no se habrán debe de activarse una alarma. El circuito contará con tres sensores que generen las señales correspondientes para que las puertas puedan abrirse; así como de cuatro interruptores. Las condiciones ha cumplir son:

La puerta (P1) debe abrirse sólo cuando se presionen los interruptores dos y cuatro, y el primer sensor se active. Para activar al primer sensor se debe cumplir que el primer interruptor se presione, siempre y cuando el segundo interruptor este desactivado o cuando el segundo interruptor se presione y el tercer o cuarto interruptor se active.

La puerta (P2) sólo se abrirá si los tres sensores se han activado, para ello deben cumplirse las condiciones siguientes:

- El primer sensor cubre la misma condición para abrir la puerta (P1).
- El segundo sensor se activará cuando los interruptores de entrada forman un número menor que seis en código BCD exceso tres.
- El tercer sensor se activa si los interruptores de entrada forman en código BCD 84-2-1 un número mayor a dos pero menor a siete.

De la descripción verbal del problema tenemos que el sistema cuenta con cuatro entradas naturales (X1, X2, X3, X4), cuatro variables internas (S1, S2, S3, Y) y dos salidas (alarma y acceso). De lo anterior se desprende el diagrama a bloques de la figura III.14.

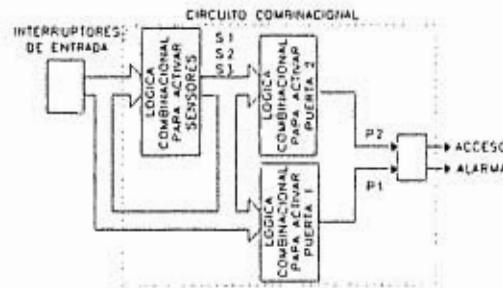


FIG. III.14 Diagrama a bloques del sistema digital

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

Para formular correctamente la especificación normal del problema debe comprenderse perfectamente que es lo que se desea llevar a cabo; es aquí donde entra la habilidad y capacidad del diseñador para verificar si el diagrama a bloques elaborado es correcto, en caso contrario deberán de realizarse las modificaciones pertinentes antes de entrar a la definición de la especificación normal del problema. Si se realizan modificaciones indicárlas en el momento, en caso contrario, se inicia con la elaboración de las tablas de acción (tablas de verdad) en las que se manifiesten las condiciones indicadas en el planeamiento del problema. A partir de esto tenemos:

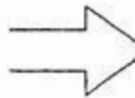
Para la puerta (P1)

De acuerdo a las especificaciones proporcionadas en la descripción verbal de problema, deben generarse dos señales internas, estas son las del sensor 1 (S1) y la correspondiente a la combinación cuando los interruptores dos y cuatro están activos (Y). Por tanto tenemos:

BINARIO PURO					BINARIO PURO						
	X1	X2	X3	X4	Y		X1	X2	X3	X4	S1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0	3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1	5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	0	6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0	7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0	8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0	9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	0	10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	0	11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0	12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0	13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	0	14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	0	15	1	1	1	1	0

La puerta 1 sólo se abrirá cuando las señales internas Y y S1 sean activas; por tanto, tenemos que dichas señales son las entradas requeridas para cumplir con la condición del problema.

Y	S1	P1
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1	1	1
0	1	0
0	0	0
0	1	0
0	1	0
0	1	0
0	1	0
0	0	0
0	1	0
0	1	0
0	0	0



Y	S1	P1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Para la puerta (P2)

De acuerdo a las especificaciones, la puerta 2 sólo debe abrirse si los tres sensores se han activado. Por tanto, para que el sensor (S1), el sensor (S2) y el sensor (S3) se activen tenemos:

Primera
condición

BINARIO PURO

	X1	X2	X3	X4	S1
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	0

Segunda
condición

BCD EXCESO 3

	X1	X2	X3	X4	S2
0	0	0	1	1	1
1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	1
3	0	1	1	0	1
4	0	1	1	1	1
5	1	0	0	0	1
6	1	0	0	1	0
7	1	0	1	0	0
8	1	0	1	1	0
9	1	1	0	0	0


Tercera
condición

BCD 84-2-1

	X1	X2	X3	X4	S3
0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	0
2	0	1	1	0	0
3	0	1	0	1	1
4	0	1	0	0	1
5	1	0	1	1	1
6	1	0	1	0	1
7	1	0	0	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	1	1	1	0

La puerta 2 sólo se abrirá cuando las señales internas S1, S2 y S3 estén activas; por lo tanto tenemos que dichas señales son las entradas requeridas para cumplir con la condición del problema.

S1	S2	S3	P2
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	1	1	1
1	1	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	0	1	0
0	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
0	0	0	0

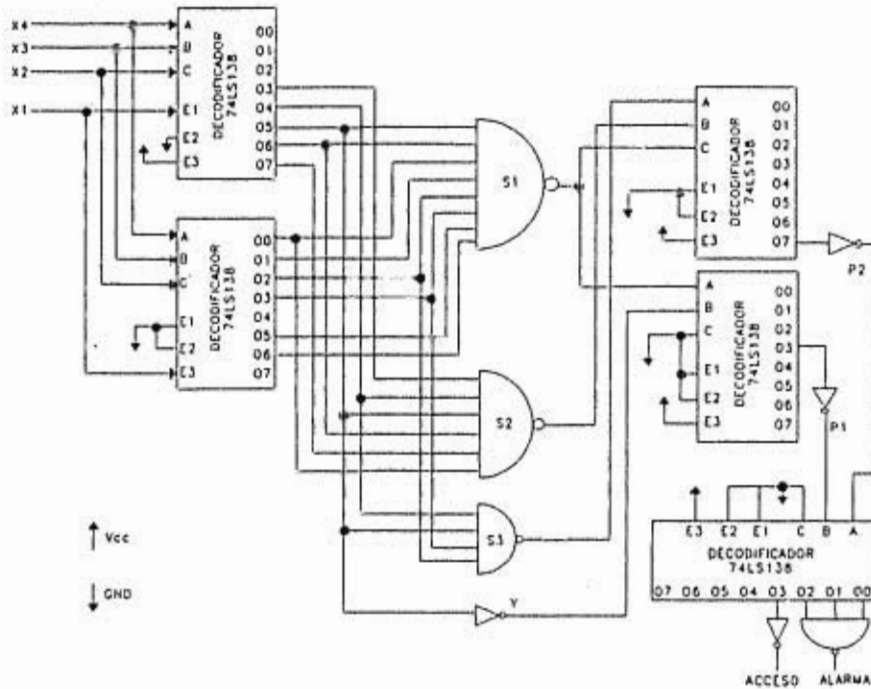


S1	S2	S3	P2
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	1	1

Finalmente tenemos, que la alarma debe activarse si una o las dos puertas no se han abierto, en caso contrario el personal tendrá acceso a la empresa bancaria.

	P1	P2	ACCESO	ALARMA
0	0	0	0	1
1	0	1	0	1
2	1	0	0	1
3	1	1	1	0

El diagrama lógico del sistema es:



III.6 Fallas en circuitos combinacionales

Uno de los problemas más frecuentes en el diseño de los circuitos combinacionales, y que son una de las causas principales de que se presentes fallas en el funcionamiento de los mismos, son los retrasos inherentes en la propagación de las señales a través de cada circuito. Normalmente, en el diseño de un circuito combinacional se realiza un análisis donde se predice que las salidas del circuito son una función de sus entradas, bajo la suposición de que las entradas serán estables durante un largo tiempo. Sin embargo, cuando se realiza un cambio en las señales de entrada, se puede presentar en la salida un pulso de corta duración, al cual se le denomina ALEA, lo que da lugar a una posible falla.

Si ocurre o no la falla en un circuito combinacional debido a estas ALEAS, siempre se debe estar preparado para eliminarlas, aún cuando pueda ocurrir bajo una combinación del peor caso. Por lo que, un circuito combinacional bien diseñado siempre estará estructurado de tal forma que las ALEAS no se presentes en todos los componentes del mismo.

Las técnicas para eliminar ALEAS en circuitos combinacionales no son fáciles de usar, sobre todo si el circuito esta conformado por dispositivos MSI. Sin embargo, si se requiere diseñar un circuito libre de ALEAS es preciso que todas las entradas al mismo, se cambien a un instante particular, dando lugar a que las salidas solo estén presentes cuando las entradas han alcanzado un nivel estable. Pero, también se pueden usar estructuras de circuito sencillas de analizar.

Por otra parte, se debe tener presente que la gran mayoría de los dispositivos digitales requieren de un breve pulso de corriente que proporciona la fuente de alimentación, y a no ser de que se desacople la fuente en los contactos circuito integrado, se generará un pico que puede causar que se presenten falsos disparos en otros dispositivos. Para eliminar este efecto, debe conectarse un capacitor cerámico entre las terminales de polarización de cada circuito integrado. El valor del capacitor debe estar en un rango de valores comprendido entre 0.1 μ f a 100pf.

Otras fallas frecuentes en los circuitos combinacionales son las que se presentan cuando no se han utilizado correctamente los dispositivos que conforman al circuito; tales como:

- polarización incorrecta;
- entradas sin conectar;
- salidas cortocircuitadas a Vcc o a GND;
- líneas de habilitación no activadas;
- salidas cortocircuitadas entre sí;
- entradas con diferente nivel lógico; y,
- el valor de ponderación de las entradas no se ha considerado correctamente.

Para corregir estas fallas, es necesario consultar los manuales de los fabricantes de los dispositivos utilizados y seguir las recomendaciones que nos hacen a través de las tablas de operación. Solo de esta forma y con la practica pueden eliminarse este tipo de fallas.

DESARROLLO PRACTICO

CIRCUITOS MSI

OBJETIVO

Familiarizarse con la operación de los dispositivos MSI disponibles en el mercado; tales como: Multiplexores, Decodificadores/Demultiplexores, Codificadores, Sumadores, Comparadores, ALU's y Generadores/detectores de paridad.

INTRODUCCION

Al examinar cualquier sistema digital, encontramos que estos cuentan con dispositivos digitales que se utilizan frecuentemente. Las funciones que llevan a cabo estos dispositivos son tan comunes, que se fabrican como circuitos integrados estándar, mismos que pueden incorporarse con cierta facilidad en cualquier sistema digital, lo cual permite reducir considerablemente el tiempo de diseño y el costos del mismo.

Funciones tales como: convertir un código en otro, comparar dos palabras binarias y realizar operaciones aritméticas o lógicas, entre otras, se llevan a cabo utilizando dispositivos que se encuentran disponibles en el mercado y a los cuales se les denomina circuitos integrados MSI.

Para conocer a los dispositivos MSI, no solo basta que se consulten los manuales correspondientes, si no que además, es preciso que se cuente con los conocimientos teóricos-prácticos del funcionamiento de cada dispositivo MSI disponible, dado que esto es lo que permitirá utilizarlos adecuadamente en diversas aplicaciones.

Por tanto, la finalidad del presente desarrollo, es la de mostrar como los dispositivos MSI pueden combinarse para cumplir con las especificaciones de un problema en particular; por lo que siguiendo las consideraciones pertinentes, se sugiere que se desarrollen los circuitos correspondientes que cumplan con los requerimientos definidos en la descripción verbal que se proporciona para cada uno de los diagramas a bloques mostrados. Ejemplos de aplicación que pueden resultar sencillos o complejos; sin embargo, en todos los circuitos ha desarrollar se tiene como propósito el recoger los conocimientos teóricos y prácticos de operación de cada dispositivo MSI y, con ello se verifique el por que estos dispositivos se siguen utilizando con frecuencia en muchas aplicaciones.

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

DESARROLLO

- 1.- El circuito de la figura III.15 permite realizar la multiplicación de los números X y Y, de tres y dos bits respectivamente. Para observar el resultado en dos display, se requiere diseñar el circuito combinacional que permita generar las señales correspondientes para ser aplicadas a los display y de esta manera se cumpla con el cometido correspondiente. El circuito combinacional, para este caso en particular se puede realizar utilizando compuertas lógicas. Implemente su diseño y verifique el funcionamiento de todo el circuito realizando diferentes productos. Explique el funcionamiento del circuito.

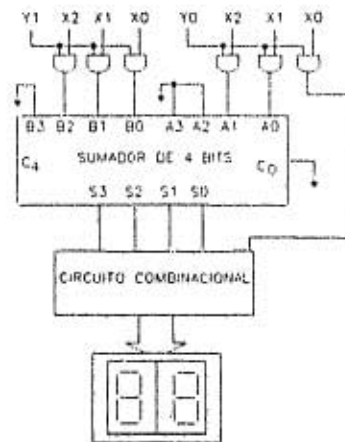


FIG. III.15 Diagrama a bloques del multiplicador

- 2.- La figura III.16 muestra el diagrama a bloques de un circuito combinacional con el que se puede realizar la transmisión de una palabra de 8 bits en serie. Para ello se tiene que cumplir, que la palabra ha transmitir deberá ser igual a una palabra que previamente se ha almacenado. En caso de que ambas palabras no sean iguales será necesario que se nulifique el proceso de transmisión. Además, para cada palabra ha transmitir es necesario que se verifique su paridad. Diseñe la unidad de control con un dispositivo MSI que permita seleccionar cada uno de los bits que conforman la palabra a transmitir. Implemente el circuito completo y verifique su funcionamiento.

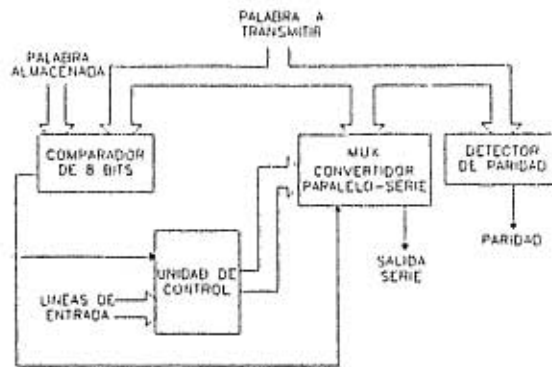


FIG. III.16 Diagrama a bloques del transmisor digital

- 3.- El dueño de una tienda comercial cuenta con 16 empleados a los cuales ha provisto de automóvil. Para vigilar que sus empleadas salgan a la asignada, requiere que se le diseñe un sistema digital para que sea instalado en su oficina y con ello pueda observar, por medio de un conjunto de lámparas, que sus empleados salgan en el horario correspondiente. Cada lámpara representará un cajón del estacionamiento para empleados. El dueño establece que el circuito disponga de cuatro entradas con las que se pueda manipular el sistema.

El diagrama a bloques del sistema se muestra en la figura III.17. Implemente su diseño y verifique el funcionamiento del mismo.

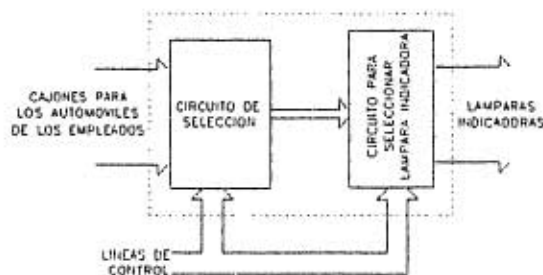


FIG. III.17 Diagrama a bloques del sistema de vigilancia

Implementación de Circuitos Combinacionales Empleando Circuitos MSI

- 4.- Los sistemas digitales son un conjunto de módulos que varían de tamaño y complejidad; estos módulos se encuentran interconectados de tal manera que pueden realizar distintas funciones. Dentro de estas se encuentran aquellas que se relacionan con las operaciones aritméticas, lógicas y de desplazamiento, las cuales se pueden realizar por diversos métodos empleando los dispositivos adecuados.

En la tabla III.2 se enlistan las operaciones aritméticas, lógicas y de desplazamiento. Para verificar cada una de ellas, diseñe el circuito lógico correspondiente, tome en consideración el diagrama a bloques mostrado en la figura III.18 para su diseño.

TABLA III.2

W	X	Y	Z	C	Operación
0	0	0	0	0	Sumar A y B
0	0	0	0	1	Sumar A y B con acarreo anticipado
0	0	0	1	0	Restar A y B con préstamo anticipado
0	0	0	1	1	Restar B de A
0	0	1	0	0	Cargar el dato A
0	0	1	0	1	Incrementar el dato A
0	0	1	1	0	Decrementar el dato A
0	0	1	1	1	Cargar el dato A
0	1	*	*	*	Poner en cero las salidas
1	0	0	0	*	Complementar el dato A
1	0	0	1	*	Realizar la operación XOR de A y B
1	0	1	0	*	Realizar la operación AND de A y B
1	0	1	1	*	Realizar la operación OR de A y B
1	1	0	0	*	Poner en cero las salidas
1	1	0	1	*	Desplazar a la derecha el dato A
1	1	1	0	*	Desplazar a la izquierda el dato A
1	1	1	1	*	Cargar el dato A

- 5.- Otra forma de realizar operaciones aritméticas y lógicas es a través del dispositivo 74LS181, mismo que es una ALU de 4 bits. Verifique su funcionamiento de acuerdo a la tabla de operación que proporciona el fabricante de dicho dispositivo en el manual correspondiente.

Compare la operación del circuito que diseñó en el punto 4 con la ALU del punto 5 y explique cómo se realizan cada una de las operaciones en ambos circuitos.

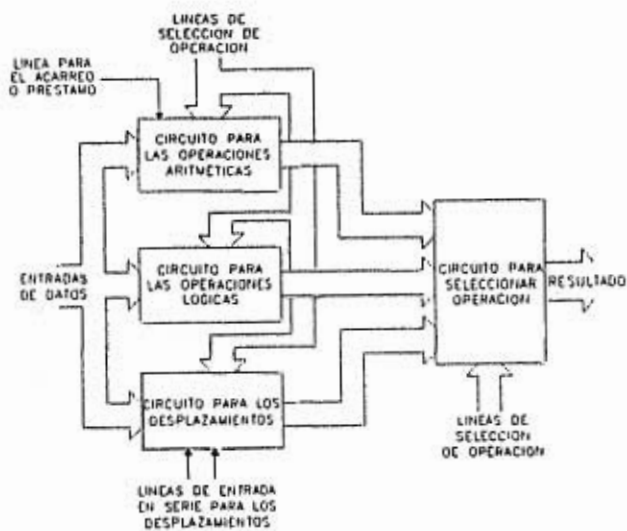


FIG. III.24 Diagrama a bloques del circuito aritmético-lógico

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DE CIRCUITOS PRACTICOS EMPLEANDO LOGICA SECUENCIAL

IV.- IMPLEMENTACION DE CIRCUITOS PRACTICOS EMPLEANDO LOGICA SECUENCIAL

IV.1 Introducción

En la actualidad, casi todos los sistemas digitales presentan una estructura en la que, el comportamiento propio del sistema depende del envío y recepción de señales de las diferentes partes que lo conforman. Estos sistemas son realimentados y funcionan a través de la memorización de los valores de las señales de entrada y de la secuencia previa por los cuales han pasado dichas entradas, logrando de esta manera que el sistema digital se automatice. La figura IV.1 muestra la estructura general de un sistema digital realimentado.

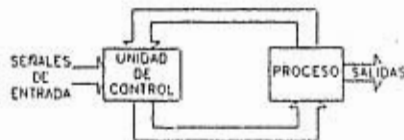


FIG. IV.1 Sistema digital realimentado

La unidad de control del sistema, es básicamente un circuito secuencial que se diseña para que siga una secuencia de transiciones de estado previamente establecida; donde el estado del circuito secuencial en un instante determinado está definido por los valores de un conjunto de señales de interés.

Los tipos de señales que normalmente aparecen en un circuito secuencial se denominan como variables de entrada primarias y variables de salida primarias. Una variable de entrada primaria es aquella que se controla por medios externos y generalmente se aplica a la lógica combinacional que forma parte del circuito secuencial. Por su parte, las variables de salida primarias se derivan del circuito y son las que controlan a los elementos conectados al circuito mismo.

Pero, existen otro tipo de señales en un circuito secuencial, las denominadas variables de estado, las cuales constituyen en sí la memoria del circuito secuencial; y las señales de salida secundarias, mismas que son generadas por la lógica combinacional y cuya función es determinar el estado siguiente del circuito secuencial.

IV.2 Definición de un circuito secuencial

Un circuito secuencial es una máquina de estados que lleva a cabo el control en tiempo real de un proceso determinado, donde sus salidas, no sólo dependen del valor de las entradas actuales, sino también de la secuencia previa por la cual han atravesado dichas entradas. Esto implica, que son circuitos que tienen la capacidad de almacenar información, misma que es obtenida de las entradas previas. Dicha información almacenada es lo que constituye el estado interno del circuito secuencial. Por tanto, un circuito secuencial debe tener las características siguientes:

- un marco finito de 2^n estados de entrada;
- un marco finito de 2^m estados internos; y,
- un marco finito de 2^p estados de salida.

El diagrama a bloques general de un circuito secuencial se muestra en la figura IV.2.

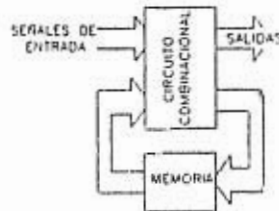
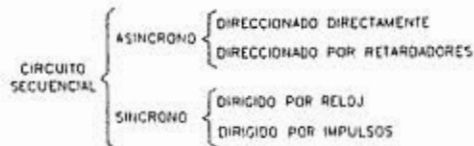


FIG. IV.2 Diagrama a bloques de un circuito secuencial

IV.3 Clasificación de los circuitos secuenciales

Los circuitos secuenciales son circuitos con estados y aun cuando no existe una total coincidencia en la forma en que se clasifican, esta puede ser como sigue:



Circuitos secuenciales asíncronos

Son aquellos en los que el valor de sus señales de salida sólo se ven afectados por un cambio en las señales de entrada y por la secuencia automática de los estados internos, esto claro, hasta que el circuito alcance un estado estable para una determinada combinación de las entradas. Es decir, son circuitos en los que sus elementos responden directamente a los cambios en sus entradas. Un estado estable, es aquel que se alcanza para una combinación de entrada específica y que tiene como propiedad que el estado interno siguiente coincida con él.

Este tipo de circuitos también son denominados circuitos de nivel, dado que no requieren de una señal externa (pulso de reloj) que controle la transición de los estados internos; por lo que se pueden subdividir en dos modalidades:

Direccionados por nivel: Circuitos que están conformados esencialmente por dispositivos combinacionales, donde las señales de salida se realimentan a las entradas del circuito, constituyendo con ello que formen parte de las señales de entrada. Por tanto, la memoria de estos circuitos se deriva del tiempo de propagación que se presenta en cada uno de los elementos que conforman al circuito. El diagrama a bloques de este tipo de circuitos se muestra en la figura IV.3.

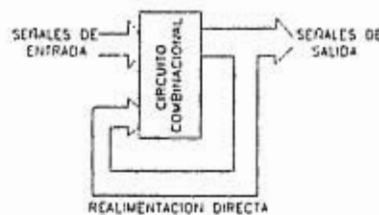


FIG. IV.3 Diagrama a bloques de un circuito secuencial asíncrono direccionado directamente

Direccionado por retardadores: son circuitos que por lo general poseen una sola salida y, cuyas entradas controlan directamente su estado cuando alcanzan un nivel activo determinado. Por tanto, la memoria de este tipo de circuitos la constituyen las salidas de los elementos asíncronos que forman parte del circuito; a estos elementos asíncronos se les denomina latch, mismos que están conformados por compuertas y que utilizan la activación por nivel para controlar los cambios de estado. Dicha activación es transparente, dando lugar a que el estado pueda seguir cambiando mientras la señal de activación esté presente. El diagrama a bloques general de estos circuitos se muestra en la figura IV.4.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

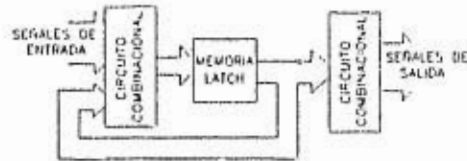


FIG. IV.4 Diagrama a bloques de un sistema secuencial asíncrono direccionado por retardadores

Circuitos secuenciales síncronos

Son circuitos que utilizan una señal externa periódica para controlar con precisión la secuencia de los estados internos y, por tanto, el estado de todo el circuito, generando con ello nuevas salidas. En la figura IV.5 se muestra un diagrama a bloques de un sistema secuencial síncrono.

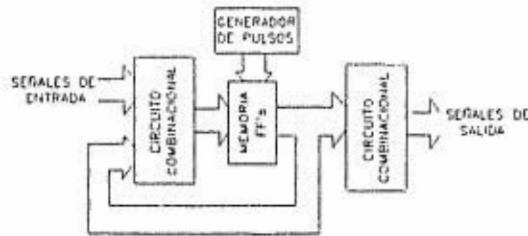


FIG. IV.5 Diagrama a bloques de un sistema secuencial síncrono

Se pueden distinguir dos tipos de circuitos secuenciales síncronos; estos son:

Dirigidos por reloj: En este tipo de circuitos, la señal que proporciona un generador de pulsos carecen de información y sólo se usa para indicar en que momento se debe realizar el cambio del estado interno; es decir, el generador de pulsos es quien controla el funcionamiento de todos los dispositivos del circuito.

Es importante aclarar, que la señal de reloj que se aplica a estos circuitos debe cumplir con dos condiciones determinantes para satisfacer su cometido; estos son:

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- 1.- La frecuencia de la señal de reloj debe permitir que entre cada dos pulsos se establezca todo el circuito.
- 2.- Cada pulso de reloj sólo pueda originar un cambio de estado.

Dirigidos por pulso: Son circuitos donde los estados del mismo se sincronizan mediante pulsos que determinan la transición de un estado a otro, por lo que no está permitido la generación de pulsos simultáneos en varias entradas. Esto lleva a que las señales de entrada no se solapen, lo que hace que sea posible que la respuesta del circuito sea más rápida. A los circuitos que cumplen con esta característica, es frecuente denominarlos "circuitos síncronos asíncronos".

IV.4 Dispositivos secuenciales

Se dispone en el mercado de diversos dispositivos que son utilizados en el diseño de los circuitos secuenciales; estos se agrupan de acuerdo a su complejidad y capacidad de funciones que realizan. Estos grupos se describen a continuación.

Operadores lógicos secuenciales

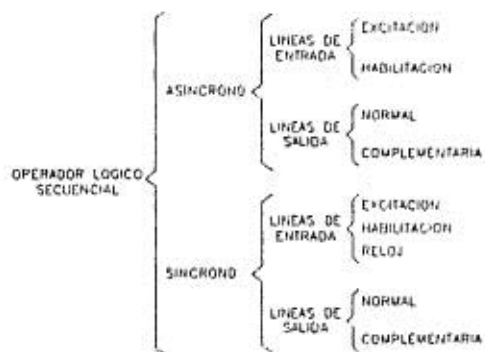
Son agrupaciones de compuertas lógicas conectadas entre sí, de tal forma que el nivel lógico de sus salidas en un instante determinado no depende solamente de los estados lógicos de las entradas si no, que además, de la secuencia previa de estados de las entradas. Estos dispositivos se dividen como sigue:

Operadores lógicos secuenciales asíncronos: Son aquellos en los que las señales de entrada actúan directamente sobre el operador; es decir, los cambios que se dan en la señales de entrada dan origen a un cambio en el estado interno del operador. Los dispositivos comerciales que cumple con esta característica son denominados LATCH.

Operadores lógicos secuenciales síncronos: Son dispositivos en los que las señales de entrada no actúan de forma directa, sino que sólo lo hacen cuando se presenta un pulso de reloj. A estos dispositivos se les denomina comúnmente flip-flop.

En general, las terminales con las cuales normalmente cuentan los operadores secuenciales son:

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.



En la tabla IV.1 se enlistan los operadores lógicos secuenciales más comunes, y en la figura IV.6 se muestran las configuraciones de los flip-flop.

TABLA IV.1

NO. DE DISPOSITIVO	FUNCION	HABILITACION	DISPARO	SALIDA TRIESTADO	FAMILIA
74LS73	FLIP-FLOP JK	SI	FLANCO	NO	TTL
74LS74	FLIP-FLOP D	SI	FLANCO	NO	TTL
74LS75	LATCH TIPO D	SI	NIVEL	NO	TTL
74LS76	FLIP-FLOP JK	SI	FLANCO	NO	TTL
74LS175	FLIP-FLOP D	SI	FLANCO	NO	TTL
74LS279	LATCH TIPO SR	NO	NIVEL	NO	TTL
74LS373	LATCH TIPO D	SI	NIVEL	SI	TTL
74LS377	FLIP-FLOP D	SI	FLANCO	SI	TTL
HC14013B	FLIP-FLOP D	SI	FLANCO	NO	CMOS
HC14027B	FLIP-FLOP JK	SI	FLANCO	NO	CMOS
HC14042B	LATCH TIPO D	SI	FLANCO	NO	CMOS
HC14043B	LATCH TIPO SR	SI	FLANCO	SI	CMOS

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

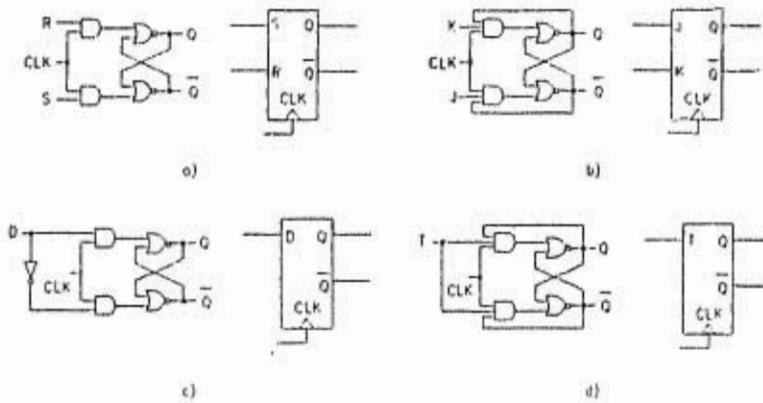


FIG. IV.6 Flip-Flops a) RS, b) JK, c) D y d) T

Bloques lógicos secuenciales

Son agrupaciones de compuertas lógicas y flip-flops, los cuales se conectan entre sí para realizar funciones lógicas de cierta complejidad y, cuya capacidad de operación esta limitada por el número de flip-flops que contiene. Sus características principales son las siguientes:

- Posibilidad de puesta en un estado determinado, normalmente en condiciones iniciales.
- Control del tercer estado de la salida.
- Selección de diferentes modos de operación.
- Ampliación de la capacidad.
- Selección del flanco activo.
- Programación.

Por lo general, los bloques lógicos cuentan con las siguientes terminales:

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.



Diversos bloques lógicos están disponibles como partes MSI; estos bloques se describen a continuación.

Contadores

Dispositivo conformado por operadores lógicos secuenciales conectados de tal manera, que permiten el conteo de pulsos; para ello disponen de una entrada de pulso de reloj. El estado interno del contador, en cada instante, representa el número de pulsos que se aplican a dicha entrada. Estos dispositivos presentan varios formatos en sus salidas, en las cuales se muestra el número de unidades que se han contado en todo momento. Los contadores se definen por cuatro parámetros esenciales:

- Frecuencia máxima de conteo: parámetro que depende en gran medida por la tecnología que se emplea en la fabricación del contador, o de los elementos que lo conforman.
- Código: es el que se utiliza para el conteo de los pulsos. Los códigos más empleados son el binario, el BCD, y el de anillo.
- Módulo: número máximo de unidades que se han de contar y se expresa:

$$M = n + 1$$

- Modo de operación: se refiere a las condiciones en que pueden operarse a los contadores y se clasifica en asíncrono y síncrono.

Contadores asíncronos

Estos dispositivos están conformados por flip-flop conectados en cascada, de tal modo que la salida de cada uno de ellos maneja la entrada de reloj del siguiente, es decir, el efecto del pulso de reloj aplicado al primer flip-flop se propaga sucesivamente al siguiente flip-flop y así sucesivamente. El diagrama a bloques general de estos dispositivos se muestra en la figura IV.7

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.



FIG. IV.7 Diagrama a bloques del contador asincrono.

Los contadores comerciales MSI que se ajustan a la descripción anterior son los contadores binarios, por ejemplo el 7490 y el 7493. Las entradas más comunes en un contador asincrono son:

- Entradas de habilitación: empleadas para poner en condiciones de operación al contador.
- Entradas de restablecimiento: se utilizan para reiniciar al contador en cualquier instante.
- Entradas de reloj: terminal por donde se aplica el pulso de reloj.
- Salidas: terminales donde se muestran los cambios de estado.

Contadores sincronicos

Son bloques lógicos conformados, al igual que los contadores asincronicos, por flip-flops, con la diferencia de que estos se activan de forma simultánea por una señal de reloj, por lo que todos los flip-flops cambian en sincronía con dicha señal. En la figura IV.8 se muestra el diagrama a bloques general.

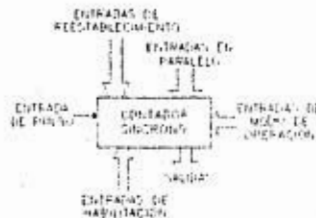


FIG. IV.8 Diagrama a bloques del contador sincrono

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

La característica más importante de los contadores síncronos es la velocidad con la que operan, lo que reditúa en un costo más alto y un consumo de energía mayor. Las terminales con las que cuenta un contador síncrono son:

- Entradas de habilitación: empleadas para poner al contador en condiciones de operación.
- Entradas de restablecimiento: se emplean para inicializar al contador en cualquier instante.
- Entradas de operación: Para indicar el modo de operación del contador.
- Entradas en paralelo: Empleadas para aplicar la información de manera simultánea.
- Entrada de conteo: Terminal por donde se debe aplicar la señal de reloj para activar a los diferentes flip-flop que conforman al contador.
- Salidas: Terminales donde se muestra los cambios de estado.

En la tabla IV.2 se enlistan los contadores síncronos y asíncronos que con frecuencia se encuentran en el mercado.

Registros

Son bloques lógicos secuenciales capaces de memorizar varios bits de información de manera temporal. Estos dispositivos se diseñan normalmente con flip-flop tipo D disparados por flancos, logrando que las salidas cambian de estado cuando se presenta la transición del pulso de reloj; y de acuerdo con las señales de entrada que se aplican antes de que llegue el pulso. Estos dispositivos se dividen en registros de almacenamiento y en registros de desplazamiento.

Registros de almacenamiento

Son dispositivos cuya operación consiste en almacenar una palabra de información de longitud determinada, es decir, recibe información de m -bits, la retiene y la sustituye cuando es requerida. El proceso de almacenamiento se lleva a cabo cuando la información se aplica en las entradas y después de un pulso de reloj, la información queda registrada y disponible en las salidas. El diagrama a bloques general de un registro de almacenamiento se muestra en la figura IV.9.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

TABLA IV.2

No. DE DISPOSITIVO	TIPO DE CONTADOR	MODULO	MODO DE CONTEO	HABILITACION	CARGA	OPERACION	FAMILIA
74LS90	BCD	10	UP	SI	NO	A	TTL
74LS92	BINARIO	12	UP	SI	NO	A	TTL
74LS93	BINARIO	16	UP	NO	NO	A	TTL
74LS160	BCD	10	UP	SI	SI	S	TTL
74LS161	BINARIO	16	UP	SI	SI	S	TTL
74LS190	BCD	10	UP/DOWN	SI	SI	S	TTL
74LS191	BINARIO	16	UP/DOWN	SI	SI	S	TTL
74LS193	BINARIO	16	UP/DOWN	NO	SI	S	TTL
4017B	BCD	10	UP	SI	NO	S	CMOS
4020B	BINARIO	2 ¹⁴	UP	NO	NO	A	CMOS
4024B	BINARIO	2 ⁷	UP	NO	NO	A	CMOS
4029B	BCD	10	UP/DOWN	SI	SI	S	CMOS
4510B	BCD	10	UP/DOWN	SI	SI	S	CMOS

NOTAS

A: Contador asíncrono

S: Contador síncrono

UP/DOWN: Contador ascendente (UP)/Contador descendente (DOWN)

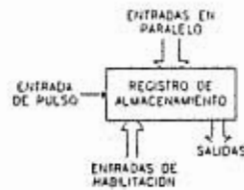


FIG. IV.9 Diagrama a bloques de un registro de almacenamiento

Existen en el mercado varios registros de almacenamiento MSI, cuyas dimensiones están limitadas por el número de terminales disponibles en un paquete IC. Las terminales más comunes con las que cuentan estos dispositivos son:

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- Líneas de habilitación.
- Líneas de entrada de datos en paralelo.
- Entrada de reloj.
- Líneas de salida en paralelo.

Registros de desplazamiento

Dispositivos secuenciales síncronos en los que la información presente en las salidas se desplaza una posición a la izquierda o a la derecha cada vez que se aplica un pulso de reloj. El diagrama a bloques de un registro de desplazamiento se muestra en la figura IV.10.

La transferencia de información en estos dispositivos se realiza en función a los formatos que se presentan en sus entradas y salidas, y que se clasifican de acuerdo a la forma en que se aplican y se obtienen los datos. Los formatos para clasificar a estos dispositivos son los siguientes:

a) Tipo de entrada-salida de información:

- * entradas paralelo - salidas paralelo,
- * entradas paralelo - salidas serie,
- * entradas serie - salidas paralelo,
- * entradas serie - salidas serie.

b) Tipo de desplazamiento:

- * desplazamiento a la derecha,
- * desplazamiento a la izquierda,
- * desplazamiento bidireccional.

c) Tipo de longitud de la información:

- * desplazamiento de 4 bits,
- * desplazamiento de 8 bits.



FIG. IV.10 Diagrama a bloques de un registro de desplazamiento

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

Actualmente se cuenta en el mercado con registros de desplazamiento universales que poseen los formatos especificados con anterioridad, cuyas dimensiones están limitadas por el número de terminales en un paquete IC. Las terminales con las que generalmente disponen estos dispositivos son:

- Entradas en paralelo.
- Entradas en serie.
- Entrada de reloj.
- Entradas de modo de operación.
- Entradas de habilitación.
- Líneas de salida.

En la tabla IV.3. se enlistan los registros de almacenamiento y desplazamiento más populares en el mercado.

TABLA IV.3

No. DE DISPOSITIVO	ENT. DE MODO DE CONTROL	ENT. EN SERIE	ENT. EN PARALELO	TIPO DE SALIDA	TIPO DE REGISTRO	MODO DE DISPARO	FAMILIA
74LS95	SI	SI	SI	PARALELA	DESPLAZ.	NIVEL	TTL
74LS164	NO	SI	NO	PARALELA	DESPLAZ.	NIVEL	TTL
74LS165	NO	SI	SI	SERIAL	DESPLAZ.	FLANCO	TTL
74LS173	NO	NO	SI	PARALELA	ALMACEN.	FLANCO	TTL
74LS194	SI	SI	SI	PARALELA	DESPLAZ.	NIVEL	TTL
74LS323	SI	SI	SI	PARALELA	DESPLAZ. Y ALMACEN.	NIVEL	TTL
74LS374	NO	NO	SI	PARALELA	ALMACEN.	FLANCO	TTL
4076B	NO	SI	SI	PARALELA	ALMACEN.	NIVEL	CMOS
4094B	NO	SI	NO	SERIAL Y PARALELA	DESPLAZ. Y ALMACEN.	FLANCO	CMOS
4194B	SI	SI	SI	PARALELA	DESPLAZ.	FLANCO	CMOS
4562B	NO	SI	NO	PARALELA	DESPLAZ.	NIVEL	CMOS

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

IV.5 El diseño de circuitos secuenciales

El objetivo principal del diseño de un circuito secuencial es el de obtener una estructura lógica que tenga un comportamiento determinado. Sin embargo, para definir esta estructura es importante tomar en cuenta el entorno técnico y funcional del circuito, por lo que es importante describir de manera precisa el comportamiento de entrada/salida del mismo.

Para definir este comportamiento, es necesario plantear un algoritmo en el que se especifique la secuencia de acciones y decisiones; algoritmo que debe contener un número finito de pasos, donde cada paso tendrá que definirse en forma precisa y sin ambigüedades, así como con un orden específico. Para ello se recurre a dos estrategias o herramientas de diseño.

La primera estrategia que se utiliza en el diseño de los circuitos secuenciales son las denominadas cartas ASM, los cuales hacen referencia a máquinas de estados finitas. En sí, una carta ASM es un diagrama de flujo que permite describir de manera completa y sin ambigüedades, en función de las acciones y decisiones, el comportamiento deseado de la máquina secuencial. Por lo que, el diagrama ASM define de manera explícita el comportamiento del circuito y de la forma en como el flujo de señales puede inferir sobre el mismo.

Un diagrama ASM se compone de símbolos gráficos, en los cuales se proporciona una descripción condensada de las acciones y decisiones del circuito en función de las señales de control y estado. Los símbolos utilizados en un diagrama ASM se muestran en la figura IV.11. y su descripción se proporciona a continuación.

Proceso: En este se describen de manera concisa las acciones que se llevan a cabo durante un ciclo de la señal de reloj. Estas cajas se etiquetan con un nombre simbólico y un código binario, y mediante flechas se indica la entrada y salida del proceso. A este símbolo también se le suele denominar caja de estados.

Decisión: es una caja en forma de diamante, que consta de una entrada y dos salidas. En este diamante se proporciona el nombre de la variable lógica que sirve como condición y que a su vez será evaluada. El valor de dicha variable determinará cual de las dos trayectorias de salida del diamante es la que seguirá en el ciclo de reloj actual.

Terminal: es una caja que tiene siempre como entrada una de las salidas de la caja de decisión, y en la misma se especifica la condición requerida para que las salidas que contienen dicha terminal pueda ocurrir. Es decir, es una caja en la que se muestran las salidas que dependen de las entradas.

Bloque proceso/decisión: es una caja en la que se efectúa una acción y al mismo tiempo se evalúa una variable de entrada.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

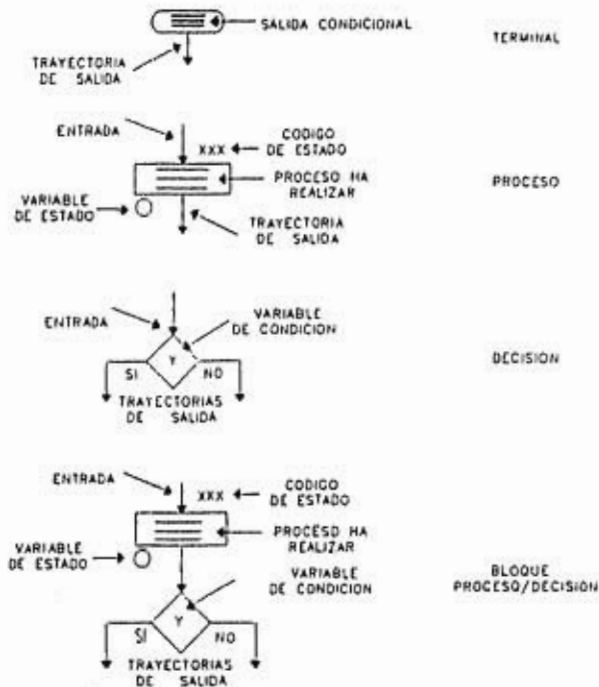


FIG. IV.11 Elementos de una carta ASM

Para construir un diagrama ASM deben seguirse tres puntos esenciales; estos son:

- Desarrollar un algoritmo que defina el comportamiento general del circuito.
- Bosquejar la estructura global del circuito a través de un diagrama a bloques, e identificar sus principales señales, tanto de control como de estado.
- Elaborar el diagrama ASM que defina el algoritmo en función de las señales de control y de estado.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

La segunda herramienta o estrategia en el diseño de un circuito secuencial es el que hace referencia a los diagramas de estados, y al igual que en la carta ASM, en estos se describe de manera completa el comportamiento del circuito secuencial. Por lo que, la información que se proporciona en el diagrama de estados corresponde a cada combinación de entrada primaria/estado presente, así como la combinación correspondiente de estado siguiente/salida primaria. De esta manera, el diagrama de estados contiene todas las secuencias de entrada/salida del circuito en forma implícita y finita.

El diagrama de estados se compone básicamente de tres símbolos gráficos; estos son: una caja ovalada que representa a cada estado; de una flecha que se utiliza para indicar la transición de estado correspondiente y, para representar una salida en una combinación de estado/entrada se lleva a cabo a través de dos flechas en paralelo invertidas.

En la figura IV.12 se muestran los símbolos que se usan para elaborar un diagrama de estados con sus principales características y la relación que tienen los mismos con cada uno de los símbolos de una carta ASM, dado que en realidad, tanto el diagrama de estados y la carta ASM están relacionados estrechamente.

Para elaborar un diagrama de estados es necesario de contar con la carta ASM y realizar las transformaciones correspondientes de acuerdo a la relación mostrada en la figura IV.12.

Por tanto, el punto de partida en el diseño de los circuitos secuenciales se da, cuando se elabora un algoritmo de solución apropiado que describa el comportamiento deseado del circuito. De este algoritmo se obtiene la carta ASM y por consecuencia el diagrama de estados correspondiente, a partir del cual se aplican diferentes metodologías de diseño basadas en el dispositivo secuencial ha utilizar.

Por último, es importante que en el diseño de los circuitos secuenciales se cumplan un conjunto de reglas generales que permitan garantizar la funcionalidad de los mismos. Estas reglas son:

- 1.- Diseñar circuitos síncronos siempre que sea posible.
- 2.- Utilizar sólo un generador de pulsos para todo el circuito.
- 3.- Emplear dispositivos secuenciales que sean disparados por el mismo nivel o flanco de la señal de reloj.
- 4.- Inhabilitar las entradas asíncronas; como lo son las entradas SET o CLEAR en los flip-flops, o la entrada MR o R en los registros y contadores universales.

- 5.- No utilizar por ningún motivo circuitos monoestables para generar la señal de reloj, dado que estos generan en ciertos momentos pulsos indeseables denominados con frecuencia como flancos de modo asíncrono.
- 6.- Procurar que el máximo tiempo de retardo de las señales presentes en las distintas partes del circuito no sea mayor al tiempo de retardo de una señal en una compuerta.

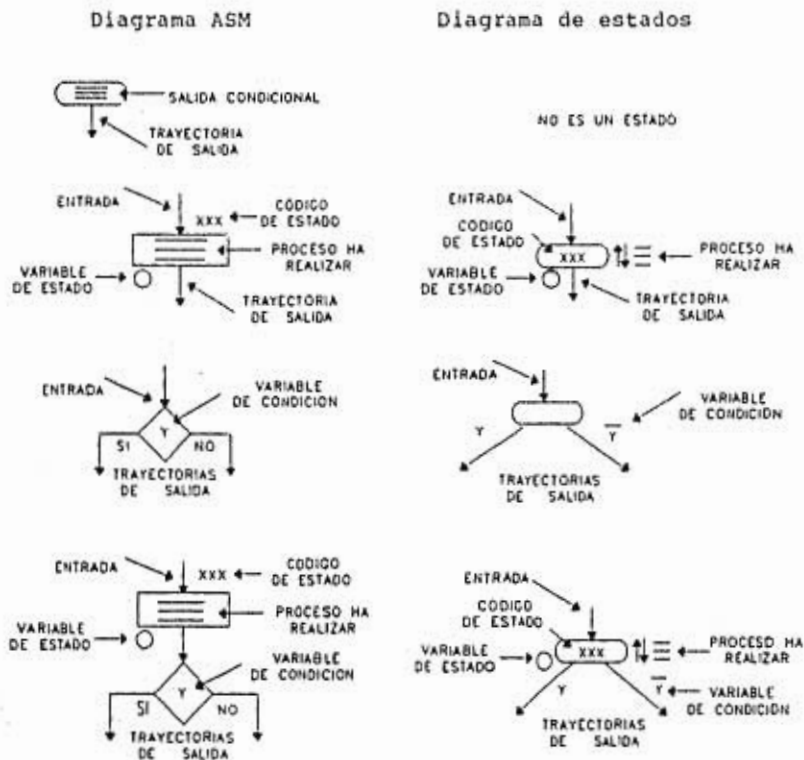


FIG. IV.12 Relación entre los elementos de una carta ASM y los elementos de un diagrama de estados

IV.6 Metodologías para diseñar circuitos secuenciales

Una metodología de diseño es una serie de pasos ha seguir para obtener una estructura lógica que evolucione de acuerdo a una secuencia previamente definida, la cual a partir de una sucesión de estados internos, en número finito, codifique la historia de las señales de entrada. Para ello, se debe obtener primeramente una descripción formal del comportamiento de estado, posteriormente asignar los códigos binarios que representen a cada estado y finalmente definir la lógica combinacional que permita realizar las funciones de estado siguiente y de salida.

Dadas las características del diseño y de los objetivos que se persigan, en cuanto a complejidad de la lógica combinacional, costo, número de conexiones y empleo de dispositivos tanto SSI como MSI, se puede elegir entre diversas alternativas de diseño para implementar físicamente un circuito secuencial. Cuatro alternativas de diseño se describen a continuación.

Diseño por estado

En este tipo de diseño se tiene que el estado siguiente se genera a partir de una lógica combinacional de entrada, como una función de las señales de entrada primarias y del estado interno actual. Por su parte las señales de salida primarias se determinan por una lógica combinacional de salida, mismas que son una función del estado interno actual y de las entradas primarias. Las señales de salida secundarias se generan en la lógica combinacional de entrada y son las que determinan las funciones de estado siguiente, representando con ello la parte de procesamiento de datos del circuito secuencial.

Tanto la lógica combinacional de entrada como la de salida están conformadas por compuertas lógicas, mismas que se conectan de tal manera que respondan a la secuencia de señales que se aplican. Por su parte, la memoria del circuito secuencial se compone de un conjunto de n flip-flops, los cuales permiten almacenar el estado presente. La arquitectura general de trabajo del diseño estado se muestra en la figura IV.13.

La ventaja de este tipo de diseño es que se utiliza para implementar circuitos secuenciales pequeños; sin embargo, es poco práctica debido a que requiere de un número excesivo de dispositivos SSI, resultando un circuito poco confiable y costoso. Los pasos de la metodología para este tipo de diseño se definen a continuación.

1. Elaborar un mapa (mapa de Karnaugh) de estados presentes en el que se defina de manera precisa el comportamiento deseado del circuito. La información que debe especificarse en dicho mapa corresponde al nombre simbólico que se le da a cada estado del diagrama de estados.

El tamaño del mapa de estados presente debe ser igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado. Las variables que influirán en este mapa, serán las salidas afirmadas de los flip-flops a utilizar.

2. A partir del mapa de estados presentes, elaborar un mapa de acción donde se indiquen los estados siguientes y el nombre de la señal de entrada que obliga a la transición de estados, o sólo el estado siguiente cuando no dependa de una señal de entrada. Toda la información necesaria se obtiene del diagrama de estados. Debe indicarse que, tendrá que respetarse la asignación de cada una de las celdas de acuerdo a como se indique en el mapa de estados presentes.
3. Elegir el tipo y número de flip-flop a utilizar. Además, se tiene que proporcionar la tabla de excitación, también denominada segunda ecuación de diseño del flip-flop a utilizar. Recuérdese que un flip-flop es una unidad de memoria que almacena sólo un bit de información, por lo que el número de flip-flops debe ser el suficiente para codificar todos los estados internos deseados. Es decir, si el código de estados está conformado por 3 bits, el número de flip-flops a utilizar será de 3.
4. Del mapa de acción, obtener un mapa de estado siguiente para cada bit que conforma el código de estado. Para determinar que valor se tiene que aplicar en cada celda del mapa de estado siguiente, debe realizarse un análisis de cada celda del mapa de acción y tomando en consideración la tabla de excitación del flip-flop que se elija. A este análisis se le denomina el método de la suma variable.
5. Para indicar en que estados se presentan las salidas primarias del circuito, debe elaborarse un mapa de salidas. Para realizar este mapa, considérese el mapa de estados presente y el diagrama de estados.
6. Obtener las ecuaciones de excitación y de salida a partir de los mapas de estado siguiente y del mapa de salidas respectivamente. Para ello, deben seguirse las reglas de reducción correspondientes a los mapas de Karnaugh.
7. Dibujar el diagrama lógico correspondiente, en el cual se muestren los dispositivos a utilizar y las conexiones que deberán de realizarse. Por último, implementese el circuito secuencial y verifique que cumpla con la función deseada.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

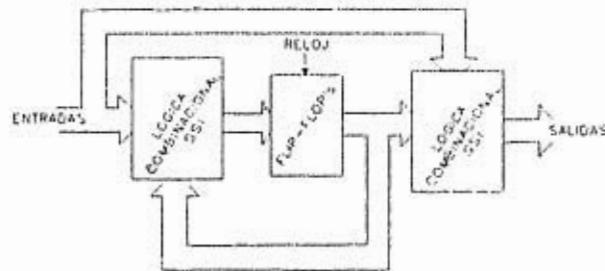


FIG. IV.13 Arquitectura de trabajo para el diseño por estado

Diseño multiplexado

En este tipo de diseño se utiliza como memoria a un conjunto de n flip-flops D activados por flancos, cuyas entradas de información están gobernadas por las salidas de multiplexores, que a su vez son controlados a través de las salidas de los flip-flops. En las entradas de los multiplexores es donde se aplican los valores de las señales de entrada primarias o una combinación de las mismas; también pueden estar conectadas a niveles lógicos perfectamente definidos (1 ó 0). Para obtener las salidas primarias se utiliza un decodificador binario, el cual es controlado por las salidas de los flip-flops.

Por tanto tenemos, que en este tipo de diseño el estado siguiente está determinado por la lógica de estado siguiente como una función del estado interno actual y de las entradas primarias que se aplican a los multiplexores. Y por su parte las salidas sólo dependen del estado interno actual. La figura IV.14 muestra la arquitectura de trabajo general del diseño multiplexado.

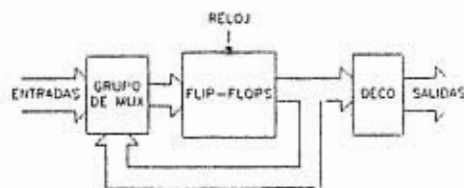


FIG. IV.14 Arquitectura de trabajo para el diseño multiplexado

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

Los pasos de esta metodología de diseño son muy similares a la del diseño por estado; mismos que se mencionan a continuación:

1. Elaborar un mapa de estados presentes en el que se especifique, en la celda correspondiente, el nombre simbólico que se le da a cada estado del diagrama de estados. El tamaño de este mapa debe ser igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado. Las variables que afectaran al mapa de estados presentes, serán las salidas afirmadas de los flip-flops.
2. Elaborar un mapa de acción, donde la información ha proporcionar en cada una sus celdas será la variable de condición que obliga a la transición del estado en cuestión y el código del estado siguiente, o solo el código de estado siguiente cuando no depende de una señal de entrada. Toda la información necesaria se obtendrá del diagrama de estados y del mapa de estados presentes.
3. Determinar el número de multiplexores y flip-flops D ha utilizar, mismo que dependerá del número de bits que contenga el código de estado. El número de entradas de los multiplexores debe ser igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado.
4. Elaborar un mapa de estado siguiente para cada bit del código de estado. Para determinar el valor que se tiene que proporcionar en cada celda de los mapas de estado siguiente, se debe acudir al mapa de acción y a la tabla de excitación del flip-flop D; para ello, se tiene que realizar el análisis correspondiente a través del método de la suma variable. La información que se especifica en dichos mapas, será la que se aplique en las entradas de los multiplexores que gobiernan las entradas de los flip-flops.
5. Elaborar un mapa de salidas en el que se proporcionen los nombres de las salidas primarias; estos nombres se obtienen del diagrama de estados. El mapa de salidas determina que salidas del decodificador deberán ser utilizadas para obtener las salidas primarias del circuito.
6. Dibujar el diagrama lógico correspondiente en el cual se muestren los dispositivos a utilizar y las conexiones correspondientes. Finalmente implementese el circuito y verifique su funcionamiento.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

Diseño por contador

El diseño por contador es una de las técnicas más empleadas para implementar circuitos secuenciales, debido principalmente a la facilidad con la que se operan a las señales de entrada y salida. En este tipo de diseño se utiliza un contador universal como dispositivo básico. Un ejemplo de estos contadores es el 74LS161, cuyo diagrama a bloques se muestra en la figura IV.15.

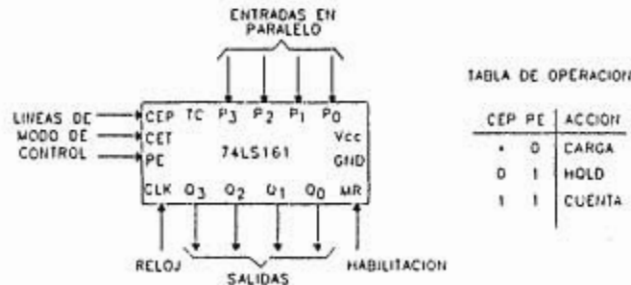


TABLA DE OPERACION

CEP	PE	ACCION
0	0	CARGA
0	1	HOLD
1	1	CUENTA

FIG. IV.15 Contador universal

Las características del 74LS161 son:

- 1.- Es un contador binario módulo 16.
- 2.- Cuenta con 4 terminales de entradas en paralelo, mismas que están denotadas como P3, P2, P1 y P0. La entrada en paralelo P3 es la entrada más significativa.
- 3.- Dispone de 4 terminales de salidas con lo que se logra diseñar autómatas de 16 estados. Estas terminales están denotadas por Q3, Q2, Q1 y Q0, donde la terminal de salida Q3 es la más significativa.
- 4.- Cuenta con 3 líneas entrada de modo de control denotadas por CEP, CET y PE, de las cuales la entrada CET se conecta a Vcc a través de una resistencia de 1 K Ω .
- 5.- Cuenta con una terminal de habilitación denotada por MR o R, con la cual se puede inicializar al contador.
- 6.- Dispone de una terminal de entrada de reloj, a través de ella se aplica la señal de reloj para sincronizar cada una de sus operaciones. Esta se denota por CLK o CP

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- 7.- Cuenta con una terminal con la cual se pueden conectar contadores en cascada, esta se denota por TC
- 8.- Se polariza con 5 Volts, para ello dispone de dos terminales de polarización las cuales se denotan como Vcc y GND.

Como se puede observar de la tabla que se muestra en la figura IV.15, el 74LS161 puede realizar tres funciones básicas; estas son:

Mantenimiento (HOLD): El valor actual de las salidas del contador no se ve alterado cuando se presenta la señal de reloj.

Cuenta: El valor de las salidas del contador se incrementa en una unidad con cada pulso de reloj.

Carga: Las salidas del contador toman el valor actual de las entradas en paralelo cuando se presenta la señal de reloj.

A partir de las funciones descritas se definen cuatro nemónicos básicos; estos son los que se muestran en la figura IV.16.

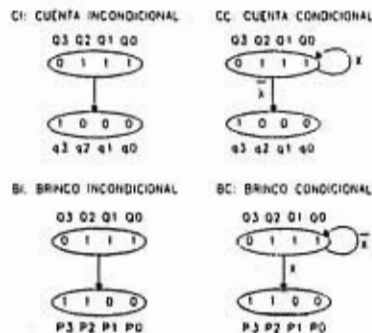


FIG. IV.16 Nemónicos asociados para el diseño por contador

El control de las funciones en el contador se realiza a través de dos multiplexores, mismos que a su vez son controlados por las salidas del contador. El tamaño de los multiplexores se determina a partir del número de estados internos por los cuales deben pasar las salidas del contador; es decir, el número de entradas de los multiplexores debe ser igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado. Así también, las salidas del contador controlan a un decodificador, en cuyas salidas se presentarán las salidas primarias del circuito secuencial.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

La figura IV.17 muestra la estructura general de un circuito secuencial basado en el diseño por contador.

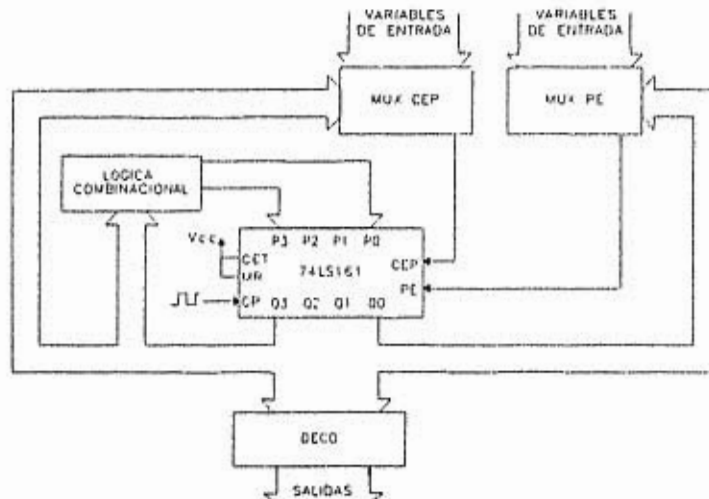


FIG. IV.17 Arquitectura de trabajo para el diseño por contador

Una característica muy interesante del diseño por contador es aquella que se refiere a la numeración de los estados. Dado que las transiciones de un estado a otro están gobernadas por el contador, se puede llevar a cabo una asignación de códigos arbitraria, sin que se presente problema alguno. Sin embargo, es recomendable que esta asignación de códigos sea consecutiva, de tal manera que cuando se tenga una decisión, en una de las salidas de esta, dependiendo del valor que tome la señal de entrada, realice la operación de cuenta, mientras que por la otra salida de la decisión se lleve a cabo la operación de carga. Esta sugerencia tendrá efectos positivos, dado que minimiza aún más la lógica combinatorial que se aplica a las entradas en paralelo del contador.

La metodología de diseño por contador es:

1. En el diagrama de estados asignar el nemónico asociado correspondiente a la operación que se realizará de acuerdo al código de estado que se a proporcionado en dicho diagrama.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

2. Elaborar un mapa de estados presentes, en el se proporcione el nombre simbólico que se a dado a cada estado del diagrama de estados. El tamaño de este mapa debe ser igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado. Las variables de las que dependerá este mapa, serán las salidas del contador.
3. A partir del mapa de estados presentes, elaborar un mapa de acción en el que se proporcione la información siguiente:
 - Para cuentas y brinco incondicionales indicar el nemónico y el código de estado al que se ha de pasar.
 - Para brinco y cuentas condicionales, proporcionar la señal de entrada requerida para la conmutación, el nemónico asociado correspondiente y el código del estado siguiente.
4. Elaborar los mapas de modo de control (mapa CEP y mapa PE). Para determinar el valor que se tiene que indicar en estos mapas, se tiene que realizar el análisis de cada celda del mapa de acción y tomando en cuenta la tabla de operación del contador; para ello, debe emplearse el método de la suma variable. La información de los mapas de control será la que aplique en las entradas de los mux que gobiernan las entradas de control (entradas CEP y PE) del contador.
5. Elaborar un mapa para cada entrada en paralelo; para ello realice lo siguiente:
 - Si en el mapa de acción se tiene una celda en la que no se presenta la operación de brinco, en las celdas correspondientes de los mapas de entradas en paralelo se debe asignar una condición de no importa (*).
 - En cambio, cuando en una celda del mapa de acción se presenta la operación de brinco, ya sea incondicional o condicional, en las celdas correspondientes de los mapas de entradas en paralelo se debe asignar el bit correspondiente al código del estado, de acuerdo a su valor significativo.
 - Si por alguna razón, en el mapa de acción se presenta una celda en la que independientemente del valor de una señal de entrada se tiene la operación de brinco condicional (BC), la información que deberá aplicarse en la celda correspondiente de los mapas de entradas en paralelo, será la que resulte del análisis que se realice para cada bit del código de estado siguiente, de acuerdo al valor de la señal de entrada en cuestión.
6. A partir de los mapas de entradas en paralelo, obtener las ecuaciones de excitación de cada entrada en paralelo.

7. Elaborar un mapa de salidas, en el que se proporcione el nombre de cada una de las salidas primarias, mismas que se obtienen del diagrama de estados. A partir de este mapa se determina que salidas del decodificador deberán ser utilizadas para obtener las salidas primarias del circuito.
8. Dibujar el diagrama lógico correspondiente en el cual se muestren los dispositivos a utilizar y las conexiones correspondientes. Posteriormente debe implementarse el circuito y verificar con ello su funcionamiento. Si se presenta algún tipo de falla, determinar la misma y corregirla al momento.

Diseño por registro

Este tipo de diseño es muy similar al diseño por contador, su diferencia con respecto a este último es que utiliza un registro universal como dispositivo básico. El registro más empleado es el 74LS194, cuyo diagrama a bloques se muestra en la figura IV.18.

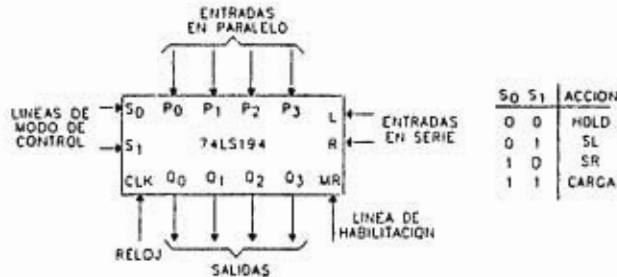


FIG. IV.18 Registro universal

Las características del 74LS194 son:

- 1.- Es un dispositivo que se polariza con 5 Volts, por lo que dispone de dos terminales de polarización, denotadas por Vcc y GND.
- 2.- Cuenta con 2 terminales de entrada de modo de control denotadas por S0 y S1.
- 3.- Dispone de 4 terminales de entradas en paralelo, mismas que se denotan como P3, P2, P1 y P0. La entrada en paralelo P0 es la entrada más significativa.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- 4.- Cuenta con 4 terminales de salidas, lo que permite diseñar autómatas de 16 estados. Estas terminales están denotadas por Q3, Q2, Q1 y Q0, donde la terminal de salida Q0 es la más significativa.
- 5.- Cuenta con una terminal de habilitación denotada por MR, con la cual se puede reinicializar al registro.
- 6.- Dispone de una terminal de entrada de reloj, a través de ella se aplica la señal de reloj para sincronizar cada una de sus operaciones. Esta se denota por CLK o CP
- 7.- Cuenta con 2 entradas en serie, en ellas se aplica el bit requerido para el desplazamiento a la derecha o a la izquierda. Estas se denotan por L y R.

Dadas las características del registro (74LS194), este puede realizar cuatro operaciones, mismas que se describen a continuación:

Mantenimiento (HOLD): El valor actual en las salidas del registro no se alterado cuando se presenta la señal de reloj.

Carga: Las salidas del registro toman el valor presente en las entradas en paralelo cuando se aplica el pulso de reloj.

Desplazamiento a la derecha (SR): El valor de las salidas del registro se ve desplazado sólo una posición a la derecha cuando se presenta el pulso de reloj. En este tipo de desplazamiento, el bit que se aplica en la entrada R pasa a ocupar el lugar que deja el bit de la salida Q0 cuando este se desplaza a la derecha. Y el bit de la salida menos significativa (Q3) se pierde.

Desplazamiento a la izquierda (SL): Para este tipo de desplazamiento, el valor de las salidas del registro se ve desplazado sólo una posición a la izquierda siempre y cuando se presente el pulso de reloj; lo que da lugar a que el bit más significativo (Q0) se pierda y, el lugar del bit menos significativo (Q3) pase a ser ocupado por el bit que se aplica en la entrada serie L.

Por tanto, a partir de las funciones descritas se definen los nemónicos asociados que se muestran en la figura IV.19.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

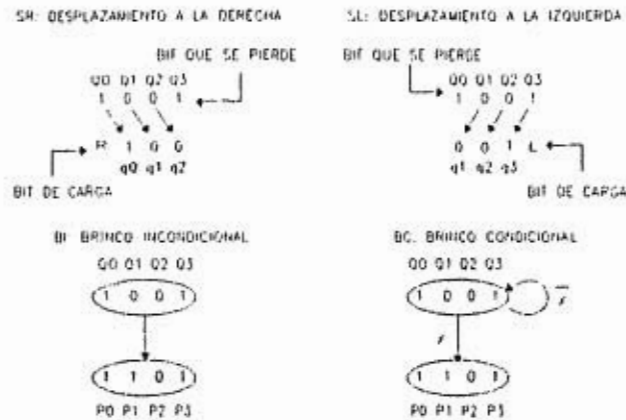


FIG. IV.19 Memónicos asociados para el diseño por registro

Los circuitos secuenciales diseñados por registro presentan, la estructura mostrada en la figura IV.20; de ella podemos observar que el control de las funciones del registro se realiza a través de dos multiplexores, los cuales a su vez se controlan por las salidas del registro. En las entradas de los multiplexores es donde se aplican los valores de las señales de entrada primarias o una combinación de las mismas; y, para obtener las salidas primarias se utiliza un decodificador binario, el cual es controlado por las salidas del registro.

El tamaño de los multiplexores se determina a partir del número de estados internos por los cuales deben pasar las salidas del registro; es decir, el número de entradas de los multiplexores debe ser igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado. Por su parte el decodificador debe tener 2^N salidas, donde N es el número de bits que constituyen las salidas del registro.

Es importante tomar en cuenta que las transiciones de un estado a otro están gobernadas por el registro, lo que permite realizar una asignación de códigos de estado arbitraria sin que se presente problema alguno. Pero, se recomienda que dicha asignación de códigos se lleve a cabo considerando las decisiones presentes en la secuencia de acciones a realizar. Es decir, para una decisión en particular, según el valor que tome la señal de entrada correspondiente, se defina por un lado la operación de desplazamiento, ya sea a la derecha o a la izquierda, y por el otro lado se defina la operación de carga.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

Se sugiere que cuando se realice un desplazamiento a la izquierda se cargue un "1" en la entrada en serie L y, cuando se efectuó el desplazamiento a la derecha se lleve a cabo la carga de "0" en la entrada R, o viceversa. Esta sugerencia permitirá reducir la lógica combinacional que se aplica, tanto en las entradas en paralelo como en las entradas en serie del registro.

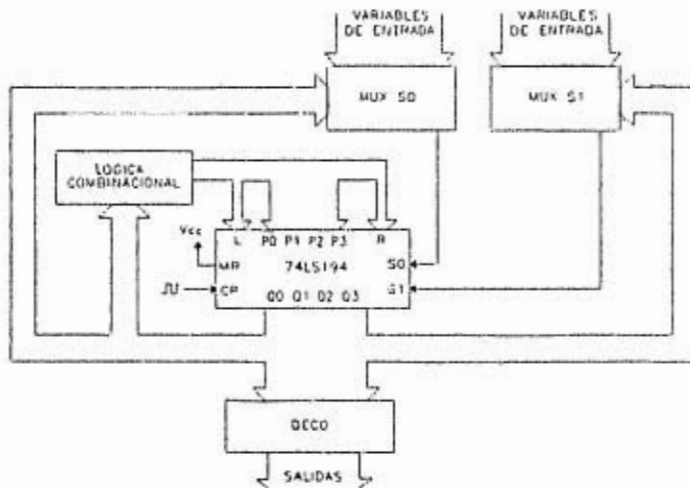


FIG. IV.20 Estructura de un circuito secuencial diseñado por registro

En base a lo anterior, la metodología de diseño por registro consta de los pasos siguientes:

1. Proporcionar en el diagrama de estados los nemónicos asociados correspondientes de acuerdo al código de estado que se ha definido para llevar a cabo la secuencia de acciones y decisiones.
2. Elaborar el mapa de estados presentes, en este mapa se proporcionará el nombre simbólico de cada estado del diagrama de estados. El tamaño de este mapa será igual a 2^n , donde n es el número de bits que conforman al código de estado. Las salidas del registro serán las que se tomen como variables para el mapa de estados presentes.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

3. A partir del mapa de estados presentes y del diagrama de estados, elaborar un mapa de acción en el que se proporcione la información siguiente:

- Para las operaciones de brinco y desplazamientos ya sea a la derecha o a la izquierda, que no dependan de una señal de entrada, indicar sólo el nemónico y el código de estado al que se ha de pasar.
- Para las operaciones de brinco y desplazamientos que dependan de una señal de entrada, proporcionar el nombre de dicha señal, el nemónico asociado a la operación que se realizará y el código del estado al cual se a de pasar.

4. Elaborar los mapas de modo de control (mapa S0 y mapa S1). Para determinar el valor que se tiene que indicar en las celdas de estos mapas, se tendrá que realizar el análisis de cada celda del mapa de acción y tomando en cuenta la tabla de operación del registro; para ello, debe emplearse el método de la suma variable. La información de estos mapas será la que se aplique a las entradas de los multiplexores que gobiernan las entradas de modo de control del registro.

5. Elaborar un mapa para cada entrada en paralelo. Para llenar estos mapas, sólo se tomarán en cuenta aquellas celdas del mapa de acción en la que se realice la operación de brinco, ya sea incondicional o condicional. La información que se indicará en las celdas correspondientes a los mapas de entradas en paralelo será el código que pertenece a la operación de brinco.

Si por alguna razón, en el mapa de acción se presenta una celda en la que independientemente del valor de una señal de entrada se tiene la operación de brinco condicional (BC), la información que deberá de aplicarse en la celda correspondiente de los mapas de entradas en paralelo, será la que resulte del análisis que se realice para cada bit del código de estado siguiente, de acuerdo al valor de la señal de entrada en cuestión. Todas aquellas celdas de los mapas de entradas en paralelo que no se ocupen colocar una condición de no importa (*).

6. A partir de los mapas de entradas en paralelo, obtener las ecuaciones de excitación de cada entrada en paralelo.

7. Elaborar los mapas de entradas en serie (mapa L y mapa R). Para ello deben de respetarse las siguientes características:

- Para el mapa L solo se tomarán en cuenta aquellas celdas del mapa de acción donde se presente el desplazamiento a la izquierda, y en las celdas correspondientes del mapa L se colocará el bit que se especifica en el nemónico asociado al desplazamiento a la izquierda.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- En cambio, para el mapa R solo se considerarán las celdas del mapa de acción en las que se lleve a cabo el desplazamiento a la derecha, donde el bit que se especifica en el nemónico asociado se toma para colocarlo en las celdas correspondientes del mapa R.
 - En todas aquellas celdas que no se ocupen de ambos mapas debe asignarse una condición de no importa (*).
8. Obtener las ecuaciones de excitación para las entradas en serie, a partir de los mapas elaborados en el punto anterior.
 9. Elaborar un mapa de salidas, en el que se especifiquen los nombres de las salidas primarias. A partir de este mapa se determina que salidas del decodificador deberán ser utilizadas.
 10. Dibujar el diagrama lógico correspondiente donde se muestran los dispositivos a utilizar y las conexiones correspondientes. Por último, implementar el circuito y verificar que cumpla con la función deseada.

En la figura IV.21 se muestran las conexiones a realizar para obtener, tanto un contador como un registro de 8 bits y con ello poder implementar autómatas de más de 16 estados pero menor a 256 con las metodologías de diseño correspondientes.

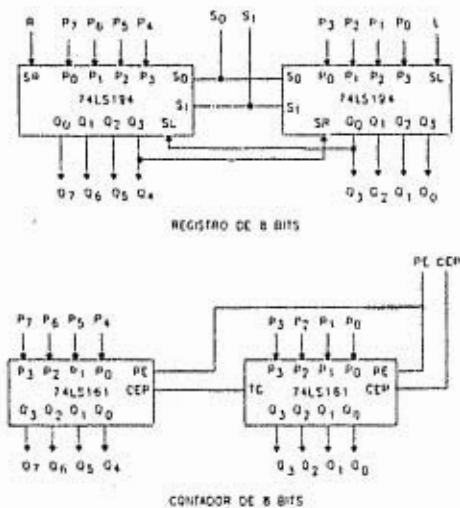


FIG. IV.21 Contador y registro de 8 bits

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- * El método de la suma variable consiste en determinar si la información que se a de aplicar a la entrada de un circuito depende o no de una señal de entrada.

IV.7 Fallas y métodos de corrección en circuitos secuenciales

Los circuitos secuenciales, como todos los circuitos electrónicos, están sujetos a que presenten algún tipo de falla. Las causas más comunes, son las referidas a defectos en la fabricación de los dispositivos a utilizar, el mal uso que se de a los mismos, a fluctuaciones de la fuente de alimentación, o a que no se dispone de un sistema de enfriamiento adecuado

Además, es frecuente que en un circuito secuencial se presenten diversos fenómenos que pueden dar origen a posibles fallas. Fenómenos muy interesantes y desconcertantes a la vez, estos se presentan generalmente por prácticas de diseño incorrectas, mientras que otros son impredecibles y no pueden evitarse. Los fenómenos más comunes son:

Glitch: También denominado transiente de voltaje o spike. Es un pulso indeseable que afecta la operación normal de los circuitos secuenciales. La causa principal de este pulso se debe al ruido electromagnético producido por descargas eléctricas, transformadores, encendido y apagado de motores, por la misma fuente de alimentación e incluso por cambios de estado dentro del mismo sistema. En la figura IV.22 se muestra como este pulso afecta la salida de un flip-flop SR.

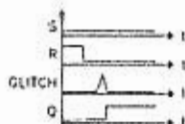


FIG. IV.22 Efecto de un glitch en un FF SR

Una técnica frecuentemente utilizada para reducir al mínimo los efectos que puede causar el glitch, es la de colocar un capacitor entre las terminales de polarización de los IC's, cuyo valor este dentro del rango de 0.1 μ F a 100 pF. Esta técnica se muestra en la figura IV.23.

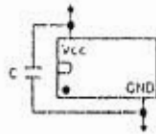


FIG. IV.23 Técnica para reducir los efectos de un glitch

Carrera lógica (race): Condición que da origen a que un circuito secuencial funcione de manera errónea debido a las diferencias que existen en los tiempos de propagación de cada uno de los dispositivos utilizados. Estas carreras se presentan con frecuencia en los circuitos asíncronos, donde es imposible garantizar que todos los dispositivos tengan los mismos tiempos de propagación. Si existen varias señales cambiando al mismo tiempo, la ocurrencia de una carrera es obvia y, por tanto, es inminente una respuesta falsa. Aún más, se dice que estas carreras son críticas si el estado estable final depende del orden en que cambian las variables de estado.

Para eliminar las carreras es preciso realizar un análisis muy cuidadoso de los tiempos de propagación de cada dispositivo a utilizar, lo que da lugar a una técnica de eliminación muy tediosa y poco confiable. La mejor técnica para controlar a estas carreras es a través de las señales de reloj.

Lock-up: Fenómeno que provoca que los circuitos secuenciales pasen a un estado no definido y por consecuencia no puedan salir del mismo, dado que no existe un estado por el cual deban de continuar; y, por consiguiente la única forma de restablecer la operación del circuito es a través de la fuente de alimentación, la cual deberá de apagarse y encenderse un tiempo después.

Apagar y encender la fuente de alimentación puede provocar daños en los diferentes elementos del circuito; por tanto, es recomendable utilizar una red que permita reinicializar al circuito en cualquier instante, o en el mismo instante en que se enciende la fuente; a esta red se le denomina "power-on reset", misma que se muestra en la figura IV.24.

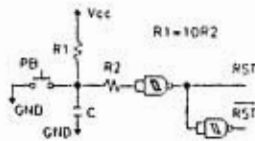


FIG. IV.24 Red "power-on-reset"

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

Retención de estado: Este se da cuando las salidas del dispositivo secuencial no modifican su información. Su origen se debe a que posiblemente las líneas de habilitación no estén en el nivel lógico correcto, o que no responda al pulso de reloj, o en su defecto que el dispositivo secuencial este dañado. Por tanto, se hace imprescindible verificar la operación del dispositivo secuencial en forma aislada, en caso de que el dispositivo este en óptimas condiciones revisar las conexiones a su alrededor, dado que lo más seguro es que ahí es donde se presente el problema, en caso contrario cambiar el dispositivo.

DESARROLLO PRACTICO

CIRCUITOS SECUENCIALES

OBJETIVO

Aplicar las metodologías de diseño por estado, multiplexado, por contador y por registro para implementar circuitos secuenciales que lleven a cabo una función específica.

INTRODUCCION

El diseñador de circuitos secuenciales tiene como trabajo no sólo el de analizar, sino también el de elegir el mejor método posible para realizar una buena síntesis del diseño; por lo que, dada cierta función, el diseñador se debe enfrentar a una decisión específica con relación a la implementación, de tal manera que obtenga un circuito bien organizado para que cada uno de sus componentes pueda interactuar en torno a la función que se desea implementar.

Para ello, es importante que el diseñador tenga presente las diferentes metodologías de diseño con las que dispone para implementar circuitos secuenciales, mismas que le permitan seguir un procedimiento estructurado, el cual pueda ser llevado a cabo desde una especificación inicial, la cual es generalmente imprecisa, hasta un circuito final en cuyo desarrollo se busque reducir al mínimo la posibilidad de error.

Por tanto, el diseñador en primera instancia debe proporcionar un algoritmo de solución que le ayude a aclarar la función que se desea realizar y a especificar con ello el comportamiento deseado en todas las circunstancias posibles. Posteriormente debe definir la estructura del circuito secuencial a través de un diagrama a bloques, en el que cada bloque represente un dispositivo del circuito, para finalmente aplicar toda su habilidad e ingenio para culminar el proceso del diseño siguiendo los pasos de la metodología que elija; y de esta forma obtener un circuito sencillo, confiable y a un bajo costo.

En base a lo anterior y tomando en cuenta las metodologías de diseño por estado, multiplexado, por contador y por registro se propone un desarrollo en el que se requiere diseñar la unidad de control que reciba y genere las señales correspondientes para con ello llevar a cabo las funciones deseadas.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

DESARROLLO

- 1.- En la figura IV.25 se muestra el diagrama a bloques de un circuito sumador. La secuencia de operaciones lo lleva a cabo la unidad de control. Inicialmente, los registros y el contador se colocan en condiciones iniciales. A continuación, se carga en el registro de datos el primer número a sumar con el contenido del registro acumulador, quedando disponible para que se cargue y se sume con el siguiente número, mismo que debe cargarse primero. El proceso termina cuando se han sumado los cinco números, para lo cual la unidad de control debe recibir la señal correspondiente y con ello se habilita el buffer para mostrar en sus salidas el resultado.

Diseñe la unidad de control empleando cualquiera de las cuatro metodologías de diseño descritas. Para lo cual se pide obtener el algoritmo de solución, la carta ASM, el diagrama de estados y el circuito lógico correspondiente. Implemente el circuito completo y compruebe su funcionamiento.

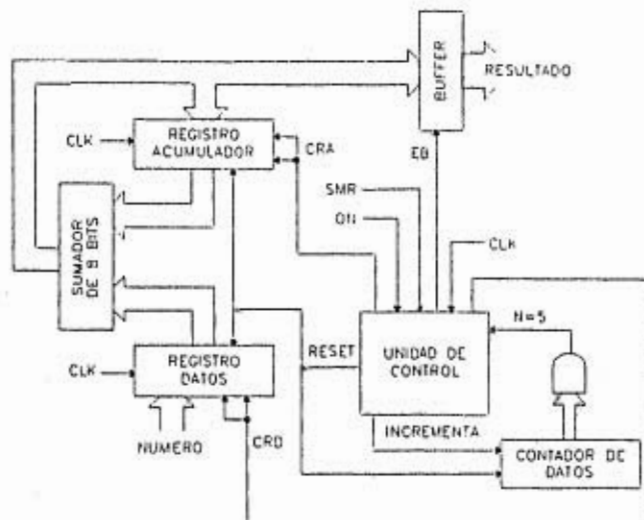


FIG. IV.25 Diagrama a bloques de un sumador de 5 números de 4 bits cada uno

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

2.- Se requiere diseñar la unidad de control que permita generar las señales correspondientes para controlar a cada uno de los dispositivos de la figura IV.26 y con ello se pueda realizar la transmisión de una palabra binaria de 8 bits. El circuito transmisor debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Debe recibir una señal externa para iniciar el proceso; en caso de que dicha señal no este presente, el circuito tendrá que permanecer en condiciones iniciales.
- Una vez aplicada la señal externa, deberá cargarse la palabra a transmitir, misma que tendrá que compararse posteriormente con otra palabra que previamente a sido almacenada. Si ambas palabras son iguales debe generarse una señal de inicio de transmisión; en caso contrario el sistema tendrá que regresar a condiciones iniciales.
- Cuando el circuito termina con la transmisión de los 8 bits se tiene que generar la señal de fin de transmisión y regresar a condiciones iniciales de manera automática.

Implemente el circuito completo y compruebe su operación.

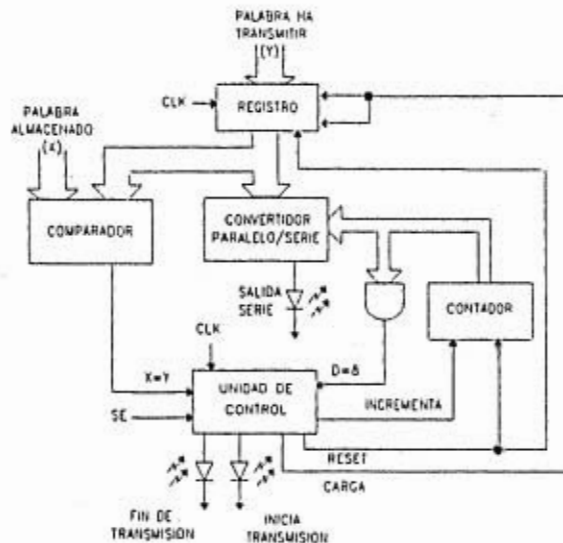


FIG. IV.26 Diagrama a bloques del circuito de transmisión

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- 3.- La multiplicación decimal se realiza sumando en forma escalonada los productos parciales que se calculan de acuerdo con los dígitos del multiplicador. Este mismo método se emplea para la multiplicación binaria.

También es factible realizar la multiplicación binaria a través de sumas y desplazamientos; para ello se utilizan tres registros, uno donde se almacena el multiplicador de manera permanente, otro donde se carga el multiplicador y uno más que se utiliza para cargar el resultado de la suma que se realiza durante el proceso de la multiplicación; a este registro se le denomina acumulador. Este último registro junto con el registro multiplicador forman un registro de n bits donde se visualiza el resultado de la multiplicación.

Cabe aclarar que el acumulador y el multiplicando deben ser del mismo número de bits.

El algoritmo de solución para efectuar la multiplicación binaria empleando el método de sumas y desplazamientos, comprende los pasos siguientes:

- a) Inicializar a los registros; es decir, colocarlos en cero.
- b) Cargar al registro multiplicador y multiplicando con sus valores correspondientes y, el registro acumulador conserva sus salidas en cero.
- c) Si el bit menos significativo del multiplicador (LSBM) es "1", el contenido previo del registro acumulador se suma con el valor del registro multiplicando. El resultado de la suma se carga en el acumulador, y el acarreo de la suma en el flip-flop. El contenido del registro multiplicador conserva su valor. Por el contrario, si es "0" el bit LSBM el valor del registro acumulador y del registro multiplicador no se alteran.
- d) Posteriormente se desplazan hacia la derecha el contenido del FF, del registro acumulador y del registro multiplicador.
- e) El proceso se repite n veces, donde n es el número de bits del multiplicador.

En la figura IV.27 se muestra un ejemplo ilustrativo del proceso descrito con anterioridad para realizar la multiplicación binaria.

Sean los números $X=1111$ y $Z=1010$ realizar la multiplicación de ambos. El multiplicando es X y el multiplicador Z .

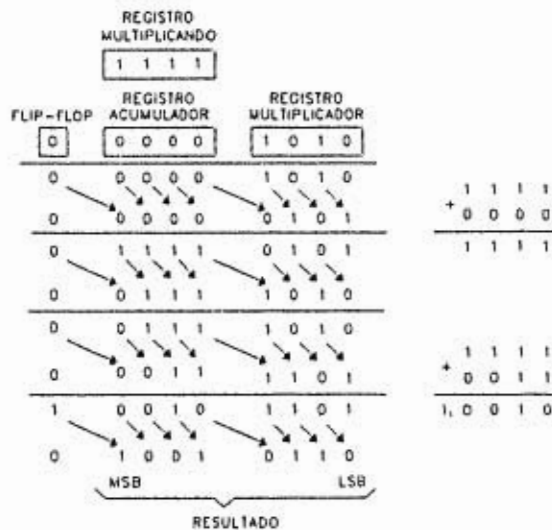


FIG. IV.27 Proceso de una multiplicación binaria de dos números de 4 bit cada uno

En la figura IV.28 se muestra el diagrama a bloques del multiplicador binario. Diseñe la unidad de control e implemente el circuito completo y verifique su funcionamiento.

- 4.- La división es una de las cuatro operaciones fundamentales. En la figura IV.29 se muestra el diagrama a bloques del divisor binario, donde se puede observar que se dispone de un registro para almacenar el divisor de manera permanente; otro para cargar al dividendo y un tercer registro que permitirá almacenar los resultados parciales del proceso de la división. Además, se cuenta con un sumador/restador y dos buffer.

La división binaria consiste en posicionar de manera metódica el divisor con respecto al dividendo y posteriormente realizar una resta. Para ello se tiene que si el residuo es cero o positivo, el cociente es uno, por tanto el residuo se extiende con otro bit del dividendo, dando origen a que el divisor se repositone y se lleve a cabo otra resta. Si por el contrario, el residuo es negativo el cociente se hace cero, se restaura al dividendo y se vuelve a repositonar al divisor para realizar otra resta.

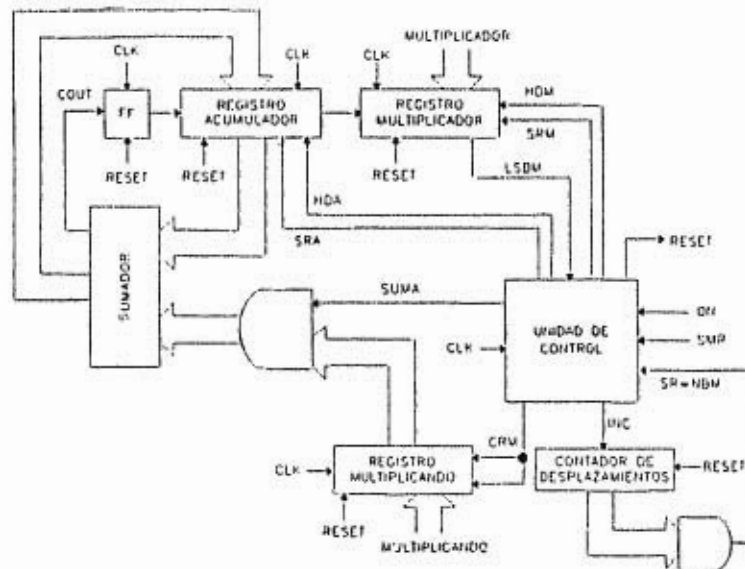


FIG. IV.28 Diagrama a bloques del multiplicador binario

En base a lo anterior, los pasos necesarios para efectuar la división binaria son los siguientes:

- Inicializar al circuito. Colocar en cero a todos los registros y al contador de desplazamientos.
- Cargar al registro divisor y al registro dividendo con sus valores correspondientes. El acumulador conserva sus salidas en cero.
- Desplazar al registro acumulador y al registro dividendo hacia la izquierda.
- Restar el contenido del registro divisor del contenido del acumulador ($A = A - D$); si la diferencia es negativa cargar un "0" en el bit menos significativo del dividendo (LSBD), y la diferencia cargarla en el acumulador.

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

- e) Sumar el contenido del registro divisor y el registro acumulador y el resultado cargarlo en el acumulador ($A = A + D$). El registro dividendo conserva su valor.
- f) Si la diferencia es cero o positiva cargar un "1" en el LSB, y el resultado de la resta cargarlo en el acumulador ($A = A - D$). Regresar al paso c)
- g) Repetir el procedimiento n veces, donde n es el número de bits del dividendo. El cociente se visualiza en el registro dividendo y el residuo en el acumulador.

Es importante señalar que todos los registros son del mismo tamaño, es decir, contienen el mismo número de bits.

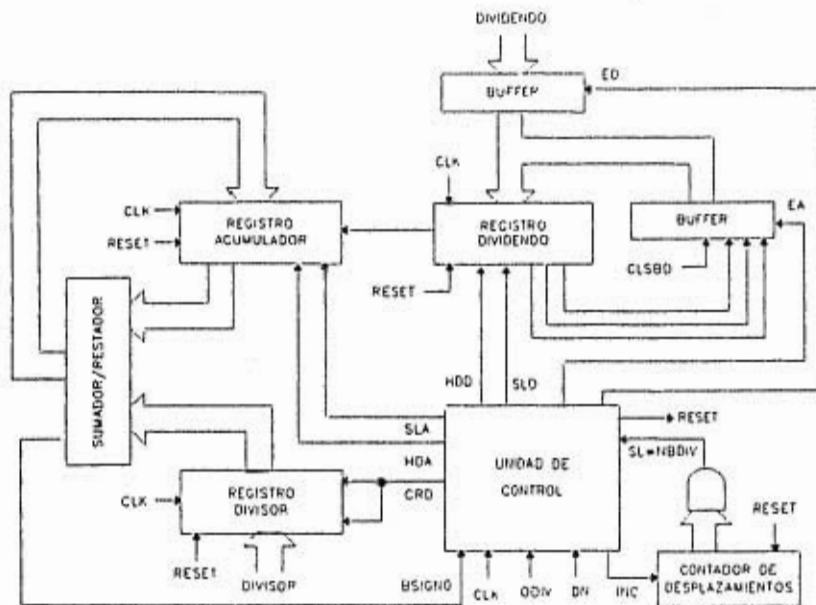


FIG. IV.29 Diagrama a bloques del divisor binario

Implementación de Circuitos Prácticos Empleando Lógica Secuencial.

En la figura IV.30 se muestra un ejemplo ilustrativo del proceso descrito con anterioridad para realizar la división binaria.

Sean los números $X=1010$ y $Z=0011$ realizar la división de X/Z .

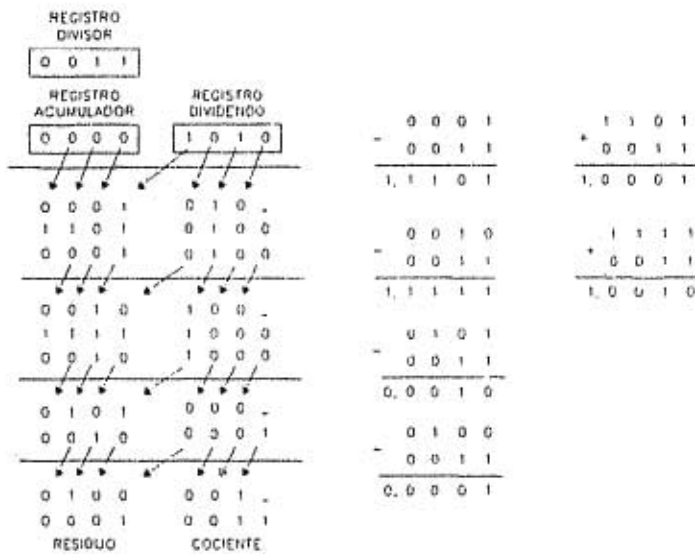


FIG. IV.30 Proceso de una división binaria de dos números de 4 bit cada uno

Tomando en consideración los pasos anteriores y el diagrama a bloques, diseñe la unidad de control, e implemente el circuito completo. Realice varias divisiones para comprobar su funcionamiento.

CAPITULO V

AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y APLICACIONES

V.- AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y APLICACIONES

V.1 Introducción

Aún cuando en la actualidad la mayor parte de los sistemas electrónicos son digitales, existen áreas en las cuales las técnicas y componentes de diseño analógico son ampliamente utilizados. Esto se debe a que las variables del mundo real son analógicas, lo que permite establecer que el diseño analógico constituye un área de trabajo de gran relevancia. Normalmente los problemas del diseño analógico están relacionados con la linealidad, el control de ganancia, la anulación de las desviaciones generadas por cambios en el voltaje de alimentación, la limitación del ancho de banda, la restricción del ruido y la reducción de las derivas provocadas por cambios en la temperatura.

Los circuitos integrados lineales son los dispositivos más representativos en el diseño de los sistemas electrónicos analógicos. Dispositivos que se dividen generalmente en dos grupos; aquellos que se denominan de propósito general, los cuales pueden adaptarse a gran cantidad de aplicaciones y, los que se usan en aplicaciones especiales, mismos que son diseñados para sustituir a varias etapas en un circuito eléctrico. Así existen circuitos integrados temporalizadores, conmutadores CMOS, multiplexores analógicos, generadores de forma de onda, convertidores y reguladores, vinculados todos ellos a los circuitos integrados lineales más evidentes del mundo analógico: los amplificadores operacionales.

V.2 Definición del amplificador operacional

El amplificador operacional es un circuito diferencial de alta ganancia directamente acoplado, donde la frecuencia de operación y la ganancia del dispositivo son controlados por redes externas de realimentación. El diagrama a bloques del amplificador operacional se muestra en la figura V.1.

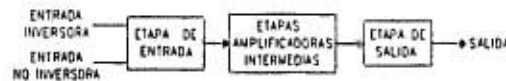


FIG. V.1 Diagrama a bloques de un amplificador operacional

El símbolo eléctrico se muestra en la figura V.2; sus terminales son las siguientes:

Amplificadores Operacionales y Aplicaciones

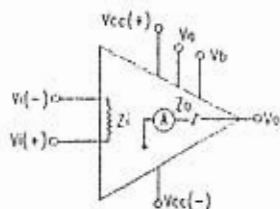


FIG. V.2 Símbolo del amplificador operacional

V_a y V_b : Se utilizan para la compensación de la frecuencia o el ajuste de la tensión de offset.

$-V_{cc}$ y $+V_{cc}$: terminales que se usan para polarizar al dispositivo.

$V_i(-)$: terminal inversora, se usa para aplicar una señal de entrada.

$V_i(+)$: terminal no inversora, empleada para aplicar una señal de entrada.

V_o : terminal de salida

V.3 Características reales de los amplificadores operacionales

Las características reales de los amplificadores operacionales se definen a continuación.

Disipación de energía: Energía de DC que disipa el dispositivo. Generalmente en la hoja de datos se proporcionan dos valores nominales: el primero corresponde a la disipación total del dispositivo (PT) en la que se incluye cualquier corriente de carga, y el segundo valor es la energía de DC que disipa el propio circuito y se denota por PD.

Ganancia de voltaje de lazo abierto A_{ol} : Relación del cambio del voltaje de la salida con respecto a la variación del voltaje de entrada. Se mide sin realimentación y por lo general sin compensación. La reducción de la ganancia que se presenta en el amplificador operacional en estas condiciones se debe a varios factores, por lo que independientemente de la variación de la ganancia, es necesario considerar la variación de la amplitud máxima del voltaje de salida. Esta relación depende de la frecuencia y de la temperatura tal y como se observa en la figura V.3.

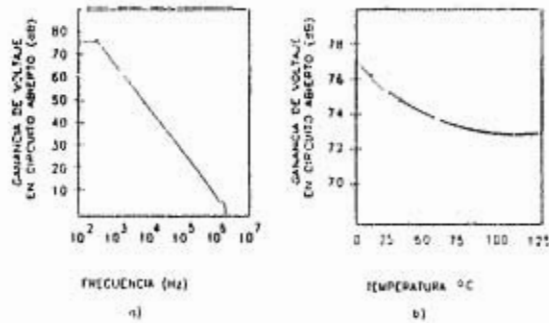


FIG. V.3 (a) Efectos de la frecuencia sobre la ganancia de voltaje
(b) Efecto de la temperatura sobre la ganancia de voltaje

Impedancia de entrada y salida (Z_i y Z_o): La impedancia de entrada es la resistencia entre la terminal donde se aplica la señal y la terminal de entrada que se encuentra conectada a tierra. En la hoja de datos se indica como R_{in} o Z_i , y no se especifica si es diferencial o de modo común (figura V.4a). En cambio, la impedancia de salida es la que encuentra una carga en la salida del amplificador (figura V.4b).

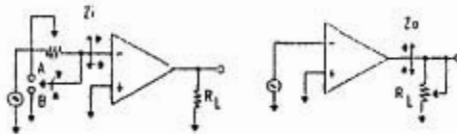


FIG. V.4 a) Método para medir la Z_i en lazo abierto
b) Método para medir la Z_o en lazo abierto

Corriente de polarización de entrada I_B : En un amplificador operacional real fluye una corriente en cada terminal de entrada, misma que circula por la base de los transistores de entrada de la etapa diferencial y que es necesaria para que funcione correctamente el amplificador. Esta corriente tiene poco efecto, debido a que provoca un cambio relativamente pequeño en el voltaje de entrada, siempre y cuando la impedancia de entrada sea pequeña. Sin embargo, en circuitos de alta impedancia de entrada, una corriente de polarización pequeña puede provocar un voltaje de entrada elevado.

La corriente de polarización se define como el promedio de las corrientes de entrada que se requiere suministrar a la etapa de entrada del amplificador, ver figura V.5.

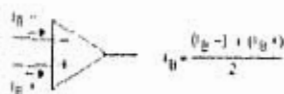


FIG. V.5 Flujo de la corriente de polarización

Corriente de desajuste de entrada I_{OS} : Si la corriente de polarización es molesta, lo es todavía más la corriente de desajuste. En principio ésta corriente es cero sólo si las corrientes de polarización de entrada son rigurosamente iguales; sin embargo, estas corrientes son ligeramente diferentes, lo que provoca una corriente de desajuste de entrada, misma que se define como la diferencia en la corriente de polarización de entrada. A esta corriente se le denomina en ocasiones CORRIENTE DE ORDENAMIENTO DE ENTRADA I_{IO} , ver figura V.6.

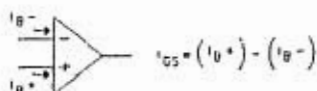


FIG. V.6 Corriente de desajuste de entrada

Voltaje de offset (V_{OS}): En los amplificadores operacionales reales, si el voltaje de entrada es cero, el voltaje de salida no suele ser cero. Esto se debe a que los transistores de entrada no son iguales, dando lugar a una pequeña diferencia de voltaje en las entradas del amplificador operacional y, que al multiplicarse por la ganancia del amplificador da origen a un voltaje de salida, lo que no es deseable. Esta pequeña diferencia de voltaje se denomina voltaje de offset de entrada y se define como el voltaje de entrada necesario que debe aplicarse para que el voltaje de salida sea igual a cero (figura V.7). Al voltaje de offset se le denomina en ocasiones como VOLTAJE DE ORDENAMIENTO DE ENTRADA V_{IO} o VOLTAJE DE DESAJUSTE DE ENTRADA V_{OS} .

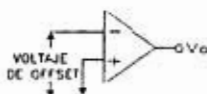


FIG. V.7 Voltaje de offset de entrada

Razón de rechazo en modo común (RRMC): Un amplificador operacional real ante todo, no es totalmente insensible a un voltaje común en sus entradas. Si se aplica en ambas entradas del amplificador un voltaje, en la salida se presenta una variación; ésta variación es una señal parásita a la que se le denomina señal de ganancia de modo común. Por tanto, la razón de rechazo de modo común se define como la relación de la ganancia en modo diferencial con respecto a la ganancia de modo común; es decir, es una medida de una señal común que se aplica de forma simultánea en las entradas del amplificador, comparándola con la señal diferencial de entrada, y se expresa como:

$$RRMC = \frac{A_{nd}}{A_{mc}}$$

$$RRMC \text{ (dB)} = 20 \text{ Log} \frac{A_{nd}}{A_{mc}}$$

Sin embargo, en la hoja de datos es muy común expresar esta relación como sigue:

$$RRMC = \frac{A_{ol}}{A_{mc}}$$

Sensibilidad de la línea de alimentación en relación con la fuente (Vcc', Vcc): Es la capacidad del amplificador operacional para ignorar variaciones en la fuente de alimentación. Sin embargo, si estas variaciones son muy grandes, en la salida del amplificador se presentarían variaciones; es decir, es una medida de la capacidad del amplificador operacional para ignorar cambios de la fuente de alimentación. Es frecuente que a ésta se le denomina RAZON DE RECHAZO DE ALIMENTACION EN RELACION A LA FUENTE. Esto se muestra en la figura V.8, y se expresa como:

$$PSRR^{(-)} = \frac{\Delta V_{OS}}{\Delta V_{CC}^{(-)}}$$

$$PSRR^{(+)} = \frac{\Delta V_{OS}}{\Delta V_{CC}^{(+)}}$$

$$V_o = (PSRR) (A_c) (V_{ac}) \quad [\mu V/V]$$

donde

A_c : Ganancia de lazo cerrado

V_{ac} : Rizo de voltaje de alimentación.

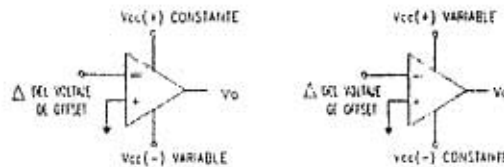


FIG. V.8 Definición de la sensibilidad de la línea de alimentación en relación con la fuente

Velocidad de respuesta (SR): Debido a que un amplificador operacional no es capaz de responder instantáneamente a una excitación, llega un momento en el cual presenta dificultades en seguir de forma adecuada a la señal de entrada; esto se observa en la figura V.9. En si un amplificador operacional tiene una respuesta que depende de la frecuencia y por tanto, si se intentase llevar la señal de salida de un punto a otro por medio de la aplicación de un escalón, la transición entre ambos puntos no es simultánea, dando lugar a una máxima variación de voltaje en la señal de salida por unidad de tiempo, lo cual se expresa como:

$$SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV_o}{dt} = 2\pi fV_p \quad [V/\mu s]$$

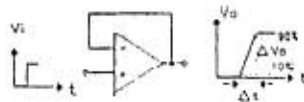


FIG. V.9 Definición del SR

Oscilación del voltaje de salida (V_{OPP}): Oscilación que se presenta en la señal de salida de un amplificador operacional, misma que puede ser máxima y sin distorsión. Esta oscilación depende de la corriente de carga, de la impedancia de salida, de la frecuencia y del SR, siempre y cuando dicha oscilación sea simétrica; ver figura V.10.

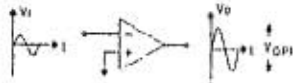


FIG. V.10 Definición de la VOPP

Respuesta de frecuencia (BW): Esta se refiere a la variación de la ganancia de voltaje con respecto a variaciones en la frecuencia. Se define como el ancho de banda en el cual un amplificador operacional puede amplificar una señal a cualquier frecuencia sin que la señal de salida presente distorsión por corte o atenuación. Esta variación se muestra en la figura V.11.

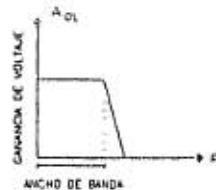


FIG. V.11 Fluctuación de la señal de salida como función de la frecuencia

Tiempo de elevación (T_e): Tiempo que requiere un amplificador operacional para obtener en su salida una señal que varía del 10% al 90% del valor final de la misma y, se debe a las características propias del amplificador operacional. Esto se muestra en la figura V.12.

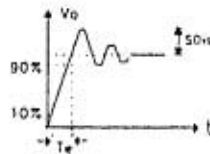


FIG. V.12 Tiempo de elevación y sobrenivel

Sobrenivel (SO_{V_3}): Es un pico máximo en la salida del amplificador operacional, y se presenta antes de que la salida del amplificador alcance su estado estable. Esto se muestra en la figura V.12.

Sensibilidad a la temperatura (ST): Es la variación de las condiciones térmicas del amplificador operacional. Las variaciones más comunes son la de corriente y voltaje las cuales se expresan como sigue:

$$ST_I = \Delta I / \Delta T \quad [\text{nA}/^\circ\text{C}]$$

$$ST_V = \Delta V / \Delta T \quad [\mu\text{V}/^\circ\text{C}]$$

En la tabla V.1 se proporcionan las características reales más importantes de algunos amplificadores operacionales utilizados normalmente.

TABLA V.1

CARACTERÍSTICA	LM741	LM531	MOSFET 3130	JFET 351	Op-07
MARGEN DE ALIMENTACION (V)	(-3 a +3) (-18 a +18)	(-5 a +5) (-22 a +22)	(-5 a +5) (-18 a +18)	(-5 a +5) (-18 a +18)	(-3 a +3) (-18 a +18)
MAXIMA DISIPACION DE POTENCIA (mW)	500	300	630	500	500
MAXIMO VOLTAJE DIFERENCIAL DE ENTRADA (V)	30	15	(-18 a +18)	(-30 a +30)	(-30 a +30)
MAXIMO VOLTAJE DE ENTRADA	15 V	15 V	(-V a +V)	(-V a +V)	(-22 a +22)
GANANCIA DE LAZO ABIERTO A_{01} (dB)	106	96	110	110	132
IMPEDANCIA DE ENTRADA	2 M	20 M	100 M	150 M	33 M
CORRIENTE DE POLARIZACION DE ENTRADA	80 nA	400 nA	5 pA	50 pA	2.5 nA
CORRIENTE DE DESVIACION DE ENTRADA I_{10}	20 nA	50 nA	0.5 pA	25 pA	0.8 nA
VOLTAJE DE DESVIACION DE ENTRADA V_{10}	1 mV	2 mV	8 mV	5 mV	0.06 mV
COEFICIENTE TERMICO DE VOLTAJE DE DESVIACION DE ENTRADA dV_{10}/dT	5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
COEFICIENTE TERMICO DE CORRIENTE DE DESVIACION DE ENTRADA dI_{10}/dT	0.5 nA/ $^\circ\text{C}$	0.6 nA/ $^\circ\text{C}$	SE DOBLA POR CADA INCREMENTO DE 20 $^\circ\text{C}$	SE DOBLA POR CADA INCREMENTO DE 20 $^\circ\text{C}$	12 pA/ $^\circ\text{C}$
RRMC (dB)	90	100	80	100	120
PSRR ($\mu\text{V}/\text{V}$)	30	10	300	30	0.20
OSCILACION DE SALIDA	(-13 a +13)	(-15 a +15)	(-6 a +6)	(-13 a +13)	(-13 a +13)
FRECUENCIA DE COMPENSACION	INTERNA	EXTERNA	EXTERNA	INTERNA	INTERNA
VELOCIDAD DE RESPUESTA (V/ μs)	0.5	35	10	13	0.5

V.4 Estructura física

Los amplificadores operacionales se encuentran disponibles en el mercado en paquetes IC, cuyas dimensiones están limitadas por el número de terminales disponibles. Afortunadamente se cuenta con diferentes tipos de encapsulados estándar, lo que permite realizar una elección adecuada tomando en consideración la aplicación en particular y las condiciones de trabajo a las cuales estará sometido el amplificador operacional. Los encapsulados más comunes se describen en la tabla V.2.

TABLA V.2

TIPOS DE ENCAPSULADO		
Metálico		Dispositivo de tamaño reducido construido herméticamente, que consiste de un tapa metálica soldada a una base del mismo material, donde se localizan los pines en posición (montados) a través de un sello de vidrio (figura V.13 a). Este encapsulado generalmente cuenta con 8, 10 ó 12 pines y su principal característica es un buena disipación de calor.
Plano		Dispositivo en el cual la partícula semiconductor se encierra en una envolvente rectangular que contiene el conjunto de pines que se extienden a los lados. Esta envolvente se monta en una base de cerámica asegurándola herméticamente con un sello de vidrio, (figura V.13.b). La característica principal es su alta resistencia térmica, aplicándose a la industria militar exclusivamente.
Doble línea	Cerámica	Encapsulado que se compone de un marco de 8, 14 ó 16 pines, una base de material característico y una tapa del mismo material. La partícula se sobrepone en la base a través de una aleación, conectando posteriormente el marco de pines, posteriormente se sella herméticamente la tapa con la base por medio de una capa de vidrio (figura V.13 c). Su característica principal es su baja resistencia térmica.
	Plástico	Encapsulado que cuenta con la mismas características del cerámico, sin embargo, la partícula en la cual se encuentran montados los pines se adhieren a un material plástico de aislamiento (figura V.13 d). Su construcción se realiza de forma similar al de cerámica. Su característica es una alta resistencia térmica.

Las principales compañías relacionadas con la fabricación de los amplificadores operacionales se enlistan en la tabla V.3. La finalidad de proporcionar esta lista de compañías es la de conocer los códigos y logotipos que emplean las mismas para distinguir a sus productos.

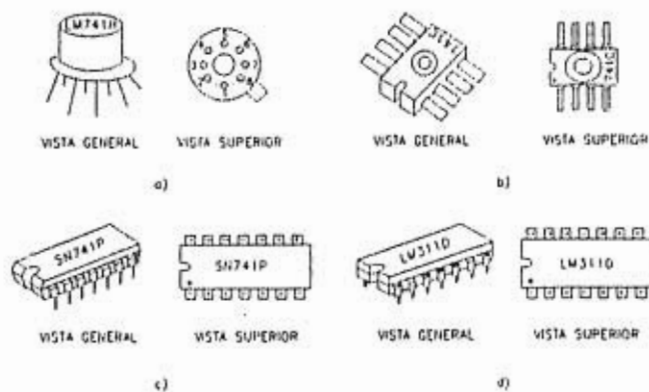


FIG. V.13 Paquetes de encapsulados. (a) Encapsulado metálico "METALCAN", (b) Encapsulado plano cerámico "FLAT-BACK", (c) Encapsulado de doble línea cerámico "DIP", (d) Encapsulado de doble línea de plástico "DIP".

TABLA V.3

FABRICANTE	CODIGO	LOGOTIPO
NATIONAL SEMICONDUCTOR	LM	
MOTOROLA	MC	
TEXAS INSTRUMENT	SH, TL	
RCA	CA	
FAIRCHILD	SA	
SIGNETICS	A	

V.5 La hoja de datos

En ella se proporciona toda información correspondiente a las características eléctricas y físicas de los amplificadores operacionales. Esta información se agrupa en un formato que se divide básicamente en cuatro secciones. Sin embargo, es importante indicar que para ciertas aplicaciones no sólo basta con revisar las hojas de datos del amplificador operacional, si no se hace necesario probarlo para ciertas condiciones de operación. La información que por lo general se proporciona en cada sección es la siguiente:

Primera sección

Sección en la que se describe de forma general el funcionamiento del amplificador operacional; por lo que se proporcionan sus características generales, su diagrama esquemático y los tipos de encapsulados utilizados para la fabricación del dispositivo; así, como la distribución de pines y el nombre de cada uno de ellos.

Segunda sección

En esta se proporcionan los valores máximos de operación de los amplificadores operacionales para los cuales se garantiza que los mismos no sufrirán daño alguno. Debe hacerse notar que ningún de estos valores debe excederse, por lo que se sugiere que siempre se de una tolerancia del 10% al 20% por debajo del valor indicado.

Tercera sección

Se proporcionan las características eléctricas del dispositivo para un determinado intervalo de operación, por lo que siempre están acompañadas de las condiciones de prueba. Se proporcionan además, las características de AC y DC, así como las gráficas correspondientes a las curvas de rendimiento y funcionamiento de los amplificadores operacionales. Todas estas características se especifican en un rango de voltaje y a una temperatura ambiente.

Cuarta sección

Normalmente en esta sección se muestran algunos de los circuitos de prueba usados para determinar las principales características de las primeras secciones. Así también, se proporcionan algunas aplicaciones típicas en las cuales pueden ser utilizados los amplificadores operacionales. Además, algunos fabricantes incluyen en esta sección las dimensiones físicas de los dispositivos que fabrican.

V.6 El diseño de circuitos electrónicos con amplificadores operacionales

Diseñar un circuito electrónico en el cual se incluye al amplificador operacional no es tarea fácil, requiere tanto de conocimientos teóricos como prácticos bien fundamentados. En sí el uso del amplificador operacional tiende a simplificar el proceso del diseño, más que a complicarlo. Sin embargo, es necesario que se cuente con la suficiente habilidad en el uso de este dispositivo para poderlo emplear correctamente.

Una parte importante de las actividades que se llevan a cabo en el diseño de los circuitos electrónicos con amplificadores operacionales, consiste en la búsqueda de partes de catálogo que puedan adaptarse a la tarea que se tiene en mente. Cuando las partes sustanciales de una función general se logran por medio de amplificadores estándar, se reduce en forma significativa la manipulación algebraica. Dicha manipulación se refiere a los procedimientos analíticos que se siguen para obtener los valores correspondientes de cada uno de los elementos que deben conectarse al amplificador operacional.

Pero, ¿Que es lo que se tiene que considerarse para seleccionar a un amplificador operacional dada una aplicación específica?. Quizás esto resulte muy complicado de responder; para ello, es necesario primero establecer de forma general una clasificación de los diferentes modelos de amplificadores operacionales que existen en el mercado, y definir por ende cuales son las características o parámetros más importantes del mismo. En base a esto se pueden determinar los puntos a considerarse en la selección del amplificador operacional dada la aplicación. Esta clasificación es la siguiente:

De uso general: son amplificadores que presentan valores medios de desviaciones de entrada (voltaje de offset y corriente de desajuste), resistencia de entrada, velocidad de respuesta y ancho de banda. Normalmente este tipo de amplificadores tienen compensación de frecuencia incorporada, de tal manera que se garantiza su estabilidad. Así también, disponen de terminales con las cuales se pueden corregir los desajustes de entrada.

Amplificadores especializados: amplificadores que se diseñan especialmente para tener parámetros excepcionales a altas frecuencias. Además, este tipo de amplificadores tienen la capacidad de suministrar una corriente de salida proporcional al voltaje de entrada diferencial, o para generar un voltaje de salida proporcional a la diferencia de voltaje que exista en sus entradas.

De alta velocidad de respuesta: son amplificadores diseñados para responder con gran velocidad a señales que varían rápidamente, por lo que tienen altos valores de tiempo de elevación.

De alta impedancia de entrada: amplificadores que tienen corrientes de polarización de entrada muy bajas, pero voltajes de desajuste relativamente altos. Son amplificadores que se diseñan con transistores de efecto de campo.

Amplificadores de precisión: tipo de amplificadores que se caracterizan por tener muy bajos valores de corriente de polarización y voltaje de desajuste. Normalmente presentan bajos coeficientes térmicos de desviación.

Amplificadores de potencia: son dispositivos con capacidad de proporcionar corrientes de salida altas, por lo que resulta indispensable montarlos sobre un disipador de calor.

Dada la clasificación anterior, puede determinarse que las características principales que deben considerarse en la selección de un amplificador operacional, independientemente de la aplicación, son:

- a) corriente de polarización de entrada;
- b) velocidad de respuesta;
- c) ganancia de lazo abierto;
- d) voltaje de offset de entrada;
- e) corriente de desajuste de entrada;
- f) ancho de banda;
- g) voltajes máximos de entrada en modo común y diferencial;
- h) sensibilidad a la temperatura;
- i) posibilidad de cortocircuitar la salida por un tiempo largo o ilimitado; y,
- j) posibilidad de polarizar al amplificador operacional con voltajes reducidos.

Por tanto, considerando lo anterior, los puntos a considerar para seleccionar de forma correcta a un amplificador operacional son:

- a) Definir el tipo de amplificador operacional dada la aplicación en particular.
- b) Detallar los posibles valores requeridos dada la aplicación.
- c) Realizar una tabla comparativa en la que se involucren los posibles tipos de amplificadores operacionales a utilizar. En dicha tabla se deberán proporcionar los datos característicos en formato corto. En esta tabla es importante verificar si esta disponible en el mercado, a sí como su costo.
- d) Realizar un estudio detallado de los datos de la tabla comparativa y, a partir de dicho estudio seleccionar el amplificador operacional adecuado.

Por otra parte, los capacitores y las resistencias son los elementos pasivos que con más frecuencia se utilizan en el diseño de los circuitos electrónicos con amplificadores operacionales. Elementos de diferentes materiales y valores se pueden encontrar en el mercado. Sin embargo, las resistencias y capacitores que deben utilizarse son aquellos que presenten como característica principal, bajos coeficientes de temperatura y poco corrimiento con el tiempo (tiempo de vida).

El material con que se fabrican las resistencias es diverso, en el mercado principalmente se encuentran resistencias de película de carbón, de compuestos de carbón, de alambre enrollado, de carbono pirolizado, de cerámica-metal, y de película metálica. Para aplicaciones de realimentación, atenuación, filtrado y comparación se recomienda usar las resistencias de película metálica, las de cerámica-metal y las de alambre enrollado, debido principalmente a que presentan alta estabilidad y tienen muy bajos coeficientes de temperatura, además de que pueden encontrarse en el mercado de diferentes valores y con tolerancias precisas. También se recomienda usar este tipo de resistencias para circuitos en donde la frecuencia máxima sea de 50 MHz. Para aplicaciones de altas frecuencias (arriba de 100 MHz) o de banda ancha, las resistencias más recomendables son las de película metálica de valor muy bajo; sin embargo, pueden utilizarse también de carbono pirolizado.

Por su parte, las resistencias de película de carbón y de compuestos de carbón no son recomendables debido a que son muy ruidosas y poco estables con la temperatura. Estas se pueden utilizar para experimentar exclusivamente.

Los capacitores, al igual que en las resistencias, se fabrican con diferentes materiales, obteniendo capacitores electrolíticos, de tantalio, de cerámica, de poliestireno, de mica plateada, de mylar, de plástico, de cerámica monolítica, de policarbonato y de poliéster. Para el desacople y acople de baja frecuencia los capacitores más recomendados son los de tantalio; también es frecuente utilizarlos en circuitos de temporización, en los amplificadores de audio y video, así como en los circuitos de conmutación, en amplificadores de cc y ca, en circuitos de instrumentación y para circuitos de procesamiento de señales.

Los capacitores de cerámica deben ser usados exclusivamente en el desacople de alta frecuencia; y para aplicaciones de filtrado es muy recomendable utilizar capacitores de poliestireno y de mica.

Con respecto a los capacitores de mylar, electrolíticos, y de plástico se recomiendan sean sólo empleados para realizar pruebas en laboratorio, y no en el diseño debido a que su valor varía con el voltaje, la temperatura, la frecuencia y el tiempo, además de que presentan grandes corrientes de fuga.

Es importante tener en cuenta la tolerancia en los capacitores y resistencias, por ello se recomienda que para los capacitores, ésta sea de $\pm 2\%$ y como máximo de $\pm 5\%$. En cambio para las resistencias de $\pm 1\%$ como valor típico y de $\pm 2\%$ como máximo.

Para ilustrar como se realiza el diseño de un circuito con amplificadores operacionales, además de mostrar la manera de utilizar la hoja de datos del fabricante, se propone un circuito muy sencillo, donde se desea conocer el valor de cada uno de los elementos externos que deben conectarse al amplificador operacional.

Diseño de un amplificador inversor

El circuito mostrado en la figura V.14 es un esquema generalizado para trabajar con un amplificador operacional. El circuito es un amplificador inversor en el que se desea obtener una ganancia de 100. Al circuito se le aplicará una señal de 10 mV. La alimentación de energía se estima que variará en un 10%. El circuito trabajará a una temperatura ambiente de 25°C . Se debe calcular el valor de los elementos externos para cubrir las condiciones indicadas.

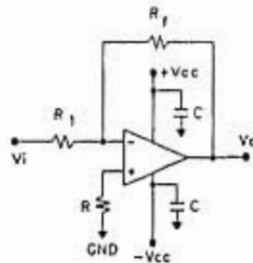


FIG. V.14 Circuito inversor a implementar

Para diseñar el circuito de la figura V.14 tomaremos al dispositivo MC741 de Motorola, mismo que tiene las características siguientes:

- Voltaje de alimentación: ± 18 V máximo; ± 15 V típico.
- Disipación de potencia total: 700 mW con una disminución de 8.5 mW/ $^{\circ}\text{C}$
- Rango de temperatura: $- 55^{\circ}\text{C}$ a $+125^{\circ}\text{C}$
- Voltaje de offset de entrada: 4 mV
- Corriente de desajuste de entrada: 200 nA
- Disipación del dispositivo: 200 mW
- Relación de Rechazo de Modo Común: 95 dB
- Impedancia de entrada: 2 M Ω

- Impedancia de salida: 75Ω
- Ganancia de voltaje en circuito abierto: 110 dB
- Oscilación del voltaje de salida: $\pm 13\text{ V}$
- Corriente de polarización de entrada: 500 nA

Primero tomaremos en consideración que por ningún motivo se deberá exceder el voltaje máximo de alimentación. Por lo que para efectos de diseño se tomará en cuenta el voltaje típico, que es de $\pm 15\text{ volts}$; debido a que como el voltaje de alimentación está sujeto a una variación de 10%. Esto da como resultado que el voltaje de polarización será de 16.5 volts , lo cual está dentro de la tolerancia del voltaje máximo de alimentación que se puede aplicar al amplificador operacional.

Para determinar el valor de las resistencias tomemos en cuenta la ganancia en circuito cerrado y la corriente de polarización de entrada de la siguiente manera:

- Para determinar el valor de R_1 , ésta debe seleccionarse de tal manera que como máximo exista una caída de voltaje del 10% en dicha resistencia en comparación a la señal de entrada aplicada. En base a esto (considerando una caída del 5%) y tomando en cuenta la corriente de polarización de entrada tenemos:

$$R_1 = \frac{5\% V_i}{I_B} = \frac{0.05 \cdot 10\text{ mV}}{500\text{ nA}} = 1\text{ k}\Omega$$

- R_f debe ser 100 veces más grande que la resistencia de entrada (R_1) para obtener la ganancia de 100, por lo tanto:

$$R_f = 100 \cdot R_1 = 100 \cdot 1\text{ k}\Omega = 100\text{ k}\Omega$$

- La resistencia R se emplea para eliminar el voltaje de offset de la entrada. Es decir, si la corriente de polarización de entrada es diferente para cada entrada, la caída de voltaje a través de las resistencias de entrada será diferente provocando un desequilibrio en el voltaje de entrada, esto sucede generalmente cuando el valor de R_1 es grande. Por tanto R será igual a:

$$R = \frac{R_1 + R_f}{R_1 + R_f} = \frac{1 + 100}{1 + 100} = 0.990\text{ k}\Omega$$

Sin embargo, prácticamente el valor de R se tendrá que ajustar para una diferencia de voltaje mínima entre las terminales de entrada. El valor de R se obtiene prácticamente cuando la señal de entrada es cero.

- El valor de los capacitores C, denominados capacitores de desviación, se encuentra en la hoja de datos; sin embargo, para efectos prácticos estos capacitores de tantalio de $0.1 \mu\text{F}$, en caso de presentarse problemas de respuesta a cualquier frecuencia el valor del capacitor deberá estar dentro del rango de 100 nF y $0.1 \mu\text{F}$. El valor de los capacitores aquí indicado es una norma generalizada que se emplea en todo circuito electrónico para disminuir los efectos de las señales indeseables en el mismo.

V.7 Aplicaciones de los amplificadores operacionales

Dadas las características propias del amplificador operacional; tales como: la alta ganancia de voltaje en malla abierta y el acoplamiento directo, permiten que este dispositivo sea utilizado ampliamente en amplificadores de ca y cc. Cuando se emplea una red de realimentación se pueden diseñar amplificadores lineales de precisión, amplificadores no lineales, amplificadores selectivos de frecuencia y amplificadores rápidos directos; entre ellos se tiene al amplificador inversor, amplificador no inversor, amplificador diferencial y seguidor de voltaje.

Otras aplicaciones del amplificador operacional se encuentran en circuitos de instrumentación; donde pueden utilizarse como fuentes de voltaje regulables, fuentes de tensión de precisión y como rectificadores de precisión. También se emplean en amperímetros y voltímetros de ca y cc, en capacitímetros, así como en convertidores de ca/cc.

Se pueden aplicar también en circuitos osciladores y multivibradores, o emplearse para generar formas de onda; tales como: senoidales, triangulares, cuadradas, etc. Otros circuitos donde los amplificadores operacionales se adaptan con gran facilidad son en circuitos musicales sencillos, alarmas activadas por luz o calor, así como las accionadas por contacto.

También es frecuente que en los sistemas electrónicos sea necesario atenuar las señales a ciertas frecuencias y dejar pasar a las restantes. Para ello se requiere de circuitos que permitan satisfacer dicha característica; a estos circuitos se le denominan filtros.

Un filtro que utiliza uno o varios amplificadores operacionales se le da el nombre de filtro activo, el cual se utiliza en diferentes áreas de la electrónica; entre las que pueden mencionarse: la instrumentación industrial, las telecomunicaciones y la bioingeniería. Por tal motivo, un filtro activo debe diseñarse con gran precisión y utilizando dispositivos de calidad para que con ello cumpla con su función correctamente.

El diseño de un filtro activo

Diseñar un filtro activo en el que deben cumplirse condiciones muy estrictas no es tarea fácil, requiere tanto de conocimientos teóricos y prácticos bien fundamentados. Además, se debe contar con un procedimiento de síntesis que cumpla con los pasos mínimos que permitan obtener las estructuras más adecuadas dada la aplicación en particular.

El procedimiento de diseño de un filtro activo puede variar de acuerdo al diseñador; sin embargo, dicho procedimiento debe contemplar cuatro puntos básicos, los cuales se detallan a continuación.

Características del filtro

Un filtro tiene por objeto separar una porción del espectro de frecuencias de señales útiles de otras indeseables que se encuentran mezcladas entre ellas. Tomando en cuenta esta característica los filtros se clasifican en: pasobajas, pasoaltas, pasobanda y supresor de banda. Los tipos de respuestas dada la clasificación anterior se muestran en la figura V.15, donde pueden observarse varios puntos de interés; los cuales se describen a continuación.

Banda de paso (B_p): gama de frecuencias donde se tiene máxima amplitud de voltaje a la salida de un filtro.

Banda de rechazo (B_r): gama de frecuencia donde se presenta una mínima o nula amplitud de voltaje a la salida del filtro.

Banda de transición (B_t): región que esta definida por la banda de paso y de rechazo, es decir, toda aquella gama de frecuencias en la que el filtro empieza a dejar de funcionar.

Frecuencia de corte (f_c): frecuencia en la que la salida del filtro presenta una caída de voltaje de un valor de 0.7071 con respecto al voltaje máximo de paso.

Frecuencia de rechazo (f_r): frecuencia en que la salida del filtro se encuentra con un valor de 0.7071 por encima del valor de la banda de rechazo.

Función de aproximación

Frecuentemente la respuesta de un filtro se representa por medio de funciones matemáticas que permiten hallar la función de transferencia del mismo, mismas que permiten de alguna forma u otra determinar los valores de los elementos ha utilizar en la implementación del filtro. A éstas funciones matemáticas se les denomina funciones de aproximación.

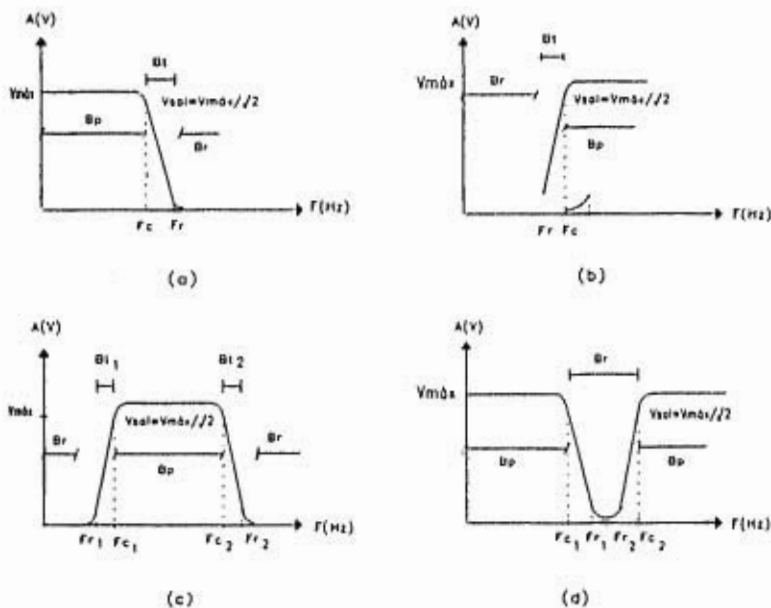


FIG. V.15 Respuesta de los filtros (a) pasa-bajas, (b) Paso-altas, (c) Paso-banda y (d) Supresor de banda

Las funciones de aproximación empleadas en el diseño de un filtro activo son las que se describen a continuación.

Respuesta Butterworth

Un filtro con este tipo de respuesta se diseña para proporcionar una curva de ganancia lo más plana posible en la banda de paso y un poco redondeada en las cercanías a la frecuencia de corte, es decir, la porción del espectro de frecuencia que se localiza dentro de la banda de paso presenta una amplitud casi constante disminuyendo de manera ligera conforme se acerca a la frecuencia de corte.

Un filtro con respuesta Butterworth se implementan con facilidad, dado a que los valores de los componentes son iguales.

Respuesta Chebyshev

Un filtro con respuesta Chebyshev presenta como característica pequeñas ondulaciones en la banda de paso, lo que provoca un cambio más abrupto en la banda de transición y con ello aproximando su respuesta a la de un filtro ideal. Estos filtros proporcionan una mayor relación de atenuación; sin embargo, son más críticos y sensibles a la tolerancia en los valores de los componentes. Para evitar dicha sensibilidad en la respuesta del filtro, los componentes se calculan de tal forma que la atenuación en la banda de paso oscile entre 0 y A_{max} .

Respuesta Thomson

Un filtro con respuesta Thomson, también denominada Bessel, presenta como característica gran regularidad en la banda de paso, reproduciendo lo más fiel posible a cualquier señal (sobretudo a las señales pulsantes), es decir, el defasamiento que se llegue a presentar se altera linealmente en función de la frecuencia, generando un circuito de retardo de tiempo casi constante, al tiempo que minimiza la distorsión de la forma de onda de una función escalonada.

Las respuestas de un filtro con las funciones de aproximación descritas se muestran en la figura V.16.

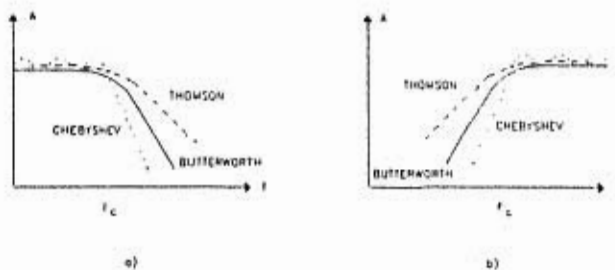


FIG. V.16 Respuesta para un filtro paso bajas y paso altas con diferente función de aproximación

Elección de la estructura del filtro

Para implementar un filtro activo se tiene que considerar la estructura más idónea dada la aplicación. La elección de dicha estructura se debe llevar a cabo tomando en cuenta las características siguientes:

- baja impedancia de salida;
- buena estabilidad;
- ajuste sencillo de la ganancia y frecuencia; y,
- empleo de pocos componentes.

Existen diferentes estructuras para implementar un filtro activo, cada una de las cuales presentan ventajas para determinadas aplicaciones. Frecuentemente, porque así es necesario, se emplean estructuras complejas dando como resultado que el cálculo de sus componentes requiere de un desarrollo muy complicado, sobre todo en aquellos casos donde es necesario adecuarlos a las necesidades requeridas por la aplicación específica.

Afortunadamente, se cuenta con desarrollos de síntesis perfectamente definidos que simplifican bastante el diseño de un filtro activo. Estos desarrollos comprenden ecuaciones, tablas y en ocasiones gráficas; que se aplican directamente, obteniendo gran precisión en la determinación de los valores de cada uno de los elementos del filtro.

Las estructuras de Sallen and Key y las de realimentación múltiple son las que más cumplen con las características mencionadas y, se emplean para obtener filtros de primer y segundo orden, en la inteligencia de que un filtro de orden mayor se obtiene conectando en cascada filtros de los ordenes mencionados.

Estructuras Sallen and Key

Estructuras que requieren pocos componentes, normalmente iguales, logrando simplificar bastante los procedimientos de cálculo. La característica principal de estas estructuras es que la ganancia es fija, debido a que las resistencias del divisor de voltaje de la entrada inversora (R_1 y R_2) determinan el factor de amortiguamiento y con ello el tipo de respuesta del filtro. Estas estructuras presentan buena estabilidad y sobre todo se puede realizar un ajuste de la frecuencia y ganancia de forma sencilla. Las estructuras Sallen and Key se muestran en el anexo al final del capítulo.

Estructuras de realimentación múltiple

Al igual que las estructuras Sallen and Key, las estructuras de realimentación múltiple son fáciles de implementar, dado a que hace uso de pocos elementos. Los procedimientos de cálculo requieren expresiones individuales, lo que provoca que la precisión en la determinación de los valores de los elementos a utilizar se reduzca y con ello el ajuste que se lleva a cabo de la frecuencia y ganancia ya no resulte tan simple.

Para las estructuras de realimentación múltiple la ganancia puede fijarse o no, debido a las características propias de la estructura. Las estructuras más comunes de filtros activos con realimentación múltiple se muestran en el anexo al final del capítulo.

El procedimiento de cálculo de los componentes que conforman a las estructuras Sallen and Key y de Realimentación múltiple resulta demasiado tedioso y en ocasiones decepcionante, debido al tiempo requerido para desarrollar el análisis matemático que define las expresiones necesarias para tal fin. Afortunadamente éste análisis ha sido ya desarrollado, quedando sólo aplicar las expresiones correspondientes para cada estructura.

El procedimiento de cálculo de los componentes de los filtros activos está definido para cada estructura, donde normalmente es necesario fijar los datos siguientes:

- frecuencia de corte deseada (f);
- elección del capacitor (C);
- la ganancia en la banda de paso (A); y,
- el rizo de paso para la respuesta Chebyshev.

Para los filtros pasobajas y pasobajas de segundo orden o mayor es necesario consultar la tabla V.4 (la cual ha sido tomada del libro *Operational Amplifiers, Design and Applications*; Tobey, Graeme y Huelsman), misma que proporciona los valores correspondientes a los parámetros "a" y "b" incluidos en las expresiones para el tipo de filtro deseado. El parámetro "a" tiene una relación con el factor de amortiguamiento ($a = 1/Q$) y define el tipo de respuesta del filtro; y el parámetro "b" es un factor de ajuste para la frecuencia deseada de trabajo.

Para diseñar un filtro de orden impar, la primera etapa del filtro siempre deberá ser de primer orden y las demás de segundo orden para garantizar la funcionalidad del filtro.

Los valores de la tabla V.4 se ajustan para ser empleados sin ninguna restricción para los filtros con estructura Sallen and Key; pero se pueden emplear para el diseño de filtros que emplean la estructura de realimentación múltiple. Sin embargo, debe indicarse que para obtener filtros con estructura de realimentación múltiple de gran precisión es recomendable utilizar las tablas que se proporcionan en el libro *Operational Amplifiers, Design and Applications* de Tobey, de Graeme y Huelsman.

Implementación del filtro

La implementación de un filtro no sólo consiste en realizar las conexiones físicas (montaje) de los diferentes componentes que conforman a la estructura seleccionada en un circuito impreso y el empaquetamiento del mismo; si no que además requiere de todo un procedimiento de pruebas de funcionalidad para la puesta a punto.

Por tanto, la implementación de un filtro activo consiste en realidad de varios puntos para optimizar el funcionamiento del mismo. Estos puntos son:

- a) Montaje en tablilla experimental del filtro.
- b) Emplear potenciómetros que sustituyan momentáneamente a las resistencias y con ello realizar los ajustes de frecuencia y ganancia.
- c) Realizar las pruebas correspondientes.
- d) Sustituir los potenciómetros por resistencias de valor fijo una vez que se verifique el óptimo funcionamiento del filtro.
- e) Construir el filtro definitivo en circuito impreso.
- f) Empaquetar el filtro adecuadamente.

Por otra parte, es necesario que para diseñar correctamente un filtro se verifique lo siguiente:

- Selección del amplificador operacional

Teóricamente cualquier amplificador operacional es adecuado para implementar un filtro, dadas sus características; sin embargo, un amplificador operacional debe seleccionarse de acuerdo a la estructura del filtro y de las condiciones y características deseadas para el mismo. Esta selección se realiza a partir de los puntos mencionados con anterioridad; pero en un filtro activo dicha selección debe estar sujeta a cuatro parámetros del amplificador operacional.

i) Ganancia de lazo abierto

Entre mayor sea la ganancia de lazo abierto, mayor será la precisión en ganancia del filtro y por tanto en la respuesta del mismo.

ii) Impedancia de entrada y salida

La impedancia de entrada del amplificador operacional deberá ser mayor al valor máximo de la resistencia conectada en la entrada del filtro. En cambio la impedancia de salida deberá ser menor a la resistencia conectada en su salida.

iii) Velocidad de respuesta

Entre más rápido responda un amplificador operacional a una excitación, mayor será la confiabilidad del filtro.

iv) Perturbaciones

Las máximas variaciones permitidas en un amplificador operacional deben estar dentro de los márgenes permitidos para el dispositivo, con esto se puede evitar que el dispositivo se dañe. Así, debe protegerse al amplificador contra señales indeseables (ruido)

- Selección de los componentes del filtro activo

i) Resistencias

- De película metálica, de alambre enrollado o de cerámica-metal.
- Tolerancia de $\pm 2\%$ ó $\pm 1\%$.
- Coeficiente de temperatura de ± 100 pm/ $^{\circ}$ C.

ii) Capacitores

- De poliestireno o de mica.
- Tolerancia de $\pm 2\%$ ó $\pm 5\%$.
- Coeficiente de temperatura bajo.

- Selección de los sistemas de blindaje adecuados

Es requisito indispensable que todo circuito electrónico este debidamente protegido contra cualquier inconveniente que pueda presentarse durante su funcionamiento. Por tanto, en la implementación de un filtro no deben olvidarse factores tales como: corrosión, humedad y el calor entre otros factores.

V.8 Fallas en los circuitos con amplificadores operacionales y métodos de protección

Los circuitos electrónicos en los que se incluye al amplificador operacional, no están exentos a que presenten algún tipo de falla; mismas que se pueden derivar por diversos factores y que van desde la falta de energía, hasta el daño irreversible de uno o varios elementos del circuito. Estas fallas se pueden clasificar como fallas físicas y fallas técnicas.

Las fallas técnicas son las generadas por el propio diseñador; fallas que se presentan por la mala conexión de los diferentes elementos que conforman al circuito, así como del propio amplificador operacional. Entre las fallas técnicas más comunes tenemos: falta de energía, corto circuitos a Vcc o GND, circuitos abiertos o el desacoplos de diferentes partes del circuito.

En cambio, las fallas físicas son todas aquellas que se presentan cuando algún elemento está dañado. A estas fallas las podemos dividir en fallas externas e internas; las primeras se deben a que posiblemente algún elemento externo al amplificador operacional puede encontrarse dañado. En cambio, las fallas internas se refieren exclusivamente al amplificador operacional el cual posiblemente presente daño interno.

Pero, ¿Cómo determinar si las fallas son técnicas o físicas?. Para conocer el tipo de falla debe seguirse un procedimiento de análisis que nos ayude a determinar su naturaleza. Sin embargo, es común pensar que seguir éste tipo de procedimientos a lo único que nos lleva es a la pérdida de tiempo y esfuerzo, generando en muchas ocasiones gran frustración cuando no se determinan en tiempos razonablemente cortos las posibles fallas del circuito. Pero, debe entenderse que sólo con la práctica se podrá reducir el tiempo de detección de fallas y corrección de las mismas.

Un procedimiento de detección de fallas no tiene que considerarse como un método riguroso de análisis que deba llevarse a cabo, si no más bien, se tendrá que considerar como una serie de pasos a seguir a partir de la naturaleza y frecuencia con la que se presentan las fallas. Sin embargo, los procedimientos para detectar fallas varía de acuerdo al diseñador, donde cada diseñador en base a su experiencia determina que pasos debe seguir en la detección de las mismas.

Por tanto, se puede determinar que un buen procedimiento para detectar fallas se tiene que dividir básicamente en dos partes. La primera se enfoca a la determinación de las fallas técnicas que son con frecuencia las que provocan un funcionamiento incorrecto de los circuitos, mismas que deben corregirse antes de realizar cualquier sustitución de elementos del circuito. Esta parte comprende los pasos siguientes:

- 1.- Verificar el suministro de energía.
- 2.- Revisar la conexión de los pines de los amplificadores operacionales.
- 3.- Revisar la continuidad de los conductores del circuito.
- 4.- Revisar que no exista un corto circuito entre conductores.
- 5.- Revisar que las señales de entrada y salida, dispositivos y fuente de energía, compartan el mismo punto común.

La segunda parte se enfoca a determinar las posibles fallas físicas, tanto externas como internas. Si se presenta una falla se tiene que estudiar a detalle y posteriormente corregirla. Para detectar las fallas externas se tienen que seguir los pasos siguientes:

- 6.- Revisar si el amplificador operacional está caliente, en caso afirmativo revisar que la salida del circuito no este cortocircuitada a Vcc o GND. Si no es así, verificar que la carga conectada no sea demasiado grande (de valor muy pequeño).
- 7.- Revisar que los circuitos de protección del amplificador operacional estén bien realizados.
- 8.- Si la salida del amplificador esta saturada, revisar la red de retroalimentación para verificar que no este en circuito abierto (resistencia infinita), o la red de entrada no este cortocircuitada (resistencia cero).
- 9.- Verificar que la impedancia de salida de la fuente generadora de señal no presente un valor muy alto en comparación con las de las entradas del circuito.

Para determinar las fallas internas deben cubrirse tres pasos, los dos primeros son de prueba y tienen como finalidad verificar si el amplificador operacional no presenta daño interno y, el tercero es la de verificar si se han realizado las conexiones adecuadas de los elementos correspondientes para trabajar con señales alternas. Estos pasos son:

- 10.- Realizar un cortocircuito entre las terminales de entrada del amplificador operacional, si en la salida se presenta un voltaje diferente de cero, será indicativo de que el amplificador operacional esta dañado. Cabe indicar que para realizar esta prueba debe realizarse la conexión para eliminar el voltaje de offset de entrada.
- 11.- Realizar la prueba de ganancia. Si existe una pérdida de ganancia muy significativa será un indicativo de que el amplificador operacional esta dañado.
- 12.- Revisar que la conexión de los capacitores de acoplo que se emplean para nulificar a las señales de CC esté realizada adecuadamente, en caso contrario el amplificador operacional funcionará incorrectamente, debido a que su etapa diferencial de entrada no ha sido polarizada adecuadamente, no existiendo por ende un camino de paso para las corrientes de polarización (CC) de las entradas a tierra.

Las conexiones a realizar cuando se analizan las fallas internas son las mostradas en la figura V.17.

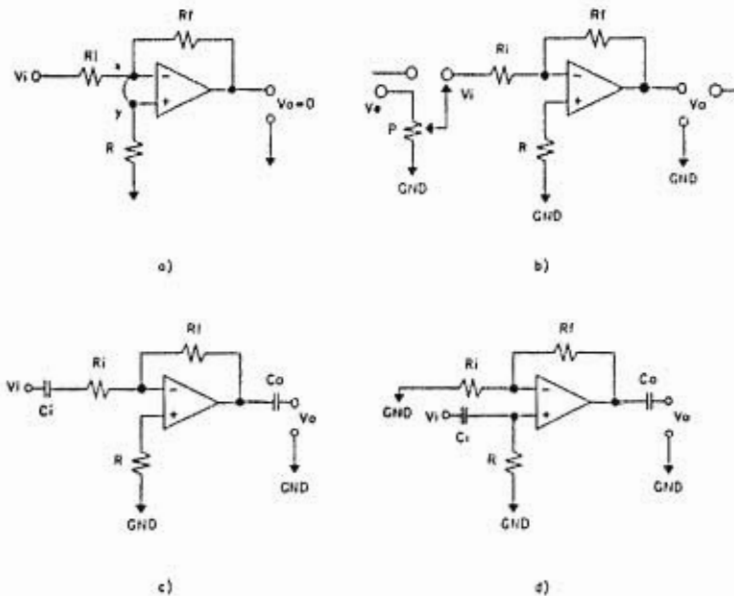


FIG. V.17 Conexiones a realizar para verificar fallas internas operacional en un amplificador operacional

Por otra parte, es importante que los circuitos electrónicos con amplificadores operacionales dispongan de protecciones adecuadas, mismas que permitan minimizar al máximo cualquier riesgo en el funcionamiento del circuito. Por ello, resulta de interés poner especial atención en las tareas de apantallamiento, desacoplo, polarización y filtrado de señales indeseables (ruido) que pueden generar algún tipo de problema. Sin embargo, cualquiera que sea el caso, como buena práctica es recomendable que se diseñen los circuitos de manera que todos sus componentes funcionen adecuadamente dentro de los valores máximos de tensión, corriente, potencia y temperatura. Dentro de las protecciones más comunes se tienen las siguientes.

Polarización: En general, los amplificadores se polarizan a un voltaje nominal máximo el cual no debe sobrepasarse por ningún motivo. Si esto sucediese, se presentará un daño irreversible en el amplificador operacional, así como en cualquier otro dispositivo.

Amplificadores Operacionales y Aplicaciones

Para evitar que esto suceda, primero se debe garantizar que la fuente con la cual se polariza a los circuitos no entregue más del voltaje requerido, además de que debe contar con un limitador de sobrecorriente. Y en segundo lugar es preciso proteger al amplificador operacional contra sobretensiones o polarización inversa; en este último caso, los diodos que se utilicen deben ser capaces de soportar la corriente de salida en cortocircuito de la fuente de alimentación, por lo que se recomienda que tengan un valor de corriente directa superior a este. Estas técnicas de protección se muestran en la figura V.18.

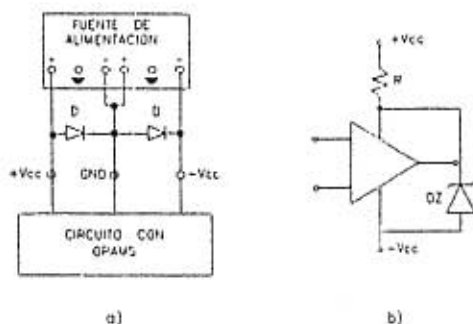


FIG. V.18 Circuitos de protección contra, a) polarización inversa
b) sobretensión

Disposición: Esta debe ser siempre compacta y buscando constantemente contar con un buen sistema de conexión a tierra; esto con la finalidad de proporcionar un camino de retorno de baja resistencia e inductancia y reducir con ello al máximo el ruido. En caso de que no se quiera disponer de un sistema de conexión a tierra, se debe utilizar una línea de retorno de punto único, a través de la cual se busque reducir las trayectorias comunes de corriente que puedan provocar interferencias entre los diferentes componentes del circuito.

La conexión a masa de punto único es recomendable utilizarla en aquellos casos donde se tiene una combinación de circuitos analógicos y digitales, donde la parte digital y la parte analógica debería de tener su conexión a masa separada. La figura V.19 muestra esta técnica de protección.

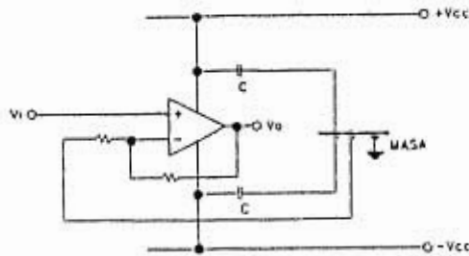


FIG. V.19 Conexión a tierra de un sólo punto

Desacoplo: Es evidente que debe existir un desacoplo de la línea de alimentación con respecto a tierra; para ello, es necesario colocar un capacitor de tantalio de $1 \mu\text{F}$ en paralelo con un capacitor de cerámica de entre $0.1 \mu\text{F}$ a 100 nF en el punto del suministro de alimentación. Sin embargo, el desacoplo local de la línea de alimentación no debe ser único, se tiene que cada circuito integrado debe desacoplarse utilizando un capacitor cerámico de un valor que se encuentre de entre $0.1 \mu\text{F}$ a 10 pF . Este capacitor debe colocarse lo más cerca posible a las terminales de polarización del IC, para que con ello todas las corriente parásitas que se producen en los conductores se deriven a tierra. En la figura V.20 se muestra la conexión de los capacitores para el desacoplo de la línea de alimentación y de los IC's.

Esta protección es básica, dado que con ello pueden evitarse que algunos factores, tales como: ruido, descargas eléctricas, etc. afecten la operación del circuito.

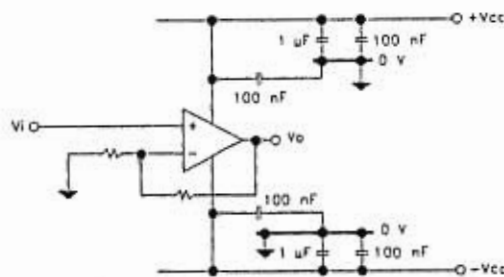


FIG. V.20 Conexiones a realizar para el desacoplo en un circuito electrónico con amplificadores operacionales

Apantallamiento: Como sabemos el ruido en los circuitos electrónicos reduce de alguna forma u otra la capacidad de estos para detectar las señales útiles; donde este ruido generalmente depende de la fuente y del nivel de entrada. Para evitar que esto suceda, se hace necesario apantallar las entradas de señal de nivel bajo con la finalidad de reducir al máximo el ruido e interferencias adicionales que se presenten en la terminal de entrada. Esta técnica de protección consiste en que ambas líneas de señal funcionan como cables tranzados que recogen las señales de interferencia en modo común, las cuales se incluyen en un cable apantallado, conectando posteriormente dicho cable a un punto único, tal y como se muestra en la figura V.21 a). En caso de utilizar una fuente de señal de extremo único se tiene que utilizar un terminal separado de retorno a tierra dentro del cable apantallado, tal y como se muestra en la figura V.21 b).

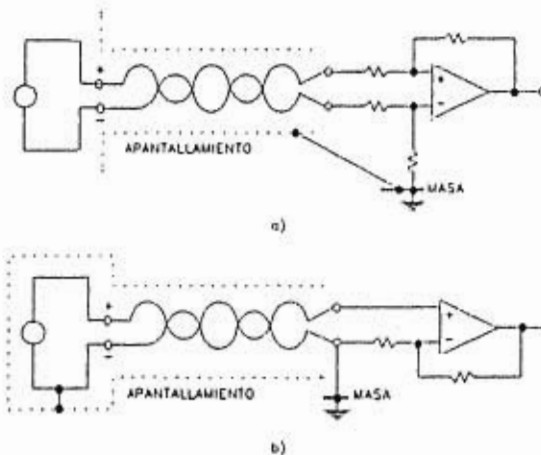


FIG. V.21 Forma de realizar el apantallamiento desde una fuente
a) diferencial, b) de extremo único

Inversión de ganancia: Frecuentemente cuando se elimina la señal de entrada en un amplificador operacional, en la salida no debe presentarse señal alguna; sin embargo, existe la posibilidad de que en la salida se presente un nivel de voltaje permanente. La respuesta del amplificador al nivel de esta señal en su salida es una desestabilización que provocará una posible destrucción del dispositivo. Esto se evita cuando se protege al amplificador como se muestra en la figura V.22 a). Protección que se sugiere usar cuando se desea que la ganancia sea relativamente pequeña, y especialmente cuando se utiliza al amplificador operacional como seguidor.

Daño diferencial: Es posible que en las entradas del amplificador operacional se aplique sin querer el voltaje de polarización o cualquier otra fuente de voltaje cuando se llevan a cabo gran cantidad de conexiones, lo que provocaría que la etapa de entrada del amplificador se dañe. Esto es posible evitarlo cuando se conectan dos diodos rectificadores tal y como se muestra en la figura V.21 b).

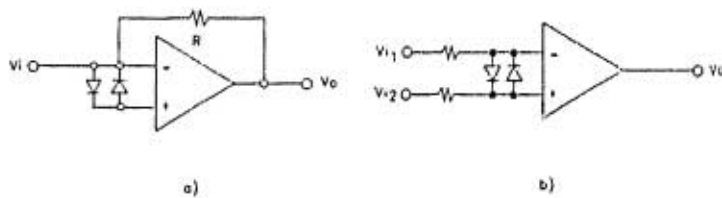


FIG. V.22 Protecciones contra: a) inversión de ganancia, b) daño diferencial

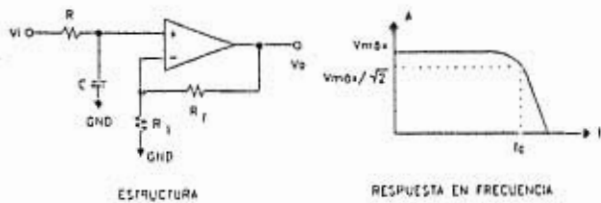
Otras protecciones a realizar son aquellas que están relacionadas contra factores externos que afectan el funcionamiento de los circuitos electrónicos; tales como: el calor, la corrosión, las vibraciones mecánicas y la humedad. Para ello deben de emplearse:

- ventiladores para mantener la temperatura constante y eliminar partículas metálicas suspendidas;
- barniz marítimo cuando se instale en áreas cercanas al mar; y,
- barniz o gel de silicio para el calor, humedad y corrosión.

ANEXO

ESTRUCTURAS SALLEN AND KEY

Filtro pasobajas de primer orden



EQUACIONES

$$A = \frac{R_f}{R_1} + 1 \quad R = R_1 // R_f \quad f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

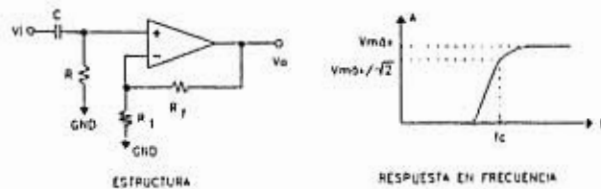
SELECCIONAR

$$0.01 \mu F < C < 100 \text{ nF}$$

$$A > 1$$

$$f$$

Filtro pasoaltas de primer orden



EQUACIONES

$$A = \frac{R_f}{R_1} + 1 \quad R = R_1 // R_f \quad f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

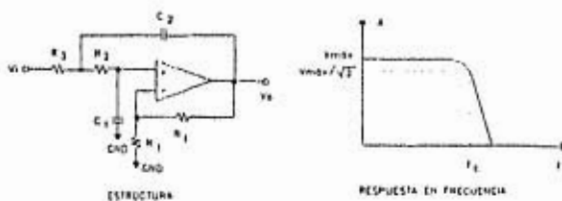
SELECCIONAR

$$0.01 \mu F < C < 100 \text{ nF}$$

$$A > 1$$

$$f$$

Filtro pasobajas de segundo orden



EQUACIONES

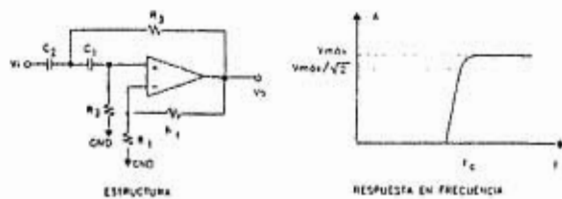
$$A = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad N = R_1 // R_2 \quad b = \frac{1}{f_c}$$

$$R_3 = R_2 = V \quad R = R_2 + R_3 \quad C = C_1 + C_2 \quad R_1 = (2 - a)R_2$$

SELECCIONAR

0.01 μ F < C < 100 μ F	AMPLITUD DEL RIZO PARA LOS FILTROS CON RESPUESTA CHEBYSHEV	BUSCAR LOS VALORES DE LOS PARAMETROS a Y b EN LA TABLA Y 1 a PARTIR DEL ORDEN DEL FILTRO
A > 1		
f		

Filtro pasopaltas de segundo orden



EQUACIONES

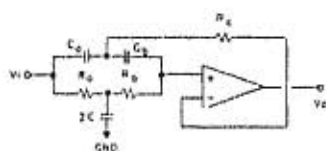
$$A = \frac{R_1}{R_2} + 1 \quad N = \frac{1}{2\pi RC} \quad R_2 = R_1 // R_3$$

$$R_3 = R_2 = R \quad C_2 = C_1 = C \quad R_1 = (2 - a)R_2 \quad b = \frac{1}{f_c}$$

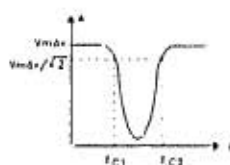
SELECCIONAR

0.01 μ F < C < 100 μ F	AMPLITUD DEL RIZO PARA LOS FILTROS CON RESPUESTA CHEBYSHEV	BUSCAR LOS PARAMETROS a Y b EN LA TABLA Y 1 a PARTIR DEL ORDEN DEL FILTRO
A > 1		
f		

Filtro supresor de banda



ESTRUCTURA



RESPUESTA EN FRECUENCIA

ECUACIONES

$$Q = \frac{R_c}{R_b C_d + R_c C_c} \quad f_c = \sqrt{f_{C2} f_{C1}} \quad C = C_a = C_d$$

$$R_a = \frac{1}{4 R Q C f_c} \quad R_b = \frac{Q}{2 f_c C} \quad R_c = R_b // R_L$$

SELECCIONAR

$$Q \text{ OI } \mu\text{F} \times C < 100 \text{ nF}$$

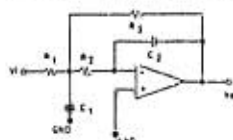
$$f_{C1} \times f_{C2}$$

$$A = 1$$

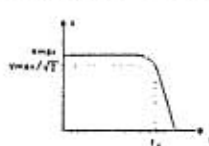
$$Q < 10$$

ESTRUCTURAS DE REALIMENTACION MULTIPLE

Filtro pasobajas de segundo orden



ESTRUCTURA



RESPUESTA EN FRECUENCIA

EQUACIONES

$$s = \frac{-\omega}{2} \pm j \frac{\omega}{2} \quad \omega = \frac{1}{f_c} \quad C = C_1 \quad C_2 = R C_1 \quad \omega = 2\pi f$$

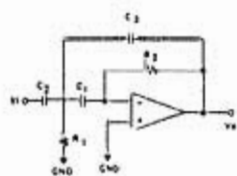
$$R_1 = \frac{R_2}{A} \quad R_2 = \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2 R_2} \quad R_3 = \frac{R}{2\omega C_2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2Q + 2Q^2}{A^2}} \right]$$

SELECCIONAR

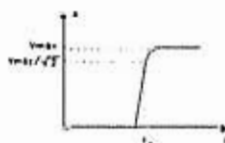
$$Q \text{ OI } \mu\text{F} \times C < 100 \text{ nF}$$

$A = 1$	$A = 2$	AMPLITUD DEL RIZO PARA LOS FILTROS CON RESPUESTA CHEBYSHEV	BUSCAR LOS VALORES DE LOS PARAMETROS A Y B EN LA TABLA D1 A PARTIR DEL ORDEN DEL FILTRO
$A = 10$	$A = 100$		

Filtro pasoaltas de segundo orden



ESTRUCTURA



RESPUESTA EN FRECUENCIA

EQUACIONES

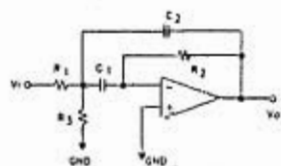
$$A = \frac{C_2}{C_1} \quad C_2 = C_1 = C \quad b = \frac{1}{1} \quad \omega = 2\pi f$$

$$R_1 = \frac{6A}{\omega C(2A + 1)} \quad R_2 = \frac{2A + 1}{\omega C}$$

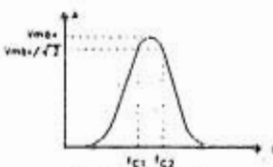
SELECCIONAR

0.01 μ F < C < 100 nF	AMPLITUD DEL RIZO PARA LOS FILTROS CON RESPUESTA CHERISH-VEY	BUSCAR LOS PARAMETROS A Y B EN LA TABLA 4.1 A PARTIR DEL TIPO DEL FILTRO
A < 10		
f		

Filtro pasabanda



ESTRUCTURA



RESPUESTA EN FRECUENCIA

EQUACIONES

$$Q = \frac{1}{f_c \sqrt{C_2 \cdot C_1}} \quad f_c = \sqrt{f_{c1} \cdot f_{c2}} \quad C_1 = C_2 = C$$

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_c C} \quad R_2 = \frac{Q}{\pi f_c C} \quad R_3 = \frac{Q}{2\pi f_c (2Q^2 - A)}$$

$$A = 0.5H \quad H = \frac{R_2}{R_1} \quad A < 20^2$$

SELECCIONAR

0.01 μ F < C < 100 nF
f _{c1} ≠ f _{c2}

TABLA V. 4

TIPO DE RESPUESTA	n	a	b	a	b	a	b
BUTTERWORTH	2	1.4142	1.0000				
	3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		
	4	1.8481	1.0000	0.7651	1.0000		
	5	1.0000	1.0000	1.6179	1.0000	0.6181	1.0000
	6	1.9319	1.0000	1.4142	1.0000	0.5181	1.0000
CHEBYSHEV PR = 0.5	2	1.5779	1.3901				
	3	1.0000	0.6261	0.5871	1.0688		
	4	1.4179	0.5969	0.3401	1.0318		
	5	1.0000	0.3620	0.8478	0.6811	0.2200	1.0180
	6	1.4618	0.3961	0.5521	0.7681	0.1541	1.0110
CHEBYSHEV PR = 1.0	2	1.0591	1.2181				
	3	1.0000	0.4951	0.4951	0.9966		
	4	1.2748	0.5300	0.2800	0.9936		
	5	1.0000	0.2891	0.7151	0.6549	0.1610	0.9939
	6	1.1342	0.3529	0.4551	0.7471	0.1251	0.9951
CHEBYSHEV PR = 2.0	2	0.8858	1.0739				
	3	1.0000	0.3691	0.3921	0.9409		
	4	1.0758	0.4701	0.2178	0.9464		
	5	1.0000	0.2180	0.5631	0.6272	0.1380	0.9760
	6	1.1091	0.3164	0.3522	0.7300	0.0969	0.9831
CHEBYSHEV PR = 3.0	2	0.7658	1.0000				
	3	1.0000	0.2900	0.3261	0.9161		
	4	0.9291	0.4433	0.1791	0.9500		
	5	1.0000	0.1777	0.4681	0.6138	0.1131	0.9670
	6	0.9581	0.2981	0.2890	0.7220	0.0780	0.9770
THOMSON	2	1.7321	0.7852				
	3	1.0000	2.3233	1.4470	2.4830		
	4	1.9162	2.0666	1.2411	1.6239		
	5	1.0000	3.6667	1.7751	2.8741	1.0910	2.7111
	6	1.9591	2.8722	1.6361	2.8681	0.9770	3.7272

DESARROLLO PRACTICO

PARTE I

CARACTERISTICAS REALES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

OBJETIVO

Familiarizarse con las características reales de los amplificadores operacionales a través de la experimentación, y con ello determinar algunas no idealidades de estos dispositivos; tales como:

- voltaje de offset de entrada V_{OS} ;
- corriente de polarización de entrada I_B ; y,
- corriente de desajuste de entrada I_{OS} .

Se mostrarán también los métodos más comunes para corregir estas no idealidades y así reducir los errores que se presenten por los mismos.

INTRODUCCION

Los avances tecnológicos en la fabricación de dispositivos electrónicos han permitido que en la actualidad se diseñen dispositivos electrónicos confiables, de tamaño reducido y sobre todo a un bajo costo. El amplificador operacional es quizás uno de los dispositivos más representativos de estos avances.

El amplificador operacional es un dispositivo acoplado directamente de alta ganancia, permitiendo con ello que pueda amplificar todas las frecuencias de señales de hasta 0 Hz. Dispositivo que se emplea en cualquier área de la electrónica de baja potencia, especialmente cuando es necesario procesar señales de cc o ca.

Las primeras aplicaciones del amplificador operacional se enfocaron a las computadoras analógicas, donde constituían un bloque funcional básico de las mismas, sobre todo para realizar operaciones matemáticas (suma, resta, diferenciación, integración, etc.). Sin embargo, en la actualidad los amplificadores dada su versatilidad y funcionalidad se han convertido en un dispositivo funcional en todos los géneros de las áreas de aplicación.

El amplificador operacional actual es un dispositivo que se encuentra disponible en forma de IC, lo cual puede hacer pensar que es un dispositivo complejo con características especiales. Sin embargo, esto no es así, dado que es un dispositivo con características de entrada y salida que deben emplearse para la aplicación específica. Cuenta con un número determinado de terminales que nos permite conectar elementos externos para con ello obtener circuitos de aplicación, o bien para determinar las características de operación del dispositivo.

El amplificador operacional aún siendo un dispositivo muy completo, presenta ciertas limitaciones que pueden afectar su funcionalidad para algunas aplicaciones. Limitaciones que como usuario de estos dispositivos deben considerarse, de tal forma que pueda realizarse una selección correcta del dispositivo para satisfacer las especificaciones de una aplicación determinada. Las características de un amplificador operacional que determinan en cierta forma sus limitaciones se clasifican en dos grupos; estos son:

Características de cc:

- voltaje de offset de entrada;
- corriente de polarización de entrada; y,
- corriente de desajuste de entrada.

Características de ca:

- velocidad de respuesta;
- respuesta a la frecuencia;
- tiempo de elevación;
- ganancia; y,
- razón de rechazo en modo común.

DESARROLLO

I.- Medición de las características de cc

I.1 Voltaje de offset de entrada V_{os}

- I.1.1.- Para eliminar o disminuir el voltaje de offset de entrada en un amplificador operacional el fabricante generalmente dispone en sus dispositivos de dos terminales a las que se les denomina terminales de "offset-null". Terminales en las que se conecta un potenciómetro tal y como se muestra en la figura V.23 (en este caso en particular para el LM741). Esta conexión se realiza para aplicar un voltaje regulado que permita equilibrar la diferencia de voltaje existente entre las junturas base-emisor de los transistores de la etapa de entrada. A éste método de corrección se le denomina "compensación interna".

Para medir el voltaje de offset, implemente el circuito de la figura V.23. Desconecte el potenciómetro de las terminales de "offset-null" y conecte la salida del circuito al canal "A" de un osciloscopio de doble trazo. Anote el valor del voltaje que se observa en la pantalla del osciloscopio. Ajuste el selector de volts/div del osciloscopio en una escala en la que se pueda observar con claridad el voltaje de salida del circuito.

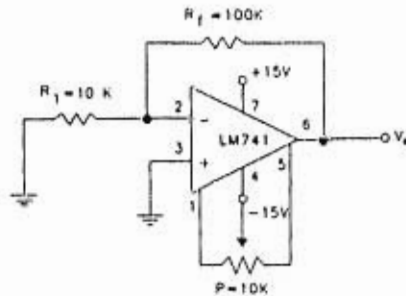


FIG. V.23 Circuito para corregir el voltaje de offset de entrada

- I.1.2.- Determine el valor del voltaje de offset de entrada por medio de la expresión siguiente:

$$V_{os} = \frac{V_o}{1 + \frac{R_f}{R_i}}$$

- I.1.3.- Conecte el potenciómetro entre las terminales de offset-null (terminales 1 y 5) como se muestra en la figura V.23. Ajuste el potenciómetro a la mitad de su valor y posteriormente barra hacia ambos lados hasta lograr que el voltaje de salida sea cero o presente un valor próximo a cero volts. Observe en el osciloscopio como el voltaje de salida del circuito se reduce al máximo.
- I.1.4.- Cuando un amplificador operacional no cuenta con las terminales de offset-null para compensar el desajuste de entrada, éste deberá de realizarse externamente. En la figura V.24 se muestra un método para compensar el voltaje de offset de entrada. Este método suele denominarse de equalización; su principal ventaja es que se puede compensar el desajuste de entrada con mayor facilidad; sin embargo, su desventaja principal es el encarecimiento del circuito.

Implemente el circuito de la figura V.24. Conecte la salida del amplificador al canal "A" de un osciloscopio de doble trazo. Elimine la resistencia R y conecte el pin 3 del amplificador operacional a tierra; mida el valor del voltaje de salida en estas condiciones. Anote este valor.

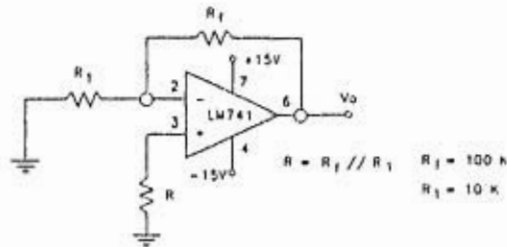


FIG. V.24 Circuito para corregir el voltaje de offset de entrada empleando una resistencia externa

- I.1.5.- Elimine la conexión a tierra del pin 3 del amplificador operacional y conecte la resistencia R como se muestra en la figura V.24. Verifique el efecto en el voltaje de salida al conectar la resistencia. Anote este valor.

En la figura V.24 se proporciona la expresión para calcular el valor de la resistencia R.

- I.1.6.- Otros métodos para eliminar externamente el voltaje de offset de entrada se muestran en la figura V.25, en la misma figura se proporcionan las expresiones para calcular el valor de las resistencias que son requeridas para eliminar el desajuste de entrada.

Implemente los circuitos de la figura V.25. Ajuste los potenciómetros a la mitad de su recorrido. Mida el voltaje de salida en cada uno de los circuitos con un osciloscopio de doble trazo y anote el valor del voltaje de salida.

- I.1.7.- Ajuste los potenciómetros en ambos circuitos para observar en el osciloscopio como el voltaje de salida alcance su valor mínimo.
- I.1.8.- Explique cada uno de los métodos de compensación externa y determine cual es el más conveniente.

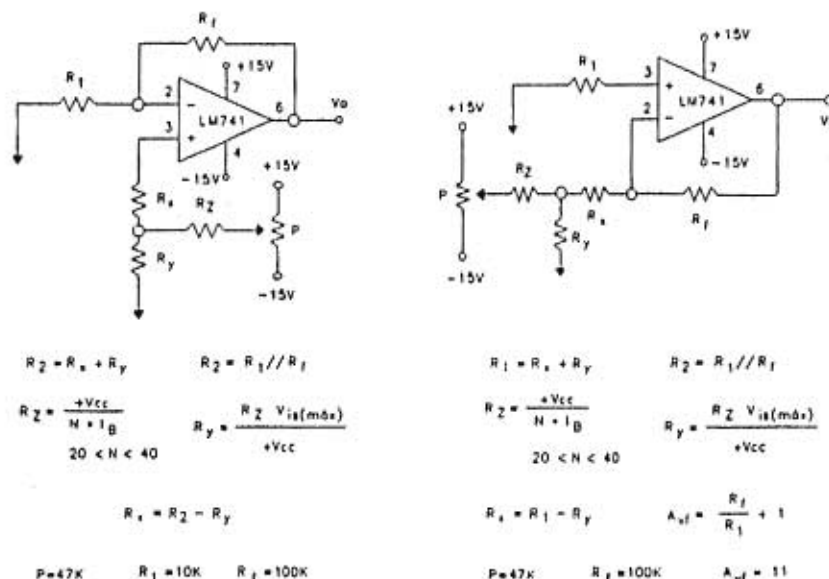


FIG. V.25 Circuito para corregir el voltaje de offset de entrada para un amplificador inversor y no inversor

I.2 Corriente de polarización de entrada I_{II}

I.2.1.- Teóricamente no debe fluir corriente por las entradas de un amplificador operacional; sin embargo, esto no sucede así, normalmente se presenta una corriente de valor pequeño. Corriente que provoca que se presente un voltaje en la salida del amplificador.

Para medir la corriente de polarización, implemente el circuito de la figura V.26. El valor de las resistencias en teoría pueden ser de cualquier valor; sin embargo, es recomendable utilizar resistencias de valor muy grande para con ello provocar una caída de voltaje que pueda ser medido. Se sugiere utilizar resistencias en un rango de 1 M Ω a 10 M Ω .

I.2.2.- Para medir la corriente de polarización deben seguirse los pasos siguientes:

- Conecte el osciloscopio a la salida del circuito de la figura V.26 y ajuste el potenciómetro para obtener un voltaje mínimo de salida (V_{os}). Esto será posible cuando Sa y Sb estén cerrados. Anote este valor.
- Estando Sa cerrado y Sb abierto, mida el voltaje de salida y determine la corriente de polarización (I_{B2}) a través de la expresión siguiente:

$$I_{B2} = \frac{V_o - V_{os}}{R_2}$$

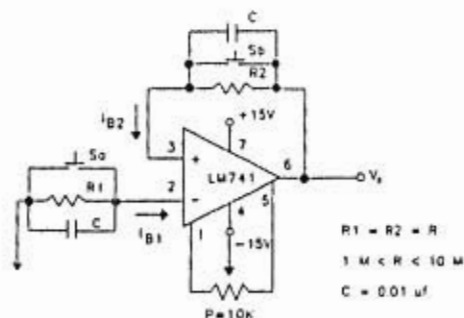


FIG. V.26 Circuito para medir la corriente de polarización de entrada

- Estando Sa abierto y Sb cerrado, mida el voltaje de salida y determine la corriente de polarización (I_{B1}) aplicando la expresión siguiente:

$$I_{B1} = \frac{V_o - V_{os}}{R_1}$$

- La corriente de polarización promedio (I_B) se obtiene empleando la expresión:

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

- e) Elimine los capacitores del circuito y verifique que sucede con la corriente de polarización; explique.

I.3 Corriente de desajuste de entrada I_{OS}

- I.3.1.- La corriente de desajuste de entrada se debe a que las corrientes de polarización de entrada no son estrictamente iguales. Esta corriente se mide empleando el circuito de la figura V.26; para ello S_a y S_b deben estar abiertos. Anote el valor del voltaje de salida del circuito una vez que se ha ajustado el potenciómetro para que el voltaje de salida sea mínimo. Aplique la expresión siguiente para determinar el valor de la corriente de desajuste.

$$I_{OS} = \frac{V_O - V_{OS}}{R}$$

- I.3.2.- Desconecte los capacitores del circuito y observe que sucede con el voltaje de salida del circuito y con la corriente de desajuste de entrada; explique.

II.- Medición de las características de ca

II.1 Ganancia de lazo abierto

- II.1.1.- La ganancia de lazo abierto en un amplificador operacional real es finita, normalmente se encuentra en un rango de 20,000 a 1,000,000. Determinar el valor real de la ganancia de lazo abierto nos es útil para determinar la posible aplicación del dispositivo.

Implemente el circuito de la figura V.27 para medir la ganancia de lazo abierto en un amplificador operacional.

- II.1.2.- Conecte la entrada del circuito a tierra y la salida al canal B de un osciloscopio de doble trazo.
- II.1.3.- Ajuste el potenciómetro P de tal forma que el voltaje de salida se aproxime lo más posible a cero volts.

- II.1.4.- Elimine la conexión de tierra de la entrada del circuito y aplique en ella una señal senoidal con una frecuencia baja (máxima de 10 Hz.). La amplitud de la señal de entrada debe ser de un valor tal, que en la salida se obtenga una señal de 10 Vpp.

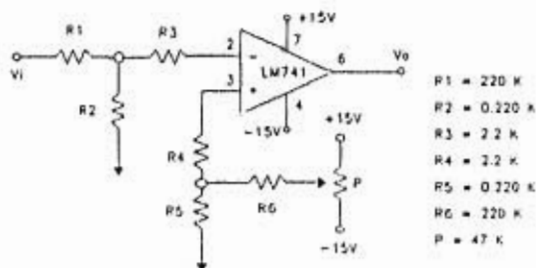


FIG. V.27 Circuito para medir la ganancia de lazo abierto

- II.1.5.- Realice los ajustes necesarios en el osciloscopio para medir la amplitud de las señales de entrada y salida. Si la señal de salida presenta pequeñas fluctuaciones, estas se pueden amortiguar colocando un capacitor de 0.01 μ F en paralelo con R5. Acote en papel milimétrico ambas señales.
- II.1.6.- Calcule la ganancia de lazo abierto aplicando la expresión siguiente:

$$A_{OL} = \frac{(R_1 + R_2) V_{CPP}}{R_2 V_{Ipp}}$$

II.2 Respuesta a la frecuencia

- II.2.1.- Un amplificador operacional ve modificada su ganancia conforme se incrementa la frecuencia de la señal de entrada. Para verificar esta característica de los amplificadores operacionales, implemente el circuito de la figura V.27 y repita los pasos II.1.2 y II.1.3.
- II.2.2.- Una vez que se a llevado a cabo el punto anterior, elimine la conexión a tierra de la entrada y aplique una señal senoidal con una amplitud de 20 mVpp y una frecuencia baja (preferentemente de 10 Hz). Realice las conexiones pertinentes para observar en un osciloscopio de doble trazo las señales de entrada y salida.

II.2.3.- Conservando la amplitud de la señal de entrada constante, incremente la frecuencia de la señal de entrada hasta 100 KHz.

Lleve a cabo los incrementos en la frecuencia de la señal de entrada de acuerdo a los siguientes rangos:

- Para frecuencias de entre 10 y 100 Hz, realice incrementos de 10 Hz.
- Para frecuencias de 100 y 1000 Hz, los incrementos deberán ser de 100 Hz
- Para frecuencias de entre 1 KHz y 10 KHz, los incrementos deberán ser de 2 KHz
- Para frecuencias de 10 KHz a 100 KHz los incrementos deberán ser de 10 KHz.

Realice una tabla en donde se anote la relación entre la amplitud de la señal de salida con respecto a cada incremento de la frecuencia en la señal de entrada.

II.2.4.- Dibuje en una hoja logarítmica la curva de respuesta (amplitud contra frecuencia) del amplificador en prueba.

II.3 Velocidad de respuesta SR, tiempo de elevación T_e , sobrenivel SO_v

II.3.1.- La velocidad de respuesta de un amplificador operacional está determinada por las capacitancias internas del mismo dispositivo, mismas que limitan la rapidez con la cual el voltaje de salida puede cambiar de un valor mínimo a un valor máximo por unidad de tiempo.

Para observar esta característica, implemente el circuito de la figura V.28. Conecte el canal A del osciloscopio a la entrada del circuito y el canal B a la salida del circuito.

II.3.2.- Aplique una señal cuadrada con una amplitud de 2 Vpp y una frecuencia de 100 Hz. Observe las señales de entrada y salida en el osciloscopio.

II.3.3.- Incremente la frecuencia de la señal de entrada hasta una frecuencia de 10 KHz. Observe las señales de entrada y salida en el osciloscopio. Acote las señales en papel milimétrico.

II.3.4.- Conservando la frecuencia de 10 KHz, incremente la amplitud de la señal de entrada hasta que la señal de salida alcance una amplitud de 15 Vp.

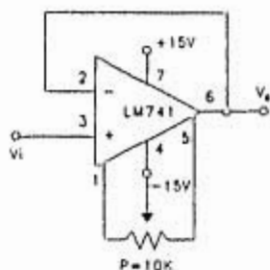


FIG. V.28 Circuito para medir la velocidad de respuesta, el tiempo de respuesta y el sobrenivel

- II.3.5.- Ajuste el osciloscopio de tal forma que en la pantalla del mismo se pueda observar un ciclo completo de las señales de entrada y salida, tal como se muestra en la figura V.29. Acote las señales observadas en papel milimétrico.

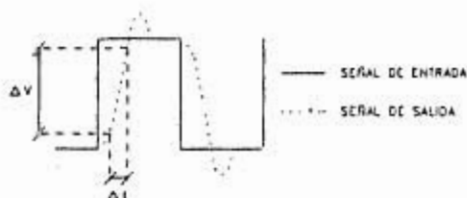


FIG. V.29 Señales de entrada y salida para determinar la velocidad de respuesta aplicando una señal cuadrada.

A partir de esta respuesta emplee la expresión siguiente para determinar la velocidad de respuesta.

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

- II.3.6.- Cambie la señal cuadrada por una senoidal de 2 Vpp de amplitud y una frecuencia de 100 Hz.

Incremente la amplitud de la señal de ontrada hasta que la salida alcance un valor de 15 Vp.

Incremente ahora la frecuencia de la señal de entrada hasta que la señal de salida se parezca a una señal triangular.

En la figura V.30 se muestran las señales de entrada y salida. Aplique la expresión del punto II.3.5 para obtener el valor de la velocidad de respuesta del amplificador. Acote las señales observadas en el osciloscopio en papel milimétrico.

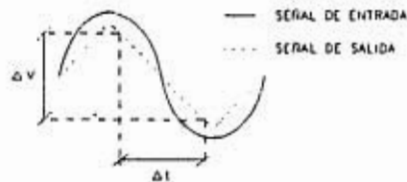


FIG. V.30 Señales de entrada y salida para determinar la velocidad de respuesta aplicando una señal senoidal

II.3.7.- Para medir el tiempo de elevación y sobrenivel aplique una señal cuadrada de 500 mVp a una frecuencia de 1 KHZ al circuito de la figura V.28. Observe las señales de entrada y salida en el osciloscopio.

II.3.8.- Ajuste el osciloscopio de tal forma que en la pantalla del mismo se pueda observar medio ciclo de las señales de entrada y salida, como se muestra en la figura V.31. Acote las señales observadas en papel milimétrico.

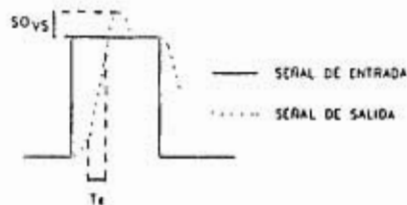


FIG. V.31 Señales de entrada y salida para medir el tiempo de elevación y sobrenivel

- II.3.9.- Si no puede medir el tiempo de elevación y el sobrenivel empleando el circuito de la figura V.28; implemente el circuito de la figura V.32 y realice los puntos II.3.7 y II.3.8.

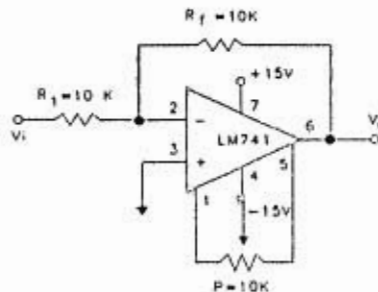


FIG. V.32 Circuito alterno para medir el tiempo de elevación y sobrenivel

II.4 Razón de rechazo en modo común RRMC

- II.4.1.- La razón de rechazo en modo común es una indicación del grado de equilibrio de las etapas diferenciales del amplificador. Para medir este grado de equilibrio, implemente el circuito de la figura V.33. Conecte el canal A del osciloscopio a la entrada del circuito y el canal B a la salida.
- II.4.2.- Conecte la entrada del circuito de la figura V.33 a tierra y ajuste el potenciómetro P para compensar el voltaje de offset de entrada y de esta forma lograr que en la salida del circuito se presente un voltaje lo más próximo a cero.
- II.4.3.- Elimine la conexión a tierra de la entrada y aplique una señal senoidal con una amplitud de 20 Vpp y una frecuencia de 10 Hz.
- II.4.4.- Observe en el osciloscopio las señales de entrada y salida, mida el voltaje en ambos puntos. Acote ambas señales en papel milimétrico y obtenga la razón de rechazo en modo común empleando la expresión siguiente:

$$RRMC = (1 + R_f/R_1) (V_i/V_o)$$

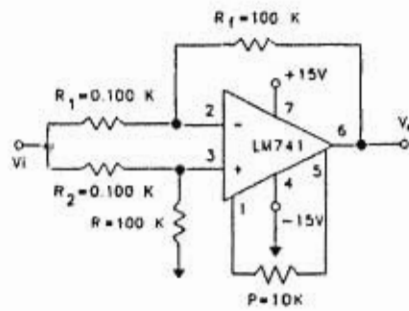


FIG. V.33 Circuito para medir la razón de rechazo en modo común

DESARROLLO PRACTICO

PARTE II

FILTROS ACTIVOS

OBJETIVO

Analizar el comportamiento de los filtros activos para determinar las características básicas y distintivas de los mismos, con ello se desea comprender la importancia que tiene el emplear al amplificador operacional junto con redes resistivo-capacitivas para separar ciertas señales útiles de otras indeseables.

INTRODUCCION

El diseño de un filtro activo consiste en la implementación de circuitos en los cuales se optimicen los valores de la función de transferencia que describe el comportamiento del filtro en cuestión. Esto sólo se cumple cuando se realiza una selección adecuada del tipo de filtro ha implementar.

Así también, se puede establecer en principio que una misma estructura, pero con el dimensionamiento correcto de los elementos resistivos y capacitivos, pueden implementarse los distintos tipos de filtros para un orden definido. Este dimensionamiento se lleva a cabo en base a las características de amplitud de los distintos tipos de filtros para el orden dado.

Frecuentemente, los tipos de filtros se describen por medio de una aproximación matemática, siendo estos los que presentan respuesta Butterworth, Chebyshev y Thomsom.

Además es importante que en el diseño de un filtro, indiferentemente del tipo de filtro y estructura del mismo, se empleen componentes resistivo-capacitivos con tolerancia pequeña, para garantizar con ello su funcionalidad. También es importante definir que el amplificador operacional a utilizar debe contar básicamente con dos características importantes; estas son: una alta ganancia de lazo abierto y una resistencia de entrada muy grande, logrando con esto que el filtro sólo dependa de los componentes externos.

Por lo anterior, el procedimiento que se propone tiene como finalidad la de obtener experimentalmente las características esenciales que describen el comportamiento de los filtros activos, y de ésta forma establecer las ventajas y desventajas de los mismos.

DESARROLLO

- 1.- Conecte el equipo de prueba como se muestra en la figura V.34. Esta tiene como finalidad la de permitir observar la respuesta del filtro y, con ello determinar sus características cuando se le excita con una señal senoidal de amplitud constante y frecuencia variable. De esta forma se puede optimizar el funcionamiento del filtro antes de utilizarlo en algún circuito electrónico, garantizando de esta manera su funcionamiento dentro del sistema del cual formará parte. Para los puntos del 2 al 9 no conecte el generador de barrido ni el analizador de espectros.

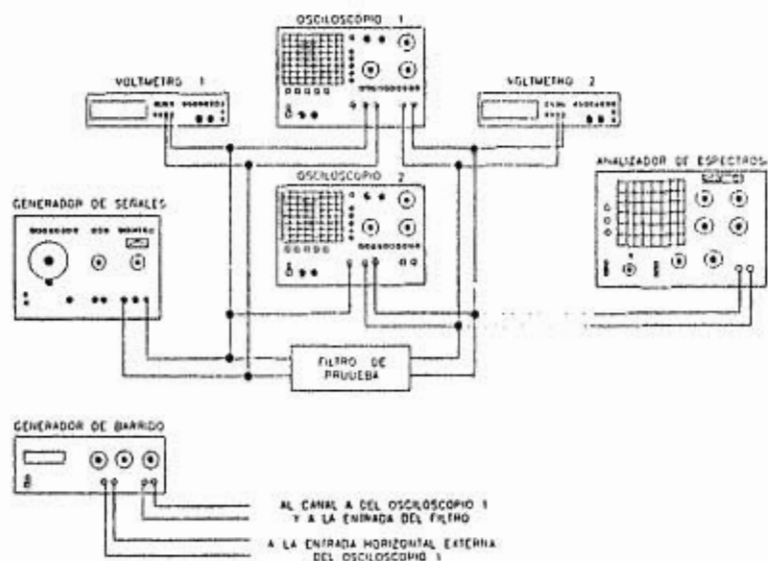


FIG. V.34 Conexión del equipo para medir las características de los filtros activos

Es importante que se realice la corrección de las características reales del amplificador que se desea utilizar para con ello obtener una buena precisión en la lectura de las características del filtro a prueba.

El tipo de filtro y respuesta del mismo deberá ser definido previamente para que se determine el valor de sus componentes.

- 2.- Aplique una señal senoidal de 4 volts pico de amplitud y frecuencia de 100 Hz con el generador de funciones. Opere los controles del osciloscopio "1" (Volt/Div. y Tiempo/Div.), de tal forma que se puedan observar adecuadamente las señales de entrada y salida del filtro en la pantalla del osciloscopio.
- 3.- Varíe la frecuencia de la señal de entrada con incrementos de 100 Hz y realice las mediciones correspondientes indicadas en la tabla V.5 y V.6 para cada incremento. No varíe la amplitud de la señal de entrada.
- 4.- Con las lecturas de las tablas V.5 y V.6 obtenga la ganancia y el defasamiento entre las señales de entrada y salida del filtro de prueba para cada incremento.

Para obtener el defasamiento entre las señales de entrada y salida emplee las expresiones dadas en la figura V.35.

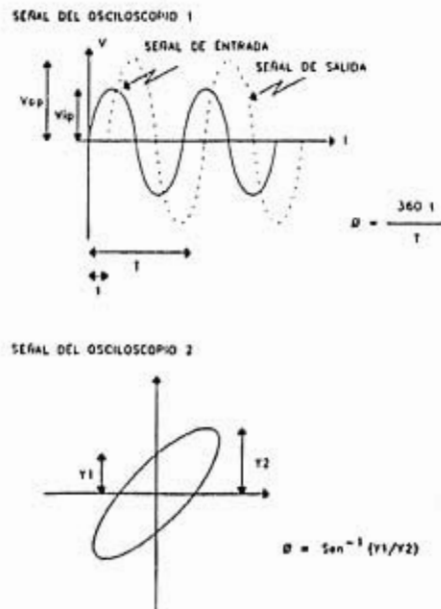


FIG. V.35 Señales para obtener el defasamiento en los filtros activos

- 5.- Con los resultados de la tabla V.5 y V.6 obtenga los gráficos correspondientes de amplitud contra frecuencia y fase contra frecuencia en papel semilogarítmico.

Indique en cada gráfico las características del filtro; tales como: frecuencia de corte, frecuencia de rechazo, banda de paso, banda de transición, tipo de respuesta y amplitud máxima.

- 6.- Aplique una señal cuadrada o triangular con las mismas características de la señal senoidal y repita los puntos 3 al 5.
- 7.- El amplificador operacional LM741 se polariza con dos fuentes simétricas. Siga los puntos 2 al 5 cuando el LM741 sólo se alimenta con una fuente, es decir, si uno de los pines de polarización es conectado a tierra o no se conecta.
- 8.- La elección del amplificador operacional es parte fundamental en la implementación de un filtro activo, para verificar como afecta la respuesta de un filtro activo cuando se emplean diferentes amplificadores cambie el LM741 por el μ A709, A109, LM1458 ó el LM324 entre otros, y siga los puntos 2 al 6.
- 9.- Si el filtro de prueba es un pasobanda o supresor de banda, observe que sucede con las señales en los osciloscopios si en lugar de colocar la resistencia de retroalimentación se produce:
- a) un cortocircuito,
 - b) un circuito abierto.

Para los puntos siguientes desconecte el generador de señales y conecte la salida de voltaje del generador de barrido al canal A del osciloscopio "1" y la salida de frecuencia analógica a la entrada horizontal externa del osciloscopio "1". Además, conecte la salida del filtro a la entrada del analizador de espectros. No desconecte el equipo restante mostrado en la figura V.34.

- 10.- Con el analizador de espectros en modo de barrido manual, posicione la perilla de Hz/div en 5 KHz/div. Para ello gire en sentido antihorario el vernier manual a su posición mínima. Ajuste ambos canales del osciloscopio "2" a la misma amplitud y oprima el botón correspondiente para trabajar con los ejes X-Y en el osciloscopio "2". Centre las señales observadas en las pantallas de los osciloscopios para realizar las mediciones pertinentes.
- 12.- Ajuste los controles de Volts/div y Time/div del osciloscopio "1" para observar las señales de entrada y salida del filtro.

- 13.- Realice incrementos de 100 Hz con el analizador de espectros y obtenga las mediciones pertinentes indicadas en la tabla V.6 para cada incremento.
- 14.- Con los datos de la tabla V.6 calcule el defasamiento entre las señales de entrada y salida y la ganancia del filtro para cada incremento.
- 15.- Grafique en papel semilogarítmico la ganancia contra frecuencia y fase contra frecuencia del filtro de prueba con los resultados de la tabla V.6
- 16.- Considerando los puntos 8, 9 y 10 repita los puntos 13, 14 y 15.

TABLA V.5

FRECUENCIA (Hz)	OSCILOSCOPIO 1					
	V _{ip} (V)	V _{op} (V)	A = V _{op} /V _{ip}	f (s)	t (s)	Δ (o)
100						
200						
300						
400						
500						
600						
700						
800						
900						
1000						
1100						
1200						
1300						
1400						
1500						
1600						
1700						
1800						
1900						
2000						
2100						
2200						
2300						
2400						
2500						
2600						
2700						
2800						
2900						
3000						
3100						
3200						
3300						
3400						
3500						
3600						
3700						
3800						
3900						
4000						

TABLA V.6

FRECUENCIA (Hz)	VOLTIMETROS			OSCILOSCOPIO 2		
	V1 (V)	V2 (V)	A = V2/V1	Y1	Y2	ϕ (°)
100						
200						
300						
400						
500						
600						
700						
800						
900						
1000						
1100						
1200						
1300						
1400						
1500						
1600						
1700						
1800						
1900						
2000						
2100						
2200						
2300						
2400						
2500						
2600						
2700						
2800						
2900						
3000						
3100						
3200						
3300						
3400						
3500						
3600						
3700						
3800						
3900						
4000						

CAPITULO VI

CONVERTIDORES A/D Y D/A CON APLICACIONES

VI.- CONVERTIDORES A/D Y D/A CON APLICACIONES

VI.1 Introducción

En todas las aplicaciones electrónicas, el manejo de las diferentes variables físicas debe realizarse de forma adecuada para procesarlas correctamente, sin embargo, esto requiere de circuitos capaces de convertir estas variables en señales eléctricas ya sea de voltaje o corriente para ser procesadas en los circuitos o sistemas electrónicos. En general, toda fuente primaria de información de cualquier sistema son señales analógicas o continuas; señales que varían en un conjunto de valores dentro de un rango determinado.

No obstante, cuando se procesa toda una serie de variables físicas en circuitos o sistemas electrónicos se presentan dificultades en el tratamiento de las mismas; para controlarlas es necesario contar con los medios electrónicos adecuados para su proceso.

Afortunadamente, la circuitería electrónica se ha normalizado en determinados tipos de arquitecturas donde es posible procesar todo tipo de señales y variables, respetando claro, las características de éstas.

Para procesar e interpretar adecuadamente los fenómenos físicos deben llevarse a cabo los pasos siguientes:

- Convertir las señales o variables físicas en señales analógicas o continuas de voltaje o corriente.
- Convertir las señales analógicas en señales discretas.
- Procesar las señales digitales en un circuito digital.
- Convertir los resultados en señales analógicas.

Esta sucesión de pasos se muestran en la figura VI.1.

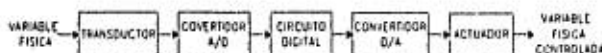


FIG. VI.1 Diagrama a bloques del procesamiento de variables físicas

Como se observa en la figura VI.1, para trabajar con variables físicas en un circuito o sistema electrónico es necesario contar con diferentes bloques o subsistemas que realizan una operación determinada, dichos subsistemas son denominados interfases o circuitos de entrada-salida; dentro de los cuales encontramos los convertidores analógicos-digitales (ADC) y los convertidores digitales-analógicos (DAC).

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

VI.2 Convertidor digital-analógico (DAC)

VI.2.1 Definición

El DAC es un dispositivo electrónico que proporciona en su salida un voltaje o corriente proporcional al código binario de entrada; donde la conversión de la información binaria a una señal analógica se realiza mediante la correspondencia entre las 2^n combinaciones binarias de entrada.

La figura VI.2 muestra la configuración básica del DAC misma que esta conformada por una red de voltaje de referencia, otra de conmutación y por un amplificador operacional.

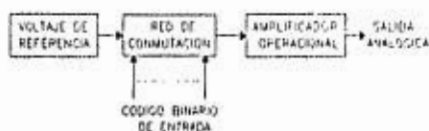


FIG. VI.2 Configuración básica de un DAC

Un DAC se clasifica de acuerdo a la forma en que se aplica el código de entrada; éste puede ser en serie o en paralelo. Un DAC de entrada serie es aquel donde el código binario de entrada se aplica a través de un solo canal de forma secuencial. En cambio, en un DAC en paralelo el código binario se aplica simultáneamente en las entradas del mismo.

VI.2.2 Funcionamiento del convertidor D/A comercial

El funcionamiento del DAC consiste en realizar la conversión de un código binario a su correspondiente valor analógico, ya sea de voltaje o corriente. La figura VI.3 muestra el diagrama a bloques de un DAC de tres bits. Las entradas son: D_0 , D_1 y D_2 mismas que generan ocho combinaciones posibles; la salida se denota por V_o . Para describir el funcionamiento del DAC se utiliza la expresión siguiente, misma que relaciona el voltaje de salida con respecto al código binario de entrada.

$$V_o = Kn$$

donde

- V_o : voltaje de salida
- K : factor de proporcionalidad de valor constante para cada DAC.
- n : código binario de entrada.

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

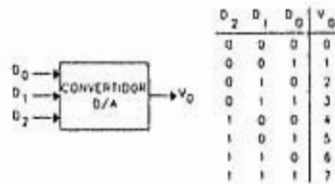


FIG. VI.3 DAC de tres bits con tabla de conversión

La función de transferencia del convertidor de la figura VI.3 se muestra en la figura VI.4.

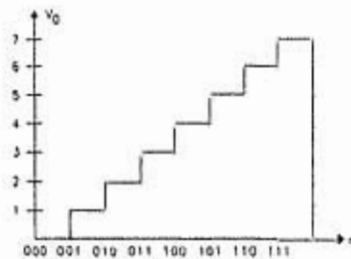


FIG. VI.4 Función de transferencia de un DAC de tres bits

Sin embargo, la salida de un DAC no es estrictamente una señal analógica, dado que para cada combinación del código de entrada se obtiene un valor específico de salida y éste solo se verá modificado cuando el código de entrada cambie. No obstante, para lograr que la señal de salida se aproxime a una señal analógica debe incrementarse el número de bits del código de entrada, reduciendo con ello el factor de proporcionalidad de conversión, mismo que se reduce empleando la expresión siguiente:

$$K = \frac{V_{\text{MAX}}}{n}$$

donde

n : es el número binario

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

VI.2.3 Líneas en un DAC comercial

Los DAC's comerciales cuentan con diferentes líneas de señales; cada una de ellas llevan a cabo una función específica. Estas líneas de señales se clasifican de la siguiente manera:

Líneas de polarización. Líneas por donde se aplica la energía que requiere el dispositivo para que funcione correctamente; el nivel de polarización de un DAC comercial normalmente esta en función del rango de voltaje que se desea en la salida del mismo; sin embargo, por ningún motivo deberá sobrepasar los límites máximos y mínimos especificados por el fabricante del dispositivo. Estas líneas están denotadas generalmente por V_{CC} , V_{EE} y GND.

Líneas de entrada. Líneas empleadas para aplicar la información de entrada, normalmente son de dos tipos: líneas de entrada de información y líneas de entrada de referencia; en las primeras se aplica la información binaria a convertir, están denotadas normalmente como: D_0 , D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 , D_6 y D_7 , (para el caso de un DAC de 8 bits). Sin embargo, el número de líneas de entrada de información puede ser de 8, 12 o 16 bits. Las líneas de referencia se emplean para aplicar el voltaje de referencia que se requiere durante el proceso de conversión, mismas que se especifican como: $+V_{ref}$ y $-V_{ref}$.

Línea de salida. Unica línea de salida que existe en los DAC's comerciales, esta puede ser de voltaje o corriente, y se denota por V_O o I_O .

Los DAC's comerciales tienen otras líneas de señales que dependen del dispositivo en particular. En la figura VI.5 se ilustra el diagrama a bloques de un DAC en el que se involucran las líneas de señales anteriormente descritas.

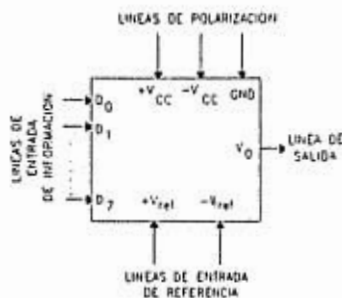


FIG. VI.5 Diagrama a bloques de un DAC

VI.2.4 Parámetros de los convertidores D/A comerciales

La selección de un DAC depende de las características propias de cada dispositivo así como de los parámetros que a continuación se describen.

Resolución. Es el incremento mínimo en la salida de un DAC cuando se realiza un cambio en el código de entrada. La resolución se obtiene al dividir la máxima variación de la salida y el número total de combinaciones posibles de entrada.

$$R = \frac{V_{\text{máx}}}{2^n}$$

donde

V_0 : es el voltaje máximo de salida, también denominado como valor a fondo de escala (FS).

n : es el número de bits que conforman el código de entrada.

Este parámetro se encuentra siempre en la hoja de datos del fabricante, y se especifica como número de bits. En la figura VI.6 se ilustra este parámetro.

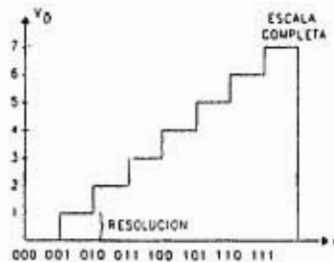


FIG. VI.6 Concepto de resolución en un DAC

Tiempo de establecimiento. Es el tiempo requerido por la salida del convertidor para alcanzar un valor estable después de que se produce un cambio en los datos de entrada dentro de una fracción igual al valor correspondiente a $\pm \frac{1}{2}$ del bit menos significativo. Este tiempo se debe al amplificador operacional, a las resistencias y a los conmutadores.

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

Frecuencia de conversión. Es el máximo de conversiones realizadas por unidad de tiempo.

Linealidad. Desviación máxima de la salida con respecto a una línea recta trazada entre los puntos extremos de la función de transferencia. La máxima desviación entre la linealidad ideal y los niveles de voltaje reales debe ser aproximadamente de $\pm \frac{1}{2}$ de un escalón perfecto. Esto se muestra en la figura VI.7.

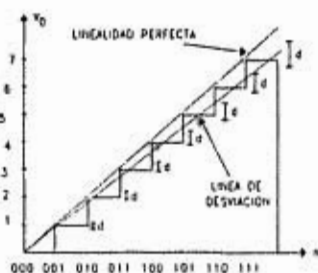


FIG. VI.7 Concepto de linealidad de un DAC

Voltaje de offset. Voltaje generado en las salidas de un convertidor cuando la señal de entrada es cero provocando que el voltaje de salida se vea modificado para cada combinación de entrada. Esto se muestra en la figura VI.8

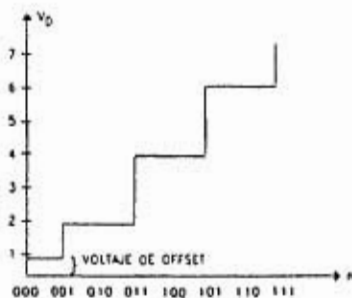


FIG. VI.8 Representación del voltaje de offset de un DAC

Monotonocidad. Es la variación constante de la salida con respecto a cada incremento de la señal de la entrada, es decir, la salida es una función del valor de la entrada.

Sensibilidad a la temperatura. Es la variación de alguno de los parámetros del convertidor debido a un cambio en la temperatura, esto se debe principalmente a que las fuentes de voltaje y las resistencias que se conectan al convertidor son sensibles a aquella.

Unipolaridad y bipolaridad. Es una característica del convertidor que nos indica la polaridad de la señal de salida. Un convertidor D/A es unipolar cuando proporciona un voltaje entre 0 y +V, o entre -v y 0; en cambio es bipolar cuando la salida varía desde -V hasta +V.

A los parámetros de voltaje de offset, linealidad y monotonocidad comúnmente se les denomina errores de conversión y se deben principalmente a las características propias de los DAC's.

VI.2.5 Configuraciones básicas de los DAC's

La configuración de un DAC nos define la organización interna del dispositivo, es decir, se refiere a los elementos que lo conforman internamente. Las configuraciones más comunes en los DAC's comerciales son:

- convertidor de resistencias en escalera R-2R y
- convertidores con red de resistencias ponderadas.

VI.2.6 Aplicaciones de los DAC's

Los DAC's pueden emplearse para cualquier aplicación; sin embargo, actualmente encuentran mayor utilización como circuitos de interfase que se acoplan a la PC o a sistemas digitales especializados (sistemas basados en el microprocesador), esto con la finalidad de controlar con mayor confiabilidad diferentes variables analógicas, tales como: la velocidad de un motor de DC, la temperatura de un horno, para operar equipos industriales, manipular robots, etc.

En un sistema basado en el microprocesador el DAC se conecta directamente al puerto de entrada/salida; esto permitirá que cada palabra que el microprocesador envíe al puerto sea convertida en un voltaje analógico. En la figura VI.9 se muestran las conexiones necesarias para acoplar un DAC al puerto de entrada/salida de un sistema mínimo.

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

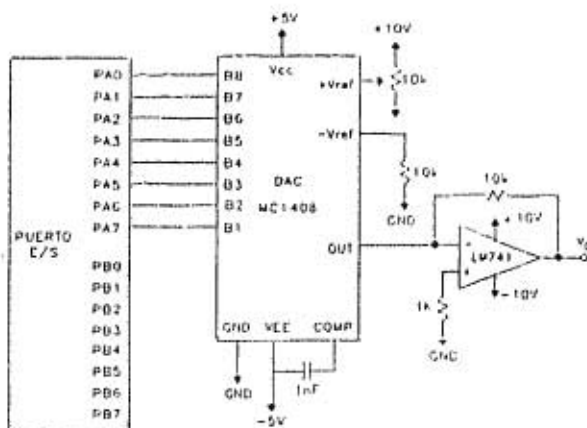


FIG. VI.9 Conexión del DAC MC1408 al puerto de entrada-salida de un sistema mínimo

La PC genera las señales (mediante programas que se desarrollan dependiendo de la aplicación) que necesita el DAC para proporcionar el voltaje que requieren los dispositivos eléctricos o mecánicos que se desean conectar a la misma; la conexión entre ambos se realiza a través de una tarjeta que se denomina interfase, misma que se acopla a uno de los slots disponibles en la tarjeta principal de la computadora (los slots son ranuras que permiten ampliar las capacidades de la PC).

Una forma sencilla de implementar una interfase para PC se muestra en la figura VI.10; esta se divide en dos bloques. El primer bloque se denomina puerto de salida, formado por un circuito de control (circuito combinacional con decodificadores 7442), el cual proporciona la señal de habilitación que permite que la información presente en el bus de datos se transfiera a la salida del puerto; el puerto de salida es propiamente un flip-flop, su función es mantener la información que se desea sacar de la PC; dicha información permanecerá ahí en tanto no se envíe un nuevo dato al puerto. Las señales que deben aparecer en el bus de direcciones, bus de control, y la información en el bus de datos, respectivamente, es la siguiente:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL		BUS DE DATOS							
A9	AB	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEN	IO/M	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

El segundo bloque lo constituye el convertidor digital-analógico, donde su salida es un voltaje proporcional al código binario aplicado en sus entradas; esta relación se expresa matemáticamente como:

$$V_o = \frac{R_f}{R_1} (V_{ref}) (B_1/2 + B_2/4 + B_3/8 + B_4/16 + B_5/32 + B_6/64 + B_7/128 + B_8/256)$$

Para diseñar una interfase de este tipo es importante que se verifique en el manual de la PC el mapa de entrada-salida para no ocupar direcciones que se han destinado a otros puertos; de igual forma es necesario conocer la distribución y nombre de cada una de las señales en los slots de la PC, para distribuir adecuadamente las pistas en la tarjeta.

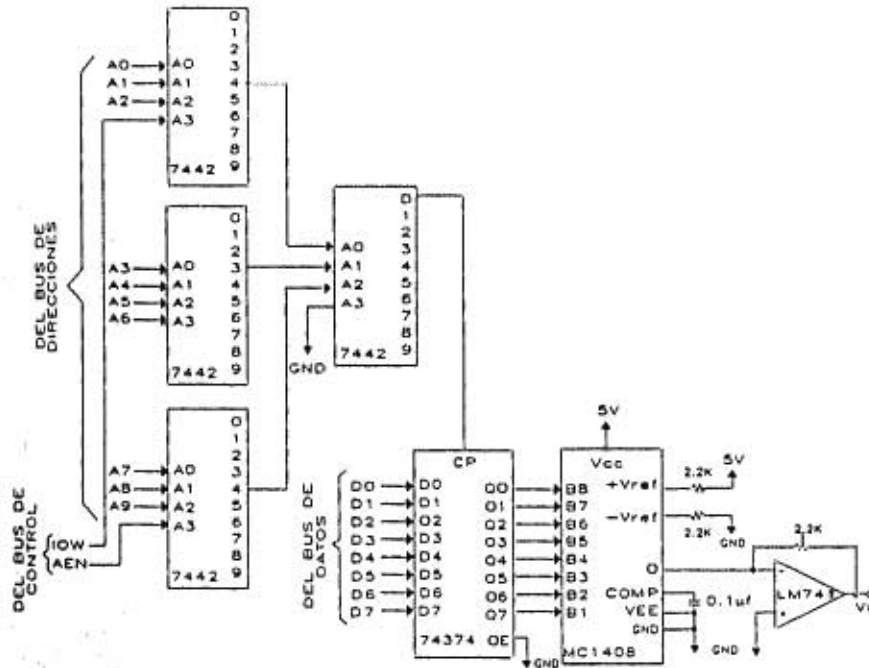


FIG. VI.10 Interfase de entrada con el MC1408 para una PC

VI.3 Convertidor analógico-digital (ADC)

VI.3.1 Definición

Un ADC es un dispositivo electrónico al que se le aplica una señal analógica de voltaje con polaridad positiva, negativa o ambas transformándola en un código binario mediante la comparación con un voltaje de referencia. La representación binaria que se obtiene de los ADC's es indispensable en la mayoría de los sistemas electrónicos actuales. La figura VI.11 proporciona el diagrama a bloques básico de un convertidor A/D.

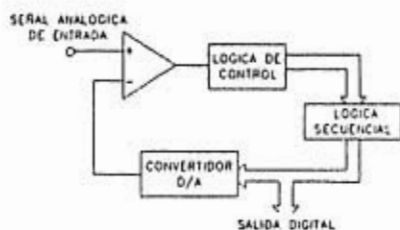


FIG. VI.11 Diagrama a bloques básico de un ADC

Los ADC's realizan dos procesos básicos en la conversión de una señal analógica a una señal digital; el primero de ellos se refiere a la asignación de rangos de valores discretos que representen una señal analógica a lo que se le denomina cuantificación; en cambio el segundo llamado codificación; se refiere a la asignación de un código binario a cada rango de valores discretos que representan la señal analógica.

VI.3.2 Funcionamiento de un convertidor A/D comercial

La figura VI.12 muestra el diagrama lógico de un ADC de tres bits con la tabla correspondiente de conversión. El funcionamiento de un ADC en términos generales puede describirse a través de los puntos siguientes:

- Requiere de una señal de inicio de conversión que se aplica a una unidad de control. Normalmente en un ADC comercial esta señal debe introducirse por medio de un interruptor.
- Requiere de una señal de reloj que modifica la información de la unidad de almacenamiento. En un ADC comercial esto se logra ya sea conectando al pin de entrada de reloj un circuito RC, o bien, aplicando un generador de pulsos.

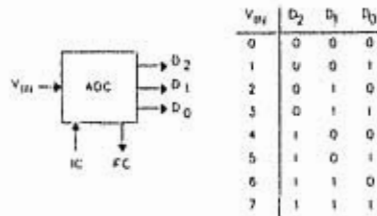


FIG. VI.12 ADC de tres bits con tabla de conversión

- Una vez que inicia el proceso de conversión la información de la unidad de almacenamiento se convierte a una señal analógica por medio de un DAC.
- La señal de salida del DAC se aplica a un amplificador operacional para compararse con la señal de entrada.
- Cuando la señal de salida del comparador es igual a cero, la función de conversión finaliza y las salidas digitales representan la señal analógica.

El funcionamiento del ADC se describe a través de la expresión matemática siguiente, misma que relaciona al código binario de salida con respecto a la señal analógica de entrada.

$$n = KV_i$$

donde

V_i : voltaje de entrada.

n : código binario de salida.

K : factor de proporcionalidad de conversión.

De la ecuación anterior se tiene que la función de transferencia del convertidor de la figura VI.12 es la mostrada en la figura VI.13.

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

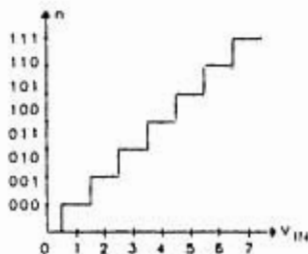


FIG. VI.13 Función de transferencia de un ADC de tres bits

VI.3.3 Señales en un ADC comercial

Los ADC's cuentan con diferentes líneas que tienen una función específica. Estas pueden agruparse como sigue:

Líneas de polarización. Por ellas se suministrar la energía requerida por el ADC; el nivel de polarización de un ADC comercial está en función del rango de voltaje que se desea en la salida del mismo; pero debe tenerse presente que por ningún motivo se debe sobrepasar los niveles indicados por el fabricante. Estas líneas se denotan como: $+V_{cc}$; $-V_{cc}$ y GND.

Líneas de entrada. Líneas por donde se aplica la señal analógica a convertir, éstas se denota por: $+V_{IN}$ y $-V_{IN}$. También es factible que en los ADC's comerciales dispongan de un número determinado de líneas de entradas analógicas (generalmente 8), mismas que se denotan como: IA0, IA1, IA2, IA3, IA4, IA5, IA6 e IA7; para seleccionar cualquiera de éstas se cuenta con tres líneas que se denominan de selección y se denotan por: A, B y C.

Línea de habilitación. Entrada con la que se habilita al convertidor; el nivel lógico que debe aplicarse en esta línea depende del convertidor en particular. Esta se denota como: CS o ALE.

Líneas de salida. Líneas por donde se obtiene el resultado de la conversión; estas líneas se denotan normalmente por O_0 , O_1 , O_2 , O_3 , O_4 , O_5 , O_6 y O_7 .

Línea de inicio de conversión. Entrada que se emplea para indicar al convertidor que puede iniciar el proceso de conversión; normalmente se debe activar una vez que se ha aplicado el nivel lógico correspondiente en la línea de habilitación. Esta se denota por START, WR o ICONV.

Línea de fin de conversión. Línea de salida por la cual, el convertidor indica que ha terminado con el proceso de conversión y por tanto en las líneas de salida se encuentra disponible el resultado de la conversión. Esta línea se denota por EOC, INTR o FC.

Línea de lectura (RD). Línea que se emplea para activar las salidas del convertidor; normalmente debe permanecer activa. Cuando no se aplica el nivel lógico correspondiente las salidas adoptan el estado de alta impedancia.

Líneas de reloj. Estas permite la habilitación del reloj interno del convertidor, para ello se debe de incorporar un generador de pulsos de reloj o un circuito RC. Dependiendo del convertidor se pueden tener una o dos entradas de reloj; éstas se denotan como: CLKIN y CLKR (si son dos entradas) o CLK (si es sólo una)

Línea de voltaje de referencia. Líneas que se utilizan para adecuar al convertidor a cualquier rango de voltaje de la señal de entrada. En los ADC,s comerciales es factible encontrar dos de estas líneas, mismas que se denotan como: $+V_{ref}$ y $-V_{ref}$; pero también es factible encontrar solo una línea y que se denota como $V^{ref}/2$.

En la figura VI.14 se muestra el diagrama de un convertidor A/D con las líneas más comunes.

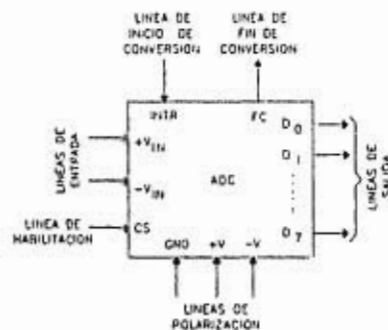


FIG. VI.14 Líneas de un ADC

VI.3.4 Parámetros de los convertidores A/D comerciales

De la misma manera que sucede en los DAC's, la selección de los ADC's depende de las características propias de cada dispositivo y de los parámetros que a continuación se describen.

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

Resolución. Incremento o decremento mínimo del voltaje de entrada para modificar la salida en un bit, ésta se obtiene utilizando la expresión siguiente:

$$R = \frac{V_{ndr}}{2^n}$$

donde

V_0 : voltaje máximo de salida, también denominado como valor a fondo de escala (FS).
 n : número de bits de salida.

Tiempo de conversión. Tiempo requerido para llevar a cabo el proceso de conversión, desde que se proporciona el pulso de inicio de conversión hasta que presenta el resultado binario correspondiente en las salidas del convertidor.

Frecuencia de conversión. Máximo de conversiones realizadas por unidad de tiempo.

No linealidad. Desviación máxima de la salida real del circuito con respecto a una línea recta trazada entre los puntos extremos de la función de transferencia (figura VI.15), y se puede expresarse como:

$$d = \frac{V_d}{V_{FS}}$$

donde

V_d : máxima desviación en el peor de los casos.
 V_{FS} : voltaje máximo de salida o escala máxima.

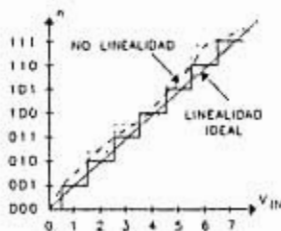


FIG. VI.15 Concepto de linealidad en un ADC

Monotonocidad. Es la variación constante de la salida con respecto a la entrada, es decir, la regularidad en la variación de la señal de salida con respecto a incrementos en la señal de entrada.

No linealidad diferencial. Es la diferencia del escalón real de salida con respecto al escalón ideal, es decir, la diferencia generada entre el código binario de salida con respecto al correspondiente código ideal. Esto se muestra en la figura VI.16.

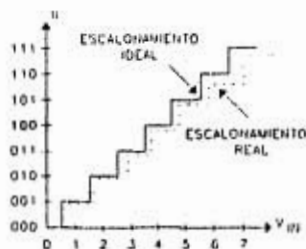


FIG. VI.16 Representación de la no linealidad diferencial

Voltaje de offset. Es el voltaje que se presenta en la salida de un convertidor cuando la señal de entrada es cero, provocando que el voltaje de salida se vea modificado para cada valor del voltaje de entrada. Esto se muestra en la figura VI.17.

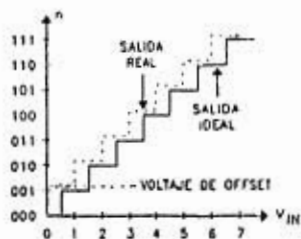


FIG. VI.17 Representación del voltaje de offset en un ADC

Sensibilidad a la temperatura. Variación en la respuesta del convertidor por incrementos en la temperatura, esto se debe principalmente a que las fuentes de voltaje y las resistencias son sensibles a la temperatura.

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

VI.3.5 Configuraciones básicas de los ADC's

En los ADC's existen diferentes métodos de conversión que varían en complejidad y velocidad; entre ellos están:

- método flash;
- método de aproximaciones sucesivas; y,
- método de rampa simple.

VI.3.6 Aplicaciones de los ADC's

Las aplicaciones de los ADC's en la actualidad han generado una verdadera revolución en la obtención, transmisión, procesamiento y evaluación de variables físicas; tales como: presión, flujo, temperatura y velocidad. Estas se transforman en señales de voltaje o corriente y son convertidas en una representación binaria para ser procesadas por algún sistema digital.

El ADC0804 es un convertidor de aproximaciones sucesivas de 8 bits compatible con las tecnologías TTL y CMOS, lo que permite se pueda conectar con gran variedad de microprocesadores de 8 bits. Para conectar este convertidor a un sistema mínimo es importante que la unidad de entrada/salida del sistema cuente con tres puertos, de esta forma dos de ellos se habilitan como puertos de entrada y uno como de salida. En la figura VI.18 se muestran las conexiones necesarias para acoplar el ADC0804 a un sistema mínimo.

Otro convertidor que con frecuencia se utiliza para formar parte de una tarjeta denominada interfase es el ADC0808, misma que se conecta a uno de los slots disponibles en la PC; a través de dicha interfase se puede introducir datos a la computadora para ser procesada con rapidez y confiabilidad. En la figura VI.19 se muestran una interfase con el ADC0808 para introducir información a la PC, ésta se divide entres tres bloques:

Circuito de control

Es un circuito combinacional que se implementa con decodificadores 7442 para responder a condiciones específicas y de esta forma generar las señales de habilitación requeridas por los puertos de entrada y salida.

Puertos de entrada y salida

El puerto de salida (se ha empleado el circuito 74374 que es un flip-flop D) se utiliza para aplicar las señales de habilitación (ALE) e inicio de conversión (ICONV) que requiere el ADC0808 para llevar a cabo la conversión. La secuencia de las señales que debe presentarse en el bus de direcciones, bus de control y bus de datos es la siguiente:

Para habilitar al ADC0808:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL			BUS DE DATOS							
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEH	IOH	IOH	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Para indicar que debe prepararse el inicio de conversión:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL			BUS DE DATOS							
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEH	IOH	IOH	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1

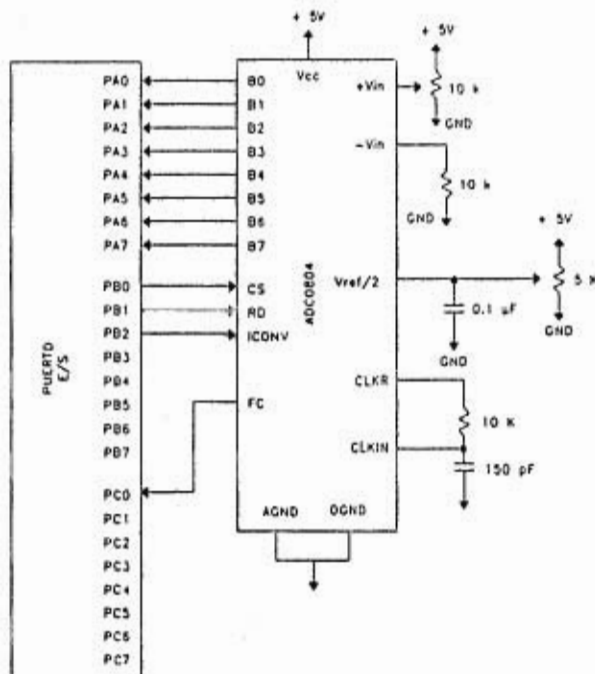


FIG. VI.18 ADC0804 conectado al puerto de entrada salida de un sistema mínimo

Para iniciar la conversión se debe aplicar:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL			BUS DE DATOS							
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEH	IOH	IOR	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

El puerto de entrada A es un buffer de tres estados, se utiliza para sensar la señal de fin de conversión que genera el ADC0808 cuando éste ha terminado el proceso de conversión. Para leer este puerto, las señales correspondientes del bus de direcciones, del bus de control y la información que se presenta en el bus de datos es:

Durante el proceso de conversión, es decir, antes de terminar la misma:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL			BUS DE DATOS							
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEN	IOH	IOR	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0

Al finalizar el proceso de conversión:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL			BUS DE DATOS							
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEN	IOH	IOR	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

El puerto de entrada B se utiliza para leer el dato presente en las salidas del convertidor cuando ha finalizado la conversión. Las señales que deben aparecer en el bus de direcciones, bus de control, y la información en el bus de datos, respectivamente, es la siguiente:

BUS DE DIRECCIONES										BUS DE CONTROL			BUS DE DATOS							
A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEN	IOH	IOR	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

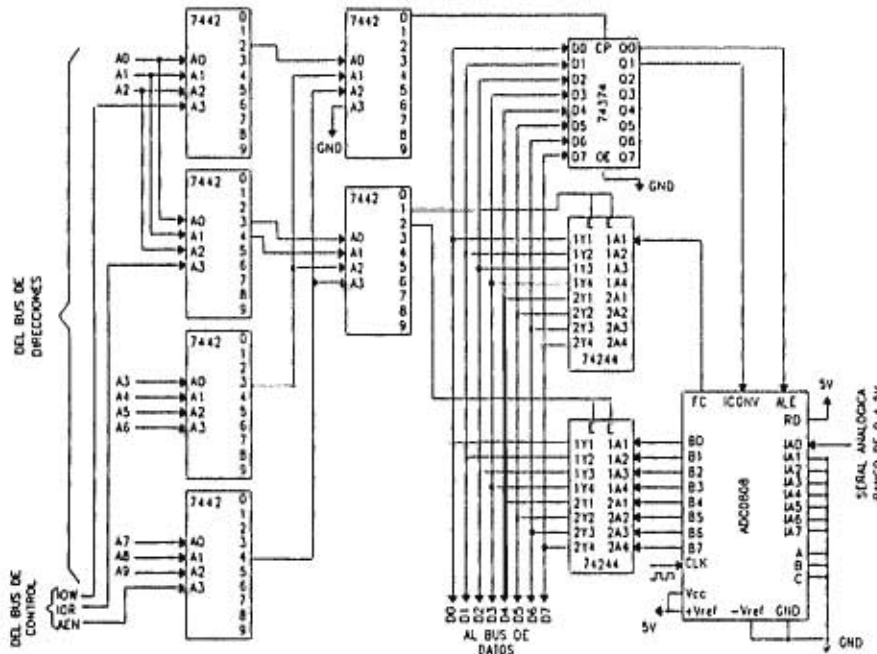


FIG. VI.19 Interfase de salida con el ADC0808 para PC

VI.4 La hoja de datos de los DAC's y ADC's comerciales

Existen diferentes formatos para proporcionar la información necesaria de los DAC's y ADC's, los cuales presentan características particulares dependiendo del fabricante; sin embargo, hablar de cada uno de estos formatos resultaría muy tedioso e impráctico, debido a que los fabricantes proporcionan la información de sus dispositivos de acuerdo a sus propios criterios.

Dividiendo a un formato en secciones tenemos que; en la primera sección se encuentra una descripción general del funcionamiento del dispositivo, las características máximas de operación, así como las condiciones necesarias de funcionamiento del dispositivo. Además se proporciona el diagrama a bloques y esquemático del convertidor.

En una segunda sección se proporcionan las características eléctricas del dispositivo; indicando en las mismas los parámetros y condiciones de prueba del dispositivo. Y por último, en una tercera sección se proporcionan las características de funcionamiento típicas del dispositivo, así como algunos circuitos de prueba y posibles aplicaciones.

VI.5 Fallas en los DAC's y ADC's

Como sucede en los demás dispositivos electrónicos, los DAC's y ADC's son susceptibles a presentar algún tipo de falla; éstas son de orden técnico y físico.

Fallas de orden técnico

Este tipo de fallas son las más frecuentes, se deben principalmente al uso incorrecto del mismo, es decir, son todas aquellas fallas generadas externamente y que se presentan al momento de conectar al dispositivo; donde el único responsable es el usuario. Las fallas más comunes son:

- cortocircuitos entre pines;
- falta de energía o polarización inadecuada;
- entradas flotantes;
- elementos externos de valor incorrecto conectados al mismo;
- uso incorrecto de los parámetros del convertidor;
- interpretación incorrecta de las características del convertidor; y,
- operación incorrecta generada por factores ambientales, tales como: temperatura, corrosión, etc.

Para prevenir y en su caso corregir estas fallas se requiere usar correctamente al dispositivo, para ello se requiere de respetar las especificaciones que proporciona el fabricante en las hojas de datos. Así también, es importante protegerlos contra factores externos a través de blindajes adecuados.

Fallas de orden físico

Estas fallas son aquellas que se relacionan con la construcción de los DAC's y ADC's; es decir, son debidas a defectos internos. Estas fallas no pueden corregirse, por lo que se hace necesario cambiar al dispositivo. Las fallas físicas que se presentan en los convertidores D/A y A/D son las siguientes:

- cortocircuito interno de los pines de entrada o de salida, este puede ser a GND, a V_{CC} o entre pines;
- circuito abierto de las líneas de entrada, de salida, de referencia o polarización;

Convertidores A/D y D/A con Aplicaciones

- error de offset generado por el envejecimiento del dispositivo; y,
- alteración del valor de algún elemento interno de los DAC's y ADC's generado por el envejecimiento del mismo, aunque en algunos casos son causados por la temperatura.

VI.6 Métodos de corrección de fallas en los DAC's y ADC's

Se han indicado las posibles fallas que pueden presentarse en los DAC's y ADC's, siendo de orden técnico o físico, donde las primeras son debidas a errores humanos y las segundas a defectos de fabricación. Sin embargo, para detectar el tipo de falla pueden emplearse dos métodos que determinan si es posible corregirla o no. Estos métodos son:

- a) método fijo,
- b) método de incremento.

Método fijo

Este método, en los DAC's, consiste en mantener un código binario de entrada y medir el valor correspondiente de salida, el cual debe corresponder al esperado o al menos este dentro del rango permitido. En cambio, en los ADC's, se debe aplicar una señal continua de valor determinado y verificar el código binario de salida correspondiente a dicha entrada.

Método de incremento

En los DAC's se determina el incremento de la salida con respecto a una combinación de entrada, donde el incremento de cada escalón de salida debe ser en base a la resolución especificada o determinada por el usuario. Por el contrario en los ADC's se verifica que se presenten las combinaciones binarias con respecto a un incremento en la señal de entrada. Este método nos proporcionará el tipo de falla, es decir nos indicará si esta es interna o externa, y así establecer la corrección de la misma, si es posible.

DESARROLLO PRACTICO

PARTE I

CONVERTIDORES DIGITALES-ANALOGICOS

OBJETIVO

Comprender el proceso de conversión de una señal digital a una señal analógica por medio de los circuitos que llevan a cabo dicho proceso. Además de obtener y analizar los parámetros básicos de los convertidores digitales-analógicos; tales como:

- resolución;
- fondo de escala (escala completa);
- monotonocidad; y,
- linealidad.

INTRODUCCION

El convertidor digital-analógico tiene como función transformar una señal digital de n bits en una variable analógica, ya sea de voltaje o corriente. Esta transformación se realiza por dos métodos; estos son: la red de resistencias ponderadas y la red en escalera R-2R.

La red de resistencias ponderadas se muestra en la figura VI.20. Este método consiste en generar una corriente total, misma que es la suma de las corrientes que fluyen a través de cada resistencia que forman la red de entrada, donde el valor de estas corrientes está dado por V_{ref}/R_i . La corriente total se aplica a un amplificador operacional cuya salida es un voltaje, y cuya expresión es la siguiente:

$$V_o = -V_{ref} \cdot R_f (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4)$$

En términos de una palabra digital, el voltaje de salida del convertidor es:

$$V_o = -V_{ref} (B_1/2 + B_2/4 + B_3/8 + B_4/16)$$

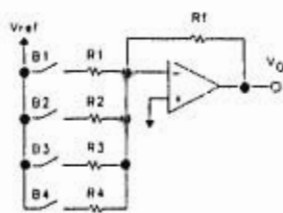


FIG. VI.20 Convertidor de resistencias ponderadas

Una forma más simple y directa de transformar una señal digital a una señal analógica se obtiene al emplear el método de red en escalera R-2R; ésta se muestra en la figura VI.21. La característica principal de la red consiste en que la resistencia que se observa desde cada uno de los nodos de la red es igual en cualquier dirección, y con ello la corriente que suministra la fuente de referencia a través de una resistencia 2R, cuando el interruptor correspondiente se encuentra cerrado, se divide en el nodo asociado en dos partes iguales, y conforme se adentra a la red se sigue dividiendo a la mitad.

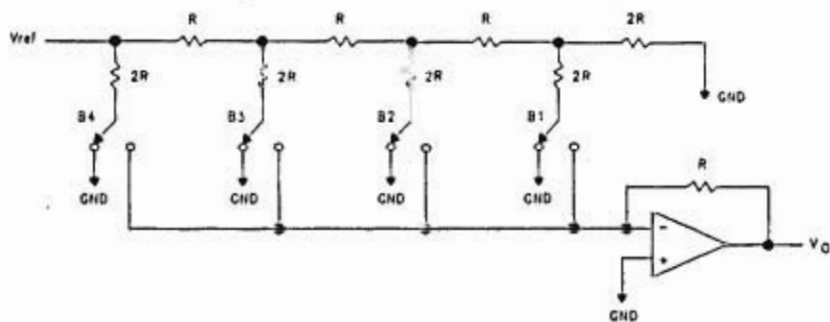


FIG. VI.21 Convertidor de red en escalera R-2R

Si se calcula la resistencia equivalente de la red, ésta es de valor R y por consiguiente la corriente que suministra la fuente de referencia es:

$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R_{eq}}$$

Esta corriente es la que se divide en cada nodo de la red y por tanto la corriente total que se obtiene en el punto de suma es:

$$I = I_{ref}(B4/2 + B3/4 + B2/8 + B1/16)$$

Resultando que el voltaje de salida del convertidor es:

$$V_o = -IR_f$$

Los DAC's comerciales incorporan en su configuración interna elementos activos, así como la red R-2R y un conjunto de interruptores electrónicos. El control de cada interruptor se realiza, por lo general, a través de los bits de entrada, de esta forma se logra que cada interruptor aplique un voltaje o una corriente a la red y así obtener en la salida del convertidor la variable analógica; esta es normalmente una corriente, por lo que es necesario conectar un circuito apropiado para obtener un voltaje de salida, por ejemplo un amplificador operacional.

Para verificar los métodos de conversión de información binaria a su correspondiente valor analógico se implementan la red de resistencias ponderadas, la red en escalera R-2R y un DAC comercial, y de esta forma determinar de forma práctica los principales parámetros de los convertidores digitales-analógicos.

DESARROLLO

- 1.- Implemente el circuito de la figura VI.22; éste corresponde a un convertidor digital-analógico básico que emplea el método de resistencias ponderadas. Circuito que nos permite verificar la conversión de una señal digital a una señal analógica y de esta manera entender la importancia que tiene dicho proceso en el área de la electrónica.
- 2.- Mida el voltaje de salida (V_o) para cada combinación binaria indicada en la tabla VI.1. Un interruptor cerrado indica un nivel lógico alto.

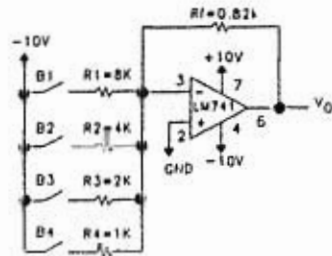


FIG. VI.22 Circuito de prueba del DAC de resistencias ponderadas

TABLA VI.1

B4	B3	B2	B1	V _o (V)
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

3.- Con los valores de la tabla VI.1:

- Grafique en papel milimétrico la función de transferencia del convertidor (voltaje de salida con respecto al código binario de entrada).
- Determine el voltaje de salida máximo del convertidor.
- Determine la resolución del convertidor, para ello utilice la expresión siguiente:

$$R = \frac{V_{\text{máx}}}{2^n}$$

n es el número de bits de la señal binaria.

- Verifique la monotonocidad del convertidor a partir de la función de transferencia.
- Determine la máxima desviación de la salida del convertidor con respecto a la respuesta ideal del mismo.

4.- El circuito de la figura VI.23 es un convertidor digital-analógico que emplea el método de red en escalera R-2R. Este método se diseña con sólo resistencias de dos valores, lo que permite obtener mayor confiabilidad en la conversión de una señal digital a una señal analógica. Para observar su funcionamiento implemente el circuito. Polarice al amplificador operacional con ± 10 V.

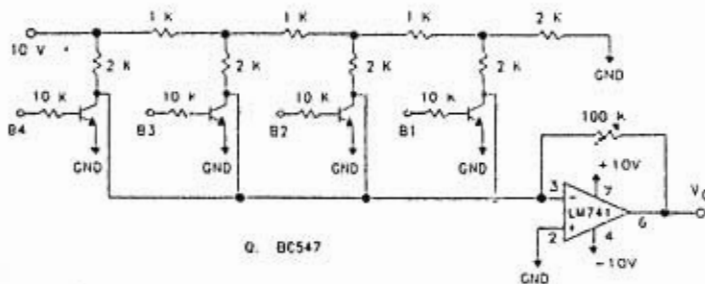


FIG. VI.23 Circuito de prueba del DAC de red en escalera R-2R

- 5.- Ajuste el potenciómetro de 100 K de tal forma que en la salida se obtenga el máximo voltaje de salida, cuando en las entradas digitales están en cero volts.
- 6.- Mida el voltaje de salida V_o para cada combinación de entrada y llene la tabla VI.2. Con los valores obtenidos repita el punto 3 del procedimiento.

TABLA VI.2

B4	B3	B2	B1	V_o (V)
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

Pruebas de un DAC comercial

El DAC MC1408 es un convertidor que internamente cuenta con una red en escalera R-2R conectada y ocho interruptores de alta velocidad, así como con un amplificador operacional de corriente de referencia. Su salida es de corriente por lo que debe conectarse un sistema apropiado, como por ejemplo un amplificador operacional, para obtener una salida de voltaje.

El voltaje de salida del DAC esta dado por la expresión siguiente:

$$V_o = \frac{V_{ref} R_f}{R_1} [B_1/2 + B_2/4 + B_3/8 + B_4/16 + B_5/32 + B_6/64 + B_7/128 + B_8/256]$$

donde:

$B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$ y B_8 toman el valor "0" ó "1"

El voltaje de salida de un DAC también puede expresarse de la siguiente forma:

$$V_o = \frac{V_{ref}}{2^n} (n)$$

donde:

n : es el número binario.

Esta expresión es útil cuando se desea conocer el número binario que debe aplicarse al convertidor para un voltaje de salida determinado.

- 7.- Para verificar el funcionamiento del DAC MC1408 implemente el circuito de la figura VI.24.

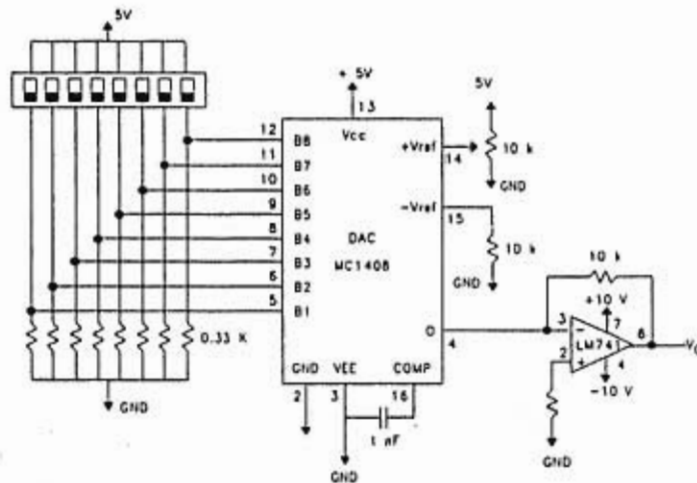


FIG. VI.24 Circuito de prueba del DAC MC1408

- 8.- Mida el voltaje de salida para cada combinación de entrada y anote el valor correspondiente en la tabla VI.3.
- 9.- A partir de los datos obtenidos del punto anterior, repita el punto tres del procedimiento.

TABLA VI.3

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	V _o (V)
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	0	0	0	1	0	1	
0	0	0	0	0	1	1	0	
0	0	0	0	0	1	1	1	
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	0	0	1	0	0	1	
0	0	0	0	1	0	1	0	
0	0	0	0	1	0	1	1	
0	0	0	0	1	1	0	0	
0	0	0	0	1	1	0	1	
0	0	0	0	1	1	1	0	
0	0	0	0	1	1	1	1	
0	0	0	1	0	0	0	0	
0	0	1	0	0	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	1	1	1	

- 10.- Implemente un contador de ocho bits empleando dos 74LS93 y conecte sus salidas a las entradas del convertidor MC1408. Observe en un osciloscopio de doble trazo la señal de salida del amplificador operacional y acótelea en papel milimétrico.

El reloj del contador debe ser una señal cuadrada de 5 Vpp a una frecuencia de 2 KHz.

DESARROLLO PRACTICO

PARTE II

CONVERTIDORES ANALOGICOS-DIGITALES

OBJETIVO

Comprender la importancia del proceso de conversión analógica-digital, para emplearlo correctamente en el diseño de circuitos electrónicos.

INTRODUCCION

Se dispone de diferentes métodos para convertir una señal analógica a una señal binaria. Estos métodos tratan de conseguir que no exista una separación entre la velocidad y precisión en la conversión.

Un método sencillo para realizar la conversión de una variable analógica a una señal binaria es el denominado tipo flash o de ráfaga (en ocasiones también se le da el nombre de tipo paralelo). Esta técnica utiliza una red de resistencias en serie, misma que forma un divisor de voltaje múltiple, la cual se aplica a un banco de comparadores de nivel que se encuentran en paralelo lo que permite generar 2^n voltajes de entrada analógico fijos. Las salidas de los comparadores se aplican a una red lógica combinacional y de esta forma obtener la señal digital. Este tipo de convertidor se muestra en la figura VI.25.

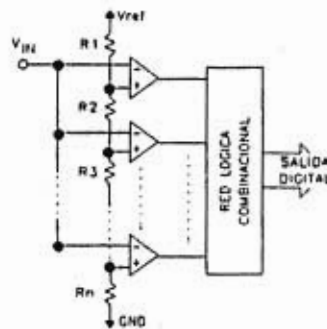


FIG. VI.25 ADC tipo flash

Otro método de conversión analógico-digital más confiable, rápido, con una precisión aceptable y alta resolución es el denominado de aproximaciones sucesivas; éste basa su operación en una serie de comparaciones de forma ascendente o descendente, hasta el momento en que se encuentra una combinación que manifiesta la igualdad de la señal de entrada y la señal del DAC. En la figura VI.26 se muestra el diagrama a bloques del convertidor de aproximaciones sucesivas.

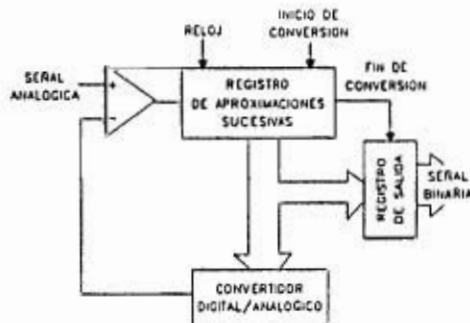


FIG. VI.26 ADC de aproximaciones sucesivas

Para iniciar la conversión se debe aplicar un pulso que ponga en cero las salidas del registro de aproximaciones sucesivas (RAS); cuando se aplica la señal analógica y se presenta el primer pulso de reloj, el bit de salida más significativo del RAS se pone en uno y los demás bits en cero. La salida del RAS se aplica a un DAC para que éste la transforme a una señal analógica y con ello se compare con la señal de entrada.

Si la señal de entrada es mayor a la del DAC, la salida del comparador se pone en uno y el bit de salida más significativo del RAS conserva su nivel y pasa al bit siguiente colocándolo en uno. En cambio, si la señal de entrada es menor a la del DAC, la salida del comparador estará en cero y con ello se pone un cero en el bit más significativo y en el siguiente bit significativo se coloca a un nivel alto. Este proceso se repite hasta el momento en que se analiza el bit de salida menos significativo del RAS, instante en el que se genera una señal de fin de conversión, misma que se aplica al registro de salida y así se presenta en sus salidas el resultado de la conversión. En la figura VI.27 se presenta la secuencia que se sigue en el proceso de conversión de una señal analógica a una señal digital.

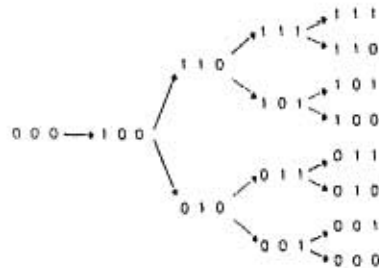


FIG. VI.27 Etapas de conversión en un ADC de aproximaciones sucesivas de tres bits

Los convertidores A/D en circuito integrado disponen internamente de elementos pasivos y activos, así como de bloques lógicos que se encuentran interconectados de tal manera que cumplan con la función de transformar una señal analógica a una señal digital. Por lo general, en estos dispositivos el método de conversión más empleado es el de aproximaciones sucesivas; pero es factible que se disponga de otros métodos; tales como: el de rampa simple y doble rampa.

Para verificar los métodos de conversión de una variable analógica a su correspondiente valor binario se implementan un convertidor tipo flash, un convertidor por contador y dos ADC's comerciales.

DESARROLLO

- 1.- El convertidor tipo flash es el de más fácil comprensión, para verificar su operación implemente el circuito de la figura VI.28.

El funcionamiento del circuito consiste en comparar una señal analógica de entrada con un voltaje de referencia, el cual se aplica a través de una red de resistencias a un grupo de comparadores; estos realizan n comparaciones simultáneas, y el resultado de las mismas se aplica a un codificador y que en sus salidas proporciona el número binario correspondiente a la conversión realizada.

- 2.- Ajuste la fuente variable a cero volts y observe la información que se presenta en las salidas del codificador.

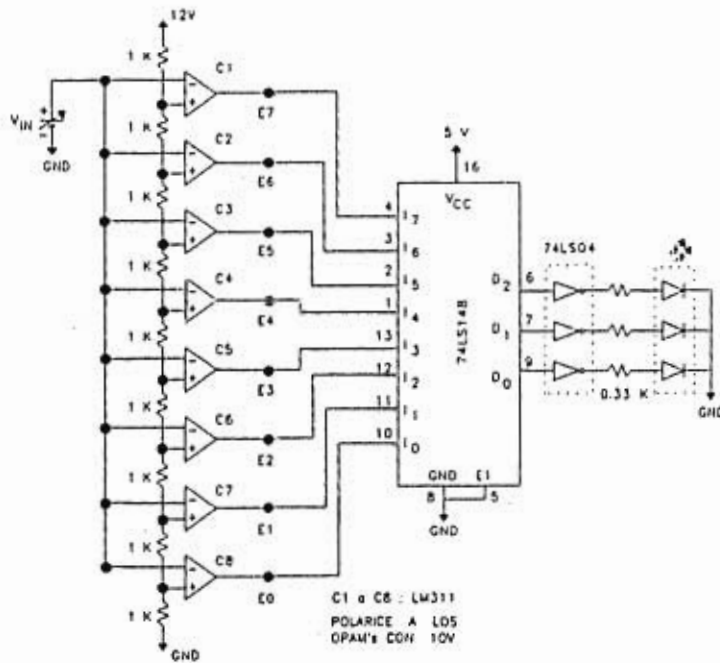


FIG. VI.28 Circuito de prueba del convertidor tipo flash

- 3.- Incremente el voltaje de entrada lentamente, observe en las salidas del codificador la combinación binaria que se van adoptando conforme aumenta el voltaje de entrada. Anote en la tabla VI.4 el voltaje de entrada para cada combinación binaria de salida y el nivel en cada salida del comparador.
- 4.- Con los datos de la tabla VI.4, grafique en papel milimétrico la función de transferencia del circuito. Determine la resolución del convertidor y verifique la monotonocidad del mismo.
- 5.- Desconecte la fuente y el voltmetro del circuito y en su lugar conecte un generador de funciones para aplicar una señal senoidal con una amplitud de 5 Vpp y una frecuencia de 5 Hz, observe las salidas del codificador y explique.

TABLA VI.4

A ₃	A ₂	A ₁	V _{IN}	E ₀	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇
0	0	0									
0	0	1									
0	1	0									
0	1	1									
1	0	0									
1	0	1									
1	1	0									
1	1	1									

- 6.- Implemente el circuito de la figura VI.29. Este es un convertidor A/D que hace uso de un contador, donde las salidas de éste último se conectan a un DAC, el cual se encargará de convertir la información binaria de sus entradas en una señal analógica, misma que se compara con la señal de entrada. El comparador proporciona un nivel alto mientras la señal de entrada sea mayor a la del DAC, permitiendo con ello que a través del operador AND se aplique el pulso de reloj que requiere el contador para incrementar el estado de sus salidas en uno. En el momento en que las señales de entrada y la del DAC sean iguales, la salida del comparador es cero lo que permite inhibir el pulso de reloj y por tanto la información presente en las salidas del contador es la combinación binaria correspondiente a la señal analógica de entrada.
- 7.- Como pulso de reloj aplique una señal cuadrada de 12 Vpp a una frecuencia de 5 Hz o menor. Esto tiene como finalidad observar de forma adecuada los cambios que se presentan en las salidas del contador conforme se realiza la conversión de una variable analógica a una señal binaria
- 8.- Ajuste el potenciómetro P1 a su valor máximo y oprima el push-button (PB) para colocar las salidas del contador en cero, manteniéndolo así hasta que se indique lo contrario.
- 9.- Lleve el potenciómetro P1 a su valor medio y aplique un voltaje de entrada. Ajuste el potenciómetro P2 para hacer fluir a través de éste una corriente de 2 mA. Suelte el push button y observe el momento en que el operador AND bloquee el pulso de reloj, instante en que las señales de entrada y la del DAC son iguales; verifique que las salidas del contador no varíen.

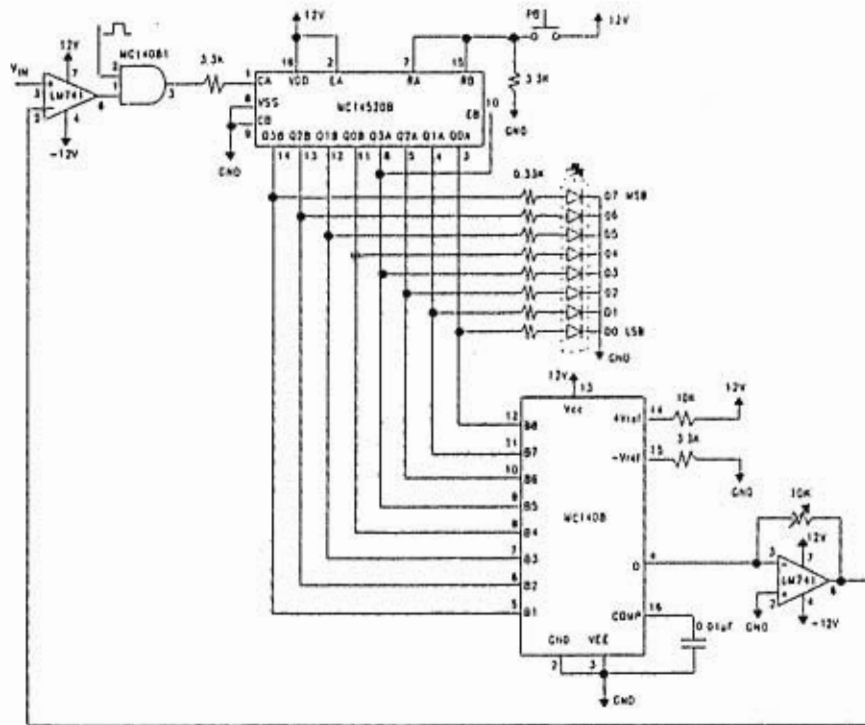


FIG. VI.29 Circuito de prueba de un ADC por contador

- 10.- Oprima el push button para colocar las salidas del contador en cero y varíe la fuente para que proporcione cero volts; suelte el push button y observe el momento en que el operador AND inhibe el pulso de reloj, instante en el cual las salidas del contador mostraran la información binaria correspondiente al voltaje aplicado como entrada. Anote en la tabla VI.5 dicha información. Repita este punto para cada uno de los voltajes indicados en la tabla.
- 11.- Con los datos de la tabla VI.5:
- Grafique en papel milimétrico la función de transferencia del convertidor.

- b) Determine su resolución.
 c) Verifique la monotonocidad del convertidor.

TABLA VI.5

V _{IN}	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Pruebas de un ADC comercial

Convertidor ADC0804

El ADC0804 es un convertidor analógico-digital de 8 bits que cuenta con salidas triestado; se polariza con +5 volts y convierte voltajes analógicos a digitales entre 0 y 5 volts. Su velocidad de conversión es muy alta (alrededor de 100 μ s), y es compatible con las tecnologías TTL y CMOS, lo que permite se pueda conectar a diversos circuitos integrados de las mismas tecnologías. El método de conversión que emplea es el denominado de aproximaciones sucesivas por lo que su resolución es alta, misma que se obtiene al aplicar la expresión siguiente:

$$R = \frac{V_{\text{máx}}}{2^n}$$

donde

n es el número de bits de salida del convertidor.

- 12.- Para observar el funcionamiento del ADC0804, implemente el circuito de la figura VI.30.

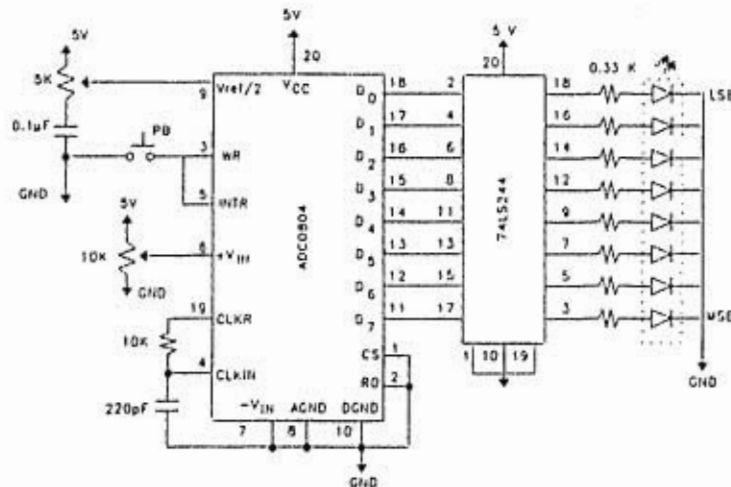


FIG. VI.30 Circuito de prueba del convertidor ADC0804

Para iniciar el proceso de conversión aplique un pulso momentáneo en la entrada WR con el PB. Una vez que se ha dado el pulso de inicio de conversión el ADC0804 realiza la conversión del voltaje que se aplica a través de la línea +V_{IN}; cuando termina este proceso, en las salidas del convertidor se presenta la información binaria correspondiente al voltaje aplicado en las entradas y en la línea de salida INTR se presenta un pulso negativo, mismo que actúa como reloj, el cual se aplica a la entrada WR para dar inicio a otro ciclo de conversión. El ciclo de conversión da inicio cuando la entrada WR pasa de 0 a 1

- 13.- Lleve el potenciómetro P1 a su valor mínimo. Posteriormente oprima el push button (PB) para aplicar el pulso de inicio de conversión; suelte el PB y observe en las salidas del ADC0804 la información binaria correspondiente. Mida el voltaje de entrada correspondiente para dicha combinación binaria de salida.

- 14.- Ajuste el potenciómetro de tal manera que obtenga cada una de las combinaciones binarias de salida que se indican en la tabla VI.6. Para ello será necesario que pulse el PB cada vez que realice un ajuste en el potenciómetro, de esta manera se dará inicio al ciclo de conversión. Mida el voltaje aplicado en la entrada para cada combinación binaria de salida que obtenga y anote dicha lectura en la tabla VI.6. Con los datos obtenidos repita el punto 11 del procedimiento.

TABLA VI.6

B_7	B_6	B_5	B_4	B_3	B_2	B_1	B_0	V_{IN}
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	0	
0	0	1	0	0	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	

- 15.- Desconecte el potenciómetro P1 del circuito y conecte en su lugar un generador de funciones para aplicar una señal senoidal con una amplitud de 5 Vpp y una frecuencia de 1 Hz y observe las salidas del convertidor; explique.

Convertidor ADC0808

El ADC0808 es un convertidor A/D cuyo funcionamiento es similar al convertidor ADC0804; su diferencia radica en que el primero cuenta con ocho entradas analógicas, mismas que son habilitadas a través de tres líneas de selección denotadas por A0, A1 y A2. Para el experimento las líneas de selección se conectan a GND, con lo cual se habilita la "entrada 0"; en dicha entrada se conecta una fuente variable, la cual se ajusta para proporcionar un voltaje de 0 a 5 volts. Con este rango la polarización se fija $-V_{ref}$ a cero volts y a $+V_{ref}$ a cinco volts.

La relación que permite determinar el incremento de voltaje que habrá de aplicarse en la entrada 0 del ADC0808 para tener un incremento de 1 en la salida binaria es:

Rango de voltage2⁰ - 1

El funcionamiento del convertidor es: la entrada ALE se usa para habilitar el circuito, por tanto, cada vez que sea necesario realizar alguna operación con el convertidor deberá ser puesta a 1 lógico. Para realizar una conversión deberá de hacerse que la entrada ICONV (inicio de conversión) pase a 1 lógico y regrese posteriormente a 0 lógico. La lectura será válida en el ADC0808 cuando la salida FC (fin de conversión) pase a un 1 lógico.

- 16.- Para verificar el funcionamiento del ADC0808 implemente el circuito de la figura VI.31. Aplique un pulso de reloj a una frecuencia de 300KHz para que el convertidor funcione correctamente, y siga las operaciones siguientes:
- a) Ajuste la fuente variable a cero volts.
 - b) Oprima el push button (PB) para habilitar al ADC0808 y aplicar al mismo tiempo el pulso de inicio de conversión.
 - c) Libere el push button (PB) y espere hasta que el led que se localiza en la salida FC se encienda. Cuando esto suceda la información presente en las salidas del ADC0808 será la combinación binaria correspondiente al voltaje aplicada en la entrada 0 del convertidor.
 - d) Si no enciende el led de la salida FC repita los incisos c) y d).
 - e) Repita los incisos b) a d) para diferentes voltajes de entrada y elabore una tabla con los resultados que obtenga.

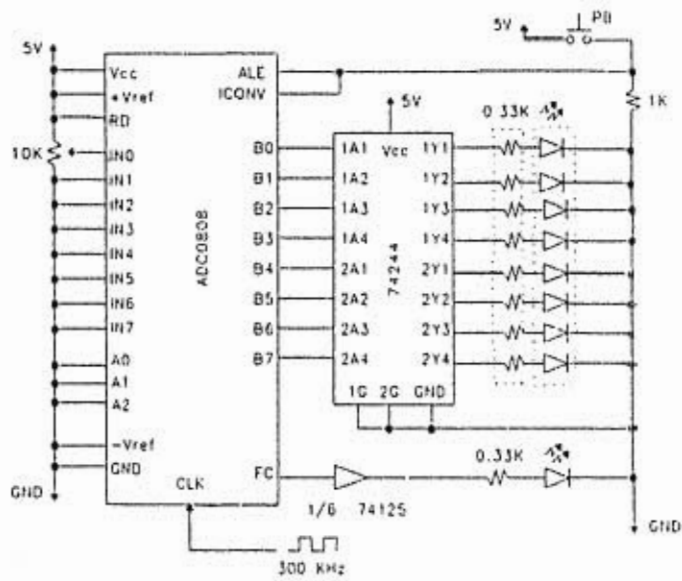


FIG. VI.31 Circuito de prueba del convertidor ADC0808

CAPITULO VII

MALLAS DE FASE ENCADENADA (PLL)

VII.- MALLAS DE FASE ENCADENADA (PLL)

VII.1 Introducción

Hemos mencionado ya, los vertiginosos avances en el campo electrónico; como sabemos, se fabrican circuitos que realizan funciones muy sencillas hasta aquellos que son capaces de llevar a cabo un gran número de operaciones en unos cuantos minutos. Dentro de esta diversidad de dispositivos se encuentra el denominado Circuito de Malla de Fase Encadenada mejor conocido como PLL (Phase-Locked Loop), mismo que se utiliza con frecuencia en el área de las comunicaciones. Así también, se ha incorporado de forma extraordinaria en gran cantidad de aparatos domésticos.

Por las ventajas que ofrecen los PLL's varias compañías se han enfocado a fabricar PLL's en circuitos integrados, lo que permite utilizarlos ampliamente en diferentes aplicaciones con sólo agregarles unos cuantos elementos externos.

VII.2 Operación del PLL

El PLL se ha utilizado desde 1922; su diagrama a bloques básico se muestra en la figura VII.1.

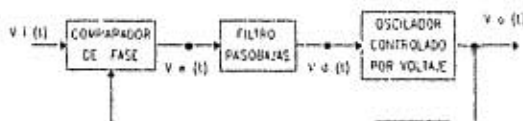


FIG. VII.1 Diagrama a bloques de un PLL básico

El principio de operación de este dispositivo es relativamente sencillo, se basa en la comparación de la frecuencia de dos señales para generar un voltaje que será proporcional a la diferencia entre las frecuencias de las señales a las entradas. Si no se aplica señal de entrada al PLL, el VCO oscila a una frecuencia específica denominada frecuencia central. Esto se debe a que la frecuencia de la señal de salida del oscilador está determinada en primera instancia por un circuito RC que se conecta externamente al PLL.

Cuando se aplica una señal de entrada al PLL, ésta y la señal generada por el VCO son comparadas a través de un comparador de fase, en cuya salida se obtiene un voltaje (V_e) que es proporcional a la diferencia de fase de las dos señales de entrada al comparador. Este voltaje se aplica a un filtro pasobajas y el voltaje resultante es nuevamente aplicado al VCO, lo que permite obtener en la salida del oscilador una señal con una nueva frecuencia, de modo que la diferencia de frecuencias entre la señal de entrada y la del VCO empieza a disminuir. Si la frecuencia de la señal de entrada es suficientemente cercana a la frecuencia central del PLL, la frecuencia de la señal del oscilador sigue a la frecuencia de la señal de entrada lo que permite que ambas se enganchen, provocando que el voltaje de salida del comparador sea igual a cero.

Si por alguna razón la frecuencia de la señal de entrada al PLL cambia, el circuito de realimentación del PLL se encarga de mantener de forma automática la frecuencia del oscilador en sincronía con la frecuencia de la señal externa. Esto sólo es posible si la frecuencia de la señal externa se encuentra dentro de un margen determinado.

Por tanto, un PLL puede operarse de tres formas distintas:

Régimen de oscilación libre

En este no se aplica señal externa al PLL, por lo que el comparador de fase no realiza ninguna función, teniendo como resultado la oscilación del VCO a una frecuencia constante. Esto se muestra en la figura VII.2.

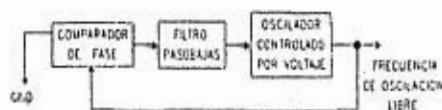


FIG. VII.2 PLL en régimen de oscilación libre

Régimen de captura

Cuando se aplica una señal de entrada al PLL cuya frecuencia (f_e) difiere de la frecuencia de oscilación libre (f_o) del VCO, da como resultado que el PLL entre en la denominación de proceso de captura; esto se da sólo cuando la frecuencia de la señal del VCO está a una distancia f_c de la frecuencia de la señal de entrada f_e , momento en que la señal del VCO se engancha con la señal externa de referencia. Ver figura VII.3.

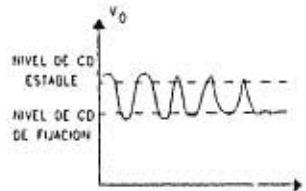


FIG. VII.3 Proceso de captura

Régimen de mantenimiento

Una vez que se logró la captura, el lazo de realimentación es capaz de mantener la señal del VCO en sincronía con la señal de entrada siempre y cuando esta última no varíe excesivamente. Si esto sucediera, el comparador de fase detecta la diferencia de frecuencia entre ambas señales generando un voltaje de error, mismo que será filtrado para ser aplicado nuevamente al VCO, obligando a éste a variar su frecuencia, de tal forma que el VCO siga las variaciones de la señal de entrada.

En la figura VII.4 se muestra el rango de captura y mantenimiento del PLL. Los rangos de mantenimiento (sincronización) y captura están dados por las expresiones siguientes:

$$2f_1 = f_2 - f_1$$

$$2f_2 = f_1 - f_1$$

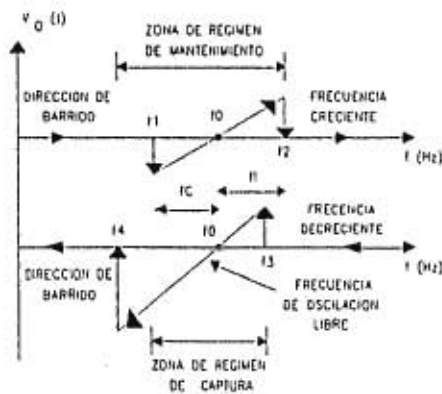


FIG. VII.4 Comportamiento voltaje contra frecuencia de un circuito PLL

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

Por tanto, el PLL debe cumplir con un mínimo de requisitos que satisfagan su funcionalidad; estos son:

- amplio rango de captura;
- error de fase mínimo;
- mínimo tiempo de respuesta; y,
- mínimo ruido.

Debe considerarse que cuando disminuye la frecuencia de captura del PLL, pueden presentarse diversos factores que afecten su operación; estos factores son:

- El proceso de captura se lleva a cabo con más lentitud.
- El rango de captura disminuye.
- El PLL tiende a comportarse como un sistema subamortiguado.

VII.3 Elementos internos del PLL

Un PLL está formado básicamente por tres elementos que realizan una función específica y en conjunto determinan la operación del PLL:

Comparador de fase

Circuito que permite la mezcla de dos señales y genera un voltaje de salida proporcional a la diferencia o suma $f_1 \pm f_2$ de las frecuencias de las señales aplicadas en sus entradas.

Filtro paso-bajas

Su función es suavizar los cambios abruptos o evitar demasiados picos de voltaje. Además, durante la operación del PLL el filtro cumple otras dos funciones:

- Atenuar los componentes de alta frecuencia de la señal de error que genera el comparador de fase.
- Asegurar un proceso rápido de captura de la señal de entrada para el caso en que el sistema pierda sincronía debido a la presencia de transitorios.

Oscilador controlado por voltaje

Proporciona una señal cuya frecuencia varía de acuerdo al valor del voltaje aplicado en su entrada, lo que reduce la diferencia de frecuencias de la señal de entrada y la señal del oscilador, logrando sincronizar ambas señales.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

VII.4 Terminología empleada en los PLL

La terminología empleada en un PLL es la siguiente:

- *Frecuencia libre de oscilación (f_0)*.- Frecuencia a la cual opera el oscilador controlado por voltaje cuando no se aplica señal externa al PLL. También se denomina frecuencia central.
- *Rango de mantenimiento ($2f_L$)*.- Banda de frecuencias que define la sincronía del PLL con la señal de entrada; es decir, define la banda de frecuencias en la cual el PLL se mantiene enganchado con la señal de entrada.
- *Rango de captura ($2f_c$)*.- Intervalo de frecuencias donde el PLL está en sincronía con la señal de entrada; es decir, define la banda de frecuencias dentro de la cual el PLL puede rastrear y capturar una señal de entrada hasta engancharse con ella.
- *Tiempo de adquisición (T_i)*.- Tiempo necesario para que ocurra la sincronización de la señal de salida del oscilador controlado por voltaje y la señal externa. Depende generalmente del rango de captura seleccionado con respecto al cual es inversamente proporcional.
- *Ganancia del comparador de fase (K_c)*.- Relación del voltaje de salida del comparador de fase y la diferencia de frecuencias de las señales aplicadas a sus entradas. Relación aplicable cuando el PLL trabaja en el rango de mantenimiento.
- *Ganancia del oscilador controlado por voltaje (K)*.- Constante de conversión que relaciona a la desviación de la frecuencia de oscilación (respecto a f_0) con el voltaje aplicado al oscilador controlado por voltaje. Es una función lineal de f_0 .
- *Ganancia de malla abierta (K_{ma})*.- Es el producto de la ganancia del amplificador K_c y K e indica los cambios de fase entre la señal de entrada y la señal del oscilador para un determinado corrimiento en la frecuencia de la señal de entrada.
- *Frecuencia neutral (F_n)*.- Es la frecuencia característica de la malla y se determina por la posición de los polos en el plano complejo.

VII.5 Respuesta del PLL

La respuesta del PLL se puede representar a través del modelo matemático. Para ello reconfiguremos el diagrama a bloques de la figura VII.1, tal y como se ilustra en la figura VII.5.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

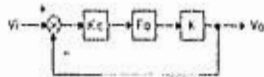


FIG. VII.5 Diagrama a bloques de un PLL reconfigurado

La función de transferencia en malla abierta es:

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = \frac{K_c K F_d(S)}{S}$$

Para una malla cerrada tenemos:

$$GH(S) = \frac{F(S)}{1 + F(S)}$$

Por tanto, la respuesta completa del PLL es:

$$GH(S) = \frac{K_c K F_d(S)}{S + K_c K F_d(S)}$$

De la última expresión se observa que la respuesta a la frecuencia depende de las características del filtro, debido a que este es el principal determinante de las características del PLL.

Para determinar la expresión completa del PLL, es necesario obtener la relación del voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada de los filtros normalmente empleados, cuya estructura se muestra en la figura VII.6.

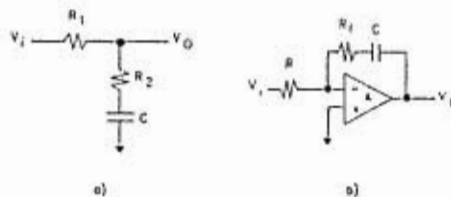


FIG. VII.6 Filtros empleados en un PLL (a) Filtro pasivo RC; (b) filtro activo

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

FILTRO PASIVO

Este se muestra en la figura VII.7.

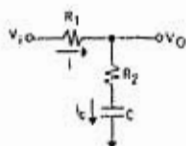


FIG. VII.7 Filtro pasivo RC

Del circuito tenemos:

$$V_i = iR_1 + i_c R_2 + V_c$$

$$V_o = i_c R_2 + V_c$$

$$i = i_c = C \frac{dV_c}{dt}$$

Sustituyendo la corriente en las expresiones de V_i y V_o tenemos

$$V_i = (R_1 + R_2) C \frac{dV_c}{dt} + V_c$$

$$V_o = R_2 C \frac{dV_c}{dt} + V_c$$

Aplicando transformada de Laplace a las dos ultimas ecuaciones.

$$V_i(S) = [(R_1 + R_2)CS + 1] V_c(S)$$

$$V_o(S) = (R_2CS + 1) V_c(S)$$

Mallas de fase Encadenada (PLL)

Combinando las dos últimas expresiones, tenemos:

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = \frac{R_2CS + 1}{1 + (R_1 + R_2)CS}$$

Por tanto la función de transferencia del filtro pasivo es:

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = F_p(S) = \frac{R_2CS + 1}{1 + (R_1 + R_2)CS}$$

FILTRO ACTIVO

El modelo equivalente del filtro activo se muestra en la figura VII.8.

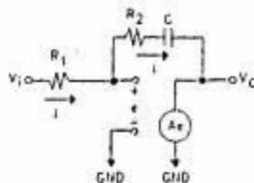


FIG. VII.8 Modelo equivalente de un filtro activo

Del modelo tenemos:

$$V_o = A_e e$$

$$e = \frac{V_o}{A}$$

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

Realizando un análisis de mallas tenemos:

$$e = V_o - R_2 C \frac{dV_c}{dt} - V_c$$

$$V_i = R_1 C \frac{dV_c}{dt} - e$$

Sustituyendo la expresión de e en las dos últimas ecuaciones tenemos:

$$\frac{V_o}{A} = V_o - R_2 C \frac{dV_c}{dt} - V_c$$

$$V_i = R_1 C \frac{dV_c}{dt} - \frac{V_o}{A}$$

Aplicando la transformada de Laplace

$$\frac{V_o(s)}{A} = V_o(s) - R_2 C s V_c(s) - V_c(s)$$

$$V_i(s) = R_1 C s V_c(s) - \frac{V_o(s)}{A}$$

Reduciendo para $V_o(s)/V_i(s)$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{(1 + R_2 C s) A}{A R_1 C s (1 - \frac{1}{A}) - (1 + R_2 C s)}$$

Dividiendo entre A

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1 + R_2 C s}{R_1 C s (1 - \frac{1}{A}) - \frac{(1 + R_2 C s)}{A}}$$

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

Si A tiende a infinito la función de transferencia del filtro activo es:

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = \frac{1 + R_2CS}{R_1CS}$$

Las dos redes de filtros anteriores se utilizan en el diseño de un PLL; sin embargo, el filtro activo proporciona una ventaja adicional: la alta ganancia que presenta el amplificador operacional, por lo cual el lazo de fase encadenada con filtro activo es la mejor opción en la mayoría de las aplicaciones.

Tomando en cuenta la respuesta del filtro activo y sustituyéndola en la función de transferencia del sistema completo del PLL, tenemos que la respuesta del PLL es:

$$GH(S) = \frac{\frac{K_c K(1 + SR_2C)}{SR_1C}}{S + \frac{K_c K(1 + SR_2C)}{SR_1C}}$$

VII.6 Características de los elementos para el diseño de circuitos con PLL

El diseño de circuitos prácticos con dispositivos PLL depende de las especificaciones que se desean en una aplicación determinada; así como de las características particulares del PLL. Básicamente en un diseño con PLL se deben de tomar en cuenta tres componentes; estos son:

Comparador de fase

El comparador de fase es el elemento de entrada en un circuito PLL, existen tres comparadores básicos, los cuales son:

- de muestreo y retención;
- digitales;
- de tipo multiplicador.

De los comparadores mencionados sólo los digitales y el de tipo multiplicador son los más utilizados, dadas sus características y principalmente por ser los únicos que se encuentran disponibles en el mercado.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

Deben considerarse tres puntos en la selección de un comparador de fase, estos son:

- el intervalo de error de entrada en el cual la salida es lineal;
- la naturaleza de la señal de entrada; y,
- la linealidad de la salida del comparador con respecto al error de fase de entrada.

Oscilador controlado por voltaje (VCO)

Es un dispositivo cuya frecuencia y oscilación varía linealmente dependiendo del voltaje que se aplique en su entrada, por lo que debe buscarse siempre mantener esta linealidad en un amplio rango de frecuencias. Su selección está determinada por las siguientes condiciones:

- estabilidad de su frecuencia central;
- sensibilidad relativamente alta, con la finalidad de aumentar la ganancia de la malla;
- tolerancia de 5 a 10% en su linealidad; y,
- una desviación de frecuencia lo más amplia posible.

Filtro pasobajas

Se emplea para eliminar la alta frecuencia y el ruido generado por el comparador de fase; así como mantener la señal externa después del enganche. Tanto el filtro pasivo como el activo son útiles para el PLL; sin embargo el filtro activo es el más empleado por sus características, y debido principalmente a su alta ganancia.

Por otra parte, si la ganancia de la constante de conversión (K) es muy baja es frecuente utilizar un amplificador para incrementarla; éste se coloca entre el filtro pasobajas y el VCO.

Tomando en consideración lo anterior, debe quedar claro que el diseño de circuitos electrónicos en el que se involucra un PLL, depende de diferentes factores; como son las especificaciones de la aplicación y el alcance que se requiere de la misma. Para ello es necesario realizar una selección del dispositivo (PLL) o de los elementos que los conforman de manera adecuada.

En la tabla VII.1 se proporcionan los dispositivos VCO, PLL y Detectores de fase más comunes; en la misma se proporcionan las aplicaciones de cada dispositivo.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

TABLA VII.1

DISPOSITIVO	FUNCION	APLICACION	COMPAÑIA	DESCRIPCION
NE560	PLL	Sintetizador de frecuencia	Signetics	Uso general, $f_{max}=15MHz$
NE561	PLL	Demodulación AM	Signetics	Uso general, $f_{max}=15MHz$
NE562	PLL	Demodulación AM	Signetics	Uso general, $f_{max}=15MHz$
XR215	PLL	Sintetizadores de frecuencia y demodulación FM	EXAR	Uso general, $f_{max}=20MHz$
XR2212	PLL	Demodulación FSK	EXAR	Salida digital $f_{max}=100KHz$
LM565	PLL	Sintetizadores de frecuencia y demodulación FM	National	Uso general, $f_{max}=500KHz$
CD4046B	PLL	Sintetizadores de frecuencia y demodulación FM	RCA	Uso general $f_{max}=1MHz$, CHOS
XR210	PLL	Sintetizadores de frecuencia y demodulación FM y FSK	EXAR	Uso general, $f_{max}=10MHz$, Salida digital
XR2211	PLL	Demodulación FSK, decodificación de tonos	EXAR	Salida digital Comparador de cuadratura
NE564	PLL	Decodificador de tonos	Signetics	Comparador de cuadratura con salida digital
11C44	Detector de fase	Demodulación FSK, Sintetizadores de frecuencia	Fairchild	Digital de tipo multiplicador $f_{max}=15MHz$
MC164B	Oscilador controlado por voltaje	Sintetizadores de frecuencia de radio y TV	Motorola	Tipo LC, $f_{max}=200MHz$
MC1496	Detector de fase	Demodulador FSK, Decodificador de tonos	Motorola	Digital de tipo multiplicador, $f_{max}=10MHz$
LM566	Oscilador controlado por voltaje	Demodulación FM, Decodificadores de tonos	National	Tipo RC $f_{max}=1MHz$
XR2206	Oscilador controlado por voltaje	Demodulación FM, Decodificadores de tonos	EXAR	Tipo RC, $f_{max}=1MHz$

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

VII.7 Fallas en los circuitos con PLL

Las fallas que se presentan en un circuito PLL se deben a diversos factores; estas fallas, al igual que en otro tipo de circuito electrónico las podemos clasificar en fallas técnicas o fallas físicas.

Las fallas técnicas son las más frecuentes, y son generadas por el propio diseñador o usuario; estas se deben principalmente a errores que se cometen cuando se utilizan estos dispositivos. Una falla técnica muy común es una mala selección del PLL, el cual no cumple con las características necesarias para la aplicación en particular.

Por su parte, las fallas físicas son todas aquellas que se generan cuando algún elemento está dañado. A estas fallas las podemos clasificar como externas e internas. Las fallas externas son producidas por los elementos externos conectados al PLL, los cuales pueden encontrarse dañados (quemados, abiertos, etc.). En cambio las fallas internas se refieren exclusivamente al PLL, donde posiblemente se presente daño interno; esto es factible debido a defectos en la fabricación del PLL.

Podemos establecer que una falla técnica puede corregirse en tiempos razonablemente cortos. En cambio una falla física no es tan fácil de detectar y por consiguiente de corregir. Pero, ¿Cómo se puede determinar si son fallas técnicas o fallas físicas?. Para determinar el tipo de falla es necesario seguir un procedimiento de análisis que facilite su detección. Sin embargo, es común pensar que seguir un procedimiento de análisis a lo único que nos lleva es la pérdida de tiempo y esfuerzo, generando en muchas ocasiones gran frustración cuando no se determinan en tiempos razonablemente cortos las posibles fallas. Pero debe entenderse que sólo con la práctica se podrá reducir el tiempo de detección de fallas y corrección de las mismas.

Para determinar si un PLL funciona correctamente; verifique primero el suministro de energía, posteriormente deben observarse las diferentes señales de entrada aplicadas al PLL; tales como: señales de entrada al comparador de fase, señal de control, la señal de salida del oscilador, entre otras. Para ello utilice un osciloscopio de doble trazo.

Si alguna de las señales de entrada no se encuentra presente en el punto indicado, rastree la señal por los diferentes puntos en los cuales debe presentarse, ello permite verificar si algún elemento externo está dañado, si es así, apague el circuito y cambie el elemento deteriorado. Aplique nuevamente energía al circuito y verifique las señales en los puntos donde existía el problema.

En caso de que todas las señales de entrada estén presentes en los puntos indicados y el PLL no responda, es factible que el PLL este dañado y la única solución es cambiarlo.

Fallas de Fase Encadenada (PLL)

VII.8 Aplicaciones del PLL

El PLL es uno de los dispositivos que con frecuencia se utiliza en el área de las comunicaciones; como es en el diseño de circuitos de modulación y demodulación en frecuencia, donde es imprescindible una alta inmunidad al ruido y las frecuencias a trabajar son considerablemente inferiores a 100 MHz. Otras aplicaciones posibles del PLL son:

- en la decodificación de tonos;
- en sintetizadores de frecuencias;
- en el control de velocidad de motores; y,
- en la conversión de voltaje a frecuencia.

Para las aplicaciones anteriores, se dispone en el mercado de diversos circuitos PLL que cuentan con características particulares y que satisfacen las especificaciones de cada una de las aplicaciones mencionadas.

Dos circuitos prácticos en los que se utiliza al PLL se describen a continuación.

Circuito modulador

En la figura VII.9 se muestra el diagrama del circuito; éste dispone de un CD4046B, el cual es un dispositivo PLL integrado de tecnología CMOS de bajo consumo de potencia y que internamente cuenta con un oscilador controlado por voltaje (VCO) y dos comparadores de fase independientes; así como de un diodo zener.

El VCO del CD4046B genera una señal cuadrada cuya frecuencia está determinada por el voltaje de entrada al oscilador, el voltaje de polarización, la resistencia conectada al pin 11 del PLL y por el capacitor que se dispone entre los pines 6 y 7. Para controlar la frecuencia de la señal de salida del oscilador se conecta en la entrada del mismo un sumador inversor de dos entradas. En una entrada de este último se dispone de un divisor de tensión que permite controlar el voltaje de entrada al oscilador; en la otra entrada del sumador se conecta la salida de un amplificador no inversor, mismo que se utiliza para aplicar la señal de entrada.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

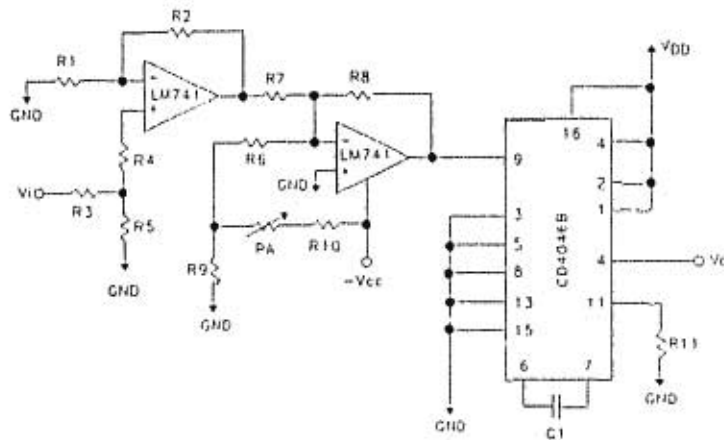


FIG. VII.9 Circuito de modulación en frecuencia

Circuito demodulador

La figura VII.10 muestra el diagrama del circuito demodulador en frecuencia. El CD4046B se utiliza propiamente como el dispositivo que lleva a cabo la demodulación en frecuencia de la señal que se aplica en su entrada; donde el oscilador controlado por voltaje sigue la frecuencia de dicha señal. En la entrada del oscilador se aplica el voltaje de la señal demodulada una vez que ha sido filtrada. La salida del PLL se aplica a un filtro activo, este presenta la estructura de realimentación múltiple, en cuya salida se tiene una señal amplificada y con una componente de DC debido a la relación señal-ruido.

Para atenuar la amplitud de la señal que se obtiene del filtro, la salida del filtro se conecta a una de las entradas de un sumador inversor, en la otra entrada de éste último se aplica un voltaje a través de un potenciómetro, esto a manera de un divisor de voltaje, cuya finalidad es corregir el nivel de DC. La señal de salida del sumador se aplica a un amplificador inversor para corregir la inversión que sufre la señal ya demodulada al pasar por el filtro. Finalmente la amplitud de la señal de salida del circuito demodulador se controla a través del potenciómetro PA.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

DESARROLLO PRACTICO

MALLA DE FASE ENCADENADA

OBJETIVO

Mostrar el principio de operación de la malla de fase encadenada (PLL). Se examinarán sus principales características, tales como el rango de captura y rango de sincronización. Posteriormente se realizará la prueba a un PLL en IC comercial para observar su funcionamiento y con ello poderlo emplear correctamente en diferentes aplicaciones.

INTRODUCCION

El PLL es una de las técnicas más empleadas en la implementación de circuitos electrónicos, donde se requiere una alta inmunidad al ruido, en la generación de señales de pulsos, en el control de frecuencia, así como donde se desea trabajar con frecuencias inferiores a 100 MHz.

Actualmente se cuenta con diferentes circuitos integrados PLL's que presentan diferentes características, mismos que se utilizan en diversas aplicaciones. Los PLL's en circuito integrado más comunes son el NE561, NE563, NE564, LM565, LM566, CD4046B y el MC14046B. Sin embargo, pueden diseñarse algunos PLL de manera discreta utilizando los elementos adecuados para cubrir las necesidades requeridas para aplicaciones específicas.

En el desarrollo se propone un PLL discreto, mismo que servirá para determinar las principales características de estos dispositivos; como son: el rango de captura y rango de sincronización. Así también se realizan las pruebas a un PLL comercial como lo es el CD4046B.

DESARROLLO

PRUEBAS A UN PLL DISCRETO

- 1.- Implemente el circuito de la figura VII.11; este contiene los tres elementos básicos de un PLL, los cuales interactúan para obtener la respuesta deseada. Como comparador de fase se emplea un flip-flop RS al cual se le aplican la señal de entrada y la señal que proviene del oscilador controlado por voltaje. El filtro por su parte está formado por un amplificador operacional, las resistencias R10, R11 y el capacitor C5; y como oscilador se utiliza el CD4046B. Polarice al amplificador operacional con ± 12 Volts.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

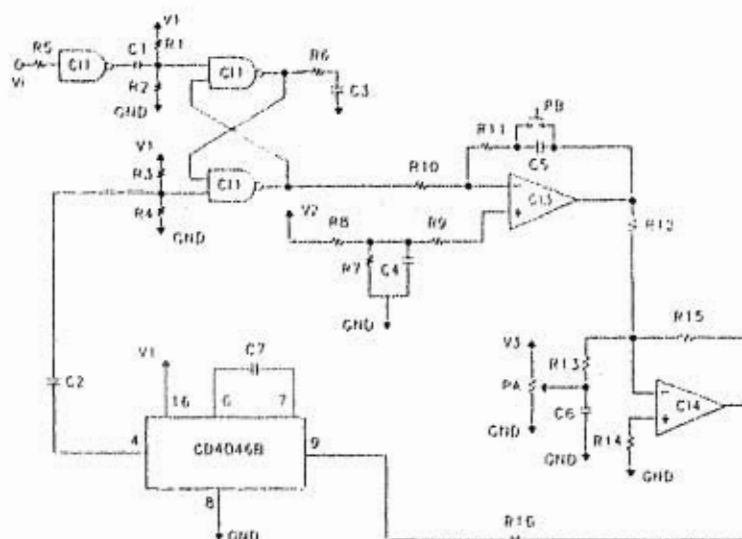


FIG. VII.11 Circuito para determinar las características de un PLL discreto

Los valores de los elementos del PLL discreto son:

$R1=R2=R3=R4=R5=R11=1K$	$C1=C2=100pF$	C11: MC14011B
$R8=R12=R15=10K$	$C4=C5=C6=0.1\mu F$	C13, C14: LM741
$R7=R13=2.2K$	$C3=1nF$	
$R9=100K$	$C7=470pF$	$V1=5V$
$R14=5.6K$		$V2=12V$
$R6=22K$		$V3=-12V$
$R16=1K$		
$PA=10K$		

- 2.- Conecte el canal A de un osciloscopio de doble trazo a la entrada del comparador de fase (donde se aplicara la señal de entrada V_i) y el canal B a la salida del oscilador (pin 4 del CD4046B); esto permitirá observar en la pantalla del osciloscopio el momento en que se logran sincronizar la señal del oscilador y la de entrada.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

Proceso de sincronización del PLL

- 3.- Para sincronizar la señal de salida del oscilador con respecto a una señal de entrada, aplique una señal cuadrada de 5Vpp a 500 KHz con un Generador de funciones. Lleve a cabo los pasos siguientes:
- a) Desconecte la resistencia R12 de la salida de IC3 y conectela al punto donde se unen R8, R7, R9 y C4. Esto permitirá aplicar un voltaje al amplificador operacional (IC4), lo que corresponde a una diferencia de fase de 0° entre las señales de entrada al comparador de fase.
 - b) Ajuste el potenciómetro PA de tal manera que se obtenga un voltaje positivo de aproximadamente 4 volts en la salida del amplificador IC4.
 - c) Conecte nuevamente la resistencia R12 a la salida del IC3 y observe en la pantalla del osciloscopio el momento en que las señales de entrada al comparador se sincronizan. Si por alguna razón no se lograra la sincronización, presione el push-button (PB) que se encuentra en paralelo con C5. La finalidad de presionar PB es la de provocar que el voltaje de salida del IC3 barra el rango de voltaje entre -12 V y 12 V, provocando con ello que la frecuencia del oscilador varíe en un rango amplio y, cuando esta alcanza la frecuencia de referencia, se producirá el enganche. Repita esta operación en varias ocasiones hasta lograr la sincronización, esta se debe realizar con intervalos de algunos segundos.
 - d) Puede presentarse el caso de que una vez realizado el inciso anterior no se logre la sincronización entre la señal de entrada y la del oscilador, si esto sucediese, varíe con mucho cuidado la frecuencia de la señal de entrada y repita el inciso c). Si no se quiere variar la frecuencia de la señal de referencia, entonces varíe ligeramente el potenciómetro PA y presione el push-button después de realizar cada variación en el potenciómetro.
 - e) Los incisos anteriores aseguran la sincronización del PLL. Mida y anote la frecuencia de la señal de salida del VCO con el osciloscopio para determinar la frecuencia en la cual la señal del PLL está en sincronía con la señal de entrada.

Para determinar el rango de sincronización y de captura deben seguirse los pasos siguientes. Es necesario que la señal del oscilador esté en sincronía con la señal de entrada.

Rango de sincronización

- 4.- Conecte un voltmetro en la salida del comparador de fase, e incremente lentamente la frecuencia de la señal de entrada para que el PLL pierda la sincronía y con ello generar en la salida del comparador de fase un voltaje el cual será proporcional a la diferencia de frecuencias de las señales de entrada al comparador. Anote la frecuencia a la cual el PLL pierde la sincronía con respecto a la señal de entrada; así como el voltaje generado en la salida del comparador de fase en dicho momento.
5. Ajuste la señal de entrada nuevamente a una frecuencia de 500 KHz y repita los incisos del punto tres. Una vez lograda la sincronía varíe la frecuencia de la señal de entrada lentamente a un valor inferior de 500 KHz hasta que el PLL pierda la sincronía con respecto a la señal de entrada y anote la frecuencia en la que se pierde la sincronía del PLL, así como el voltaje en la salida del comparador.

Rango de captura

- 6.- Aplique una señal de entrada con una frecuencia muy baja. Incremente lentamente la frecuencia hasta lograr que el PLL entre en sincronía con la señal de entrada, anote la frecuencia a la cual ocurre la sincronización. A la frecuencia en la que ocurre la sincronización en ocasiones se le denomina frecuencia de enganche.
- 7.- Incremente la frecuencia de la señal de entrada a un valor demasiado grande, de tal manera que el PLL esto fuera de sincronía. Posteriormente disminuya lentamente la frecuencia de la señal de entrada hasta lograr de nuevo la sincronía; anote dicha frecuencia en la que ocurre la sincronización.

Grafique en papel milimétrico los valores obtenidos en los puntos 4, 5, 6 y 7.

PRUEBAS A UN PLL COMERCIAL

Uno de los PLL's comerciales más comunes es el CD4046B, dispositivo de propósito general disponible en paquetes Dual In Line de 16 pines, funciona con una sola fuente de 3 a 18 volts, y se puede emplear en diferentes aplicaciones. Las características principales de este dispositivo son:

- Cuenta con dos salidas de comparación que pueden utilizarse de forma independiente para aplicaciones específicas.
- Puede operarse como un oscilador controlado por voltaje (VCO).
- Cuenta con una línea de inhibición que define el comportamiento del oscilador controlado por voltaje, es decir:

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

- a) Si en la línea de inhibición se aplica un nivel de voltaje bajo el VCO opera de forma normal.
 - b) En cambio, si se aplica un nivel de voltaje alto, el VCO se inhibe y por tanto se tiene que la salida será cero de manera permanente.
- Puede emplearse en sistemas de regulación de voltaje para lo cual cuenta con un diodo zener.
 - Tiene una entrada de comparación común, normalmente en dicha entrada se aplica una señal de alta velocidad perfectamente definida.

La estructura física del CD4046B se muestra en la figura VII.12 y la distribución de pines del mismo es:

PIN	IDENTIFICACION
1	Pulsos de sincronía
2	Salida del comparador de fase A
3	Entrada de la señal de comparación
4	Salida del oscilador controlado por voltaje
5	Línea de inhibición
6 y 7	Pines para conectar un capacitor externo
8	GND
9	Entrada de voltaje al VCO
10	Salida de señal demodulada
11 y 12	Conexión de resistencias externas
13	Salida del comparador de fase B
14	Señal de entrada
15	Salida del diodo Zener
16	V_{DD}

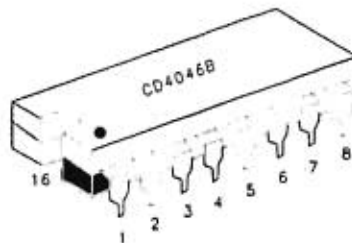


FIG. VII.12 Presentación PLL en IC

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

- 8.- Para observar la operación del CD4046B, implemente el circuito de la figura VII.13. Este circuito tiene la finalidad de mostrar como se emplea el VCO del CD4046B. Los valores de las resistencias y el capacitor se muestran en la tabla VII.2, El potenciómetro P debe ser de 1 M.

El VCO del CD4046B opera a una frecuencia específica, la cual está determinada por los elementos externos, así como por el voltaje de control aplicado al mismo. El fabricante del dispositivo propone que para encontrar las frecuencias de operación del CD4046B se empleen las expresiones siguientes:

$$f_{min} = \frac{1}{R_2 (C_1 + 32pF)}$$

$$f_{max} = \frac{1}{R_1 (C_1 + 32pF)} + f_{min}$$

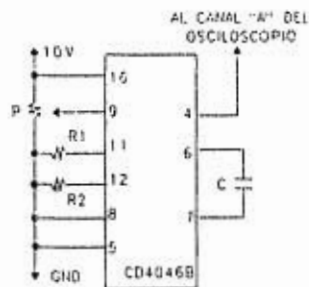


FIG. VII.13 El CD4046B como oscilador controlado por voltaje

Así también, el fabricante establece que el valor de R1, R2 y C deben estar comprendidos dentro de los márgenes siguientes:

$$8.2 \text{ K} < R1 < 1 \text{ M}$$

$$8.2 \text{ K} < R2 < 1 \text{ M}$$

$$100 \text{ pF} < C < 0.1 \text{ } \mu\text{F}$$

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

Sin embargo, propone que para aplicaciones específicas es importante que el valor de las resistencias R1, R2 y C se determinen prácticamente y con ello determinar correctamente las frecuencias reales de operación del VCO y, garantizar de esta manera el correcto funcionamiento del VCO. Pero, estos valores deberán de estar dentro del margen definido.

La frecuencia de oscilación libre del VCO está determinada por:

$$f_o = \frac{f_{min} + f_{max}}{2}$$

TABLA VII.2

V _{IN} (Volts)	R1=10K R2=100K C=0.01µF	R1=22K R2=82K C=0.1µF	R1=100K R2=56K C=100pF
	f (Hz)	f (Hz)	f (Hz)
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

- 9.- Conecte la salida del VCO (pin 4) al canal A de un osciloscopio de doble trazo, lo que permitirá observar como la señal de salida varia conforme se incrementa el voltaje de entrada del VCO. Conecte además, un voltmetro en la entrada del oscilador (pin 9) para medir el voltaje de entrada.
- 10.- Sitúe al potenciómetro P a su valor mínimo y mida el voltaje de entrada al VCO, así como la frecuencia correspondiente en la salida del VCO. Varié el potenciómetro P para incrementar el voltaje de entrada al VCO conforme se indica en la tabla VII.2 y mida la frecuencia de la señal de salida del VCO correspondiente a cada voltaje de entrada.

Mallas de Fase Encadenada (PLL)

- 11.- Modifique los valores de las resistencias R1, R2 y C de acuerdo a la tabla VII.2 y Verifique nuevamente la operación del VCO. La finalidad de estos cambios es demostrar que la frecuencia de operación del VCO depende de los valores externos conectados al mismo.
- 12.- El circuito de la figura VII.13 puede emplearse como un generador de tonos. Esto es posible conectando el circuito de la figura VII.14 al pin 4 de CD4046B en lugar del osciloscopio. Varié el potenciómetro P y escuche en el parlante los cambios de tono.

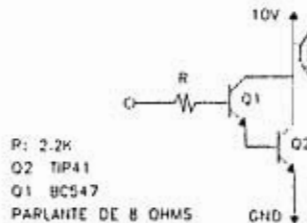


FIG. VII.14 Circuito para la generación de tonos

- 13.- El sintetizador de frecuencia es un circuito capaz de generar un gran número de frecuencias, las que son determinadas por controles externos (manuales o electrónicos). Dichas frecuencias mantienen una relación constante respecto de otra frecuencia usada como referencia.

Un método utilizado frecuentemente para diseñar un sintetizador de frecuencias es el basado en el PLL, en el cual la frecuencia de salida es dividida por un divisor de frecuencia manual o programable antes de ser comparada con la frecuencia de referencia.

Para ilustrar como funciona un sintetizador de frecuencia manual implemente el circuito de la figura VII.15. La señal de referencia debe ser de 1 KHz y debe obtenerse de un oscilador a cristal para garantizar que sea estable y de gran precisión; sin embargo, puede emplearse un oscilador convencional para el caso en particular. También se puede usar un generador de funciones para obtener la señal de referencia, éste debe entregar una señal cuadrada de 5 Vpp a una frecuencia de 1 KHz.

La señal de referencia se aplica al pin 14 del comparador de fase, misma que se compara con la señal que proporciona la salida seleccionada del contador MC14017B, la cual se aplica al pin 3. La salida del comparador de fase, pin 13, se conecta a un filtro pasobajas conformado por R3, R4 y C2, cuya salida se aplica al oscilador controlado por voltaje (pin 9 del CD4046B). En la salida del oscilador (pin 4) se obtiene la frecuencia de salida, misma que es dividida por un divisor de frecuencia, en este caso por el contador MC14017B.

El circuito de la figura VII.15 proporciona frecuencias de salida múltiplos de 1 KHz que es la frecuencia de la señal de referencia, es decir, dependiendo de la salida seleccionada del contador, en la salida del oscilador se obtendrá una señal N veces mayor que la señal de referencia.

Para visualizar tanto la señal de referencia como la señal de salida del oscilador controlado por voltaje, conecte el canal A de un osciloscopio de doble trazo al pin 14 del CD4046B y el canal B al pin 4 del mismo dispositivo.

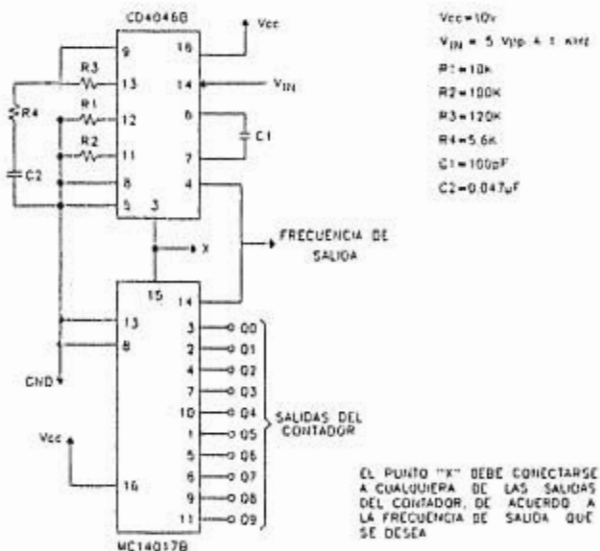


FIG. VII.15 Sintetizador de frecuencia manual

CAPITULO VIII

CIRCUITOS CON MICROPROCESADORES Y APLICACIONES

VIII.- CIRCUITOS CON MICROPROCESADORES Y APLICACIONES

VIII.1 Introducción

El microprocesador es quizás el dispositivo LSI con mayor capacidad de programabilidad, y dada su función en los sistemas digitales modernos, es considerado como el elemento central. Desde su aparición se ha desarrollado de manera vertiginosa, provocando toda una revolución en el campo de la electrónica y hoy en día todavía no se determina con gran exactitud hasta donde se llegará.

En sí, el verdadero impacto con la aparición del microprocesador ha sido la filosofía de trabajo, donde se han presentado cambios importantes en el diseño de circuitos electrónicos, permitiendo obtener circuitos confiables, flexibles y de bajo costo.

Las características propias del microprocesador; tales como: velocidad de operación, flexibilidad, potencia y sobre todo costo son quizás algunas de las palancas más importantes de que dispone un diseñador para emplearlo en diversas aplicaciones; sin embargo, las principales razones que han permitido un incremento en las mismas son:

Necesidad.- La creciente complejidad de los procesos de producción y de cálculo, han propiciado que se fabriquen dispositivos electrónicos con excelentes prestaciones, veloces y potentes.

Optimización.- Desarrollo de soporte físico y lógico para implementar circuitos electrónicos o de control confiables, flexibles, potentes y de bajo costo.

Tendencia.- Implementación de circuitos electrónicos o de control de tamaño reducido para optimizar todo un conjunto de acciones.

VIII.2 El microprocesador

VIII.2.1 Definición

Generalmente se define al microprocesador como un IC LSI capaz de realizar determinadas funciones a partir de un programa almacenado en memoria; sin embargo, para definirlo de manera correcta es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- Primero, es necesario considerar la posible aplicación que se le pueda dar al microprocesador, para de esta manera comprender la función a la cual se va a destinar.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

- Segundo, es importante considerar el desarrollo que se ha logrado día a día en la integración de los circuitos, para con ello obtener dispositivos confiables y flexibles que permitan realizar diversas funciones.

Por tanto, tomando en cuenta lo anterior un microprocesador puede definirse de la siguiente manera:

" Un microprocesador es un dispositivo lógico funcional programable integrado capaz de realizar diversas funciones de procesamiento o control de un sistema complejo."

VIII.2.2 Arquitectura

La organización interna de un microprocesador dispone de un conjunto de elementos lógicos funcionales conectados de tal forma que puedan sincronizar y controlar la transferencia de datos; así como las funciones que realizan otros bloques o unidades conectadas a él. A esta organización interna se le denomina *arquitectura del microprocesador*.

La figura VIII.1 muestra la arquitectura básica del microprocesador, en ella se pueden observar los bloques lógicos esenciales que la conforman, en la inteligencia de que debe tenerse presente que la organización interna de los microprocesadores comerciales varía de acuerdo al tipo de microprocesador. La descripción de cada uno de los bloques se da a continuación.

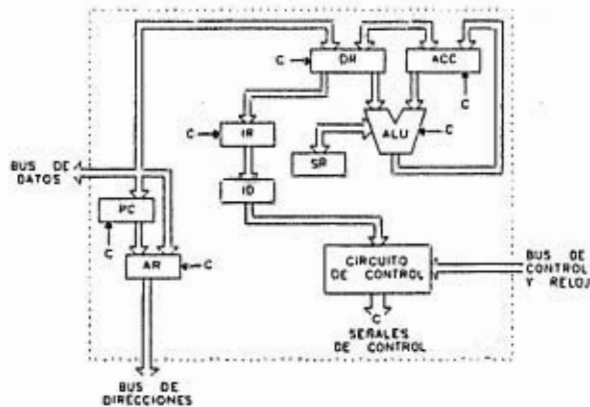


FIG. VIII.1 Arquitectura básica del microprocesador

Registro de instrucciones IR. Su función es almacenar temporalmente el primer byte de una instrucción, mismo que pertenece al código de operación de la instrucción a ejecutar.

Decodificador de instrucciones ID. Interpreta y decodifica el contenido del registro de instrucciones para con ello decidir la operación que se ha de llevar a cabo.

Circuito de control. Genera las señales correspondientes para controlar y temporizar a los diferentes bloques, y de ésta forma se ejecute la instrucción mandada a llamar.

Contador de programa PC. Direcciona las localidades de memoria donde se localizan las instrucciones ha ejecutar. La secuencia del contador es consecutiva y sólo se ve alterada por una instrucción de salto o bifurcación.

Registro acumulador ACC. Registro principal de trabajo y se utiliza para almacenar temporalmente el dato a procesar o para almacenar el resultado que genera la ALU después de una operación. También se emplea como registro de almacenamiento temporal de datos que se leen o desean escribir en memoria.

Registro de datos DR. Almacena temporalmente los datos que se leen de memoria o se desean almacenar en la misma. Cuando interactúa con la ALU almacena uno de los operandos que se requieren para efectuar las operaciones aritméticas o lógicas. En ocasiones se emplea para almacenar temporalmente la dirección del operando requerido por una instrucción.

Registro de direcciones AR. Almacena de manera temporal la dirección de la posición de memoria donde se localiza la instrucción siguiente ha ejecutar, o la dirección de los datos ha procesar.

Unidad Lógico-Aritmética ALU. Realiza las operaciones aritméticas, lógicas y de desplazamiento sobre él o los operandos leídos de memoria, cargando el resultado en el registro acumulador. Esto se realiza bajo la supervisión de la unidad de control, la cual indica la operación ha realizar. A esta unidad se le denomina en ocasiones unidad de ejecución.

Registro de estado SR. Indica el estado actual del microprocesador o condiciones específicas en las que se quedó el resultado de las operaciones previas efectuadas en la ALU. Estas condiciones son:

Acarreo (C). Condición que se presenta cuando ha ocurrido una sobrecarga aritmética. También es útil cuando se realizan desplazamientos circulares.

Paridad (P). Condición que indica la paridad del resultado en el acumulador. En la verificación de errores permite comprobar si existe paridad equivocada en la transferencia de datos.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Signo (S). Indica si el resultado de una operación es positiva o negativa y con ello se dará la condición necesaria para la lógica de decisión.

Acarreo intermedio (H). Indica si se generó un acarreo en el cuarto bit en una operación dada; esto generalmente en el caso del código decimal codificado en binario.

Estado cero (Z). Indica que el resultado de una operación aritmética o lógica anterior es cero.

Los bloques descritos se encuentran conectados por grupos de líneas encargadas de transferir la información correspondiente, en forma de señales eléctricas, a su destino. A estos grupos de líneas se les denomina BUSES, mismos que puede ser unidireccionales o bidireccionales. Existen tres grupos de bus en un microprocesador, y dada la información que fluye a través de ellos se agrupan de la siguiente manera:

Bus de datos. Transfiere los datos o instrucciones a otras unidades. Dada la operación, los datos pueden dirigirse o recibirse de memoria o unidad periférica seleccionada. El número de líneas que conforman al bus depende de la longitud de la palabra del microprocesador en particular.

Bus de direcciones. Permite al microprocesador designar la fuente o destino de los datos; es decir, es un bus unidireccional por el cual se transfieren las direcciones de posiciones de memoria que deben leerse o hacia las cuales se dirige determinada información.

Bus de control. Transfiere las señales de control para sincronizar y temporizar a los bloques o unidades conectadas al microprocesador y de esta manera coordinar la operación de todo un sistema.

VIII.2.3 Operación

El microprocesador es un dispositivo secuencial que no puede estar sin hacer nada, siempre se encuentra realizando alguna tarea, misma que se lleva a cabo en dos fases; la fase de búsqueda y la fase de ejecución. En realidad la operación del microprocesador sólo consiste en ir a buscar una instrucción y ejecutarla, es decir, de una fase de búsqueda pasa a una fase de ejecución y de la fase de ejecución pasa a la fase de búsqueda, por lo que no puede ejecutar más de una instrucción.

Para describir el funcionamiento del microprocesador, se enumeran a continuación los pasos que se siguen para ejecutar una instrucción, los cuales se repiten para cada una de las instrucciones que contendrá el programa que se almacena en memoria.

Para la fase de búsqueda

- 1.- Con el programa almacenado en memoria debe generarse la señal de reset al microprocesador para poner al contador de programa en cero y de esta manera dar inicio a la fase de búsqueda.
- 2.- El contador de programa proporciona la dirección de la localidad de memoria donde inicia el programa.
- 3.- El contenido del contador de programa se transfiere al registro de direcciones. Cuando sucede esto, el contador de programa se incrementa en una unidad proporcionando por consiguiente la dirección de la siguiente localidad de memoria. El contenido del registro de direcciones se mantiene.
- 4.- El registro de direcciones, direcciona la localidad de memoria y el contenido de ésta, que es el código de operación de la instrucción a ejecutar, se transfiere al registro de datos y de éste al registro de instrucciones.
- 5.- El contenido del registro de instrucciones pasa al decodificador de instrucciones quien interpreta y determina la operación a realizar, y a través de una señal le comunica al circuito de control la instrucción a ejecutar, dando lugar a que éste último genere las señales correspondientes para que se ejecute la instrucción que se ha leído de memoria. De esta manera se da por terminada la fase de búsqueda.

Para la fase de ejecución

- 6.- Si la instrucción no requiere de operando se ejecuta inmediatamente la instrucción y se da inicio a la fase de búsqueda de la siguiente instrucción. Pero si la instrucción requiere de un operando, el contenido del contador de programa se carga en el registro de direcciones, y el contenido del contador de programa se incrementa para indicar la dirección donde se encuentra la siguiente instrucción.
- 7.- El contenido del registro de direcciones se transfiere por el bus de direcciones para seleccionar la localidad de memoria donde se encuentra el operando requerido por la instrucción.
- 8.- El dato presente en la localidad seleccionada se transfiere, a través del bus de datos, al registro de datos y de éste se lleva, según sea la instrucción decodificada, al acumulador, a la ALU, a la memoria, al contador de programa o al puerto de salida; dando por terminada la fase de ejecución y procediendo por tanto al inicio de la fase de búsqueda de la instrucción siguiente.

El procedimiento descrito se muestra en la figura VIII.2; y en la figura VIII.3 se hace una representación gráfica de la operación del microprocesador.

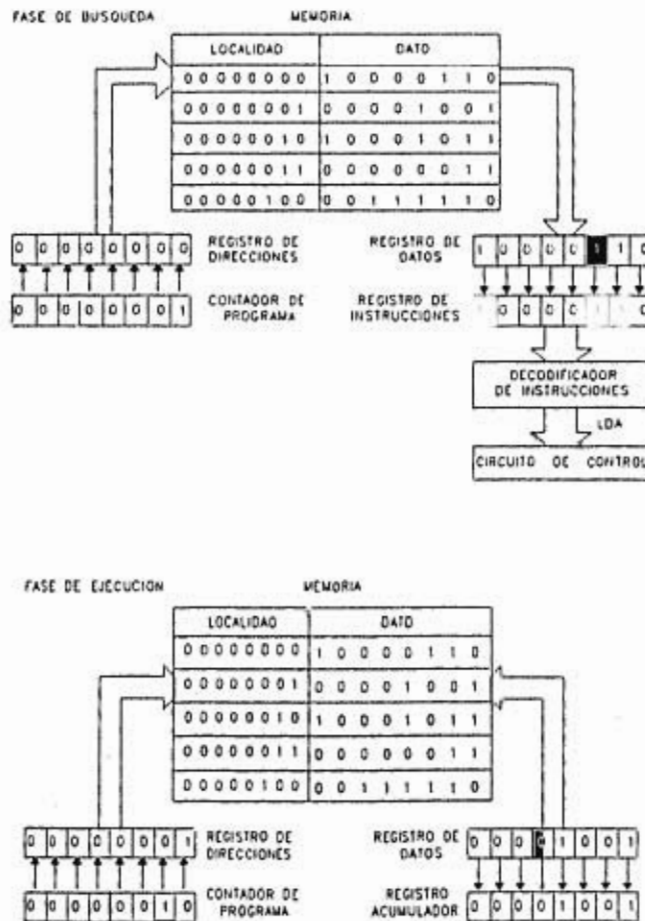
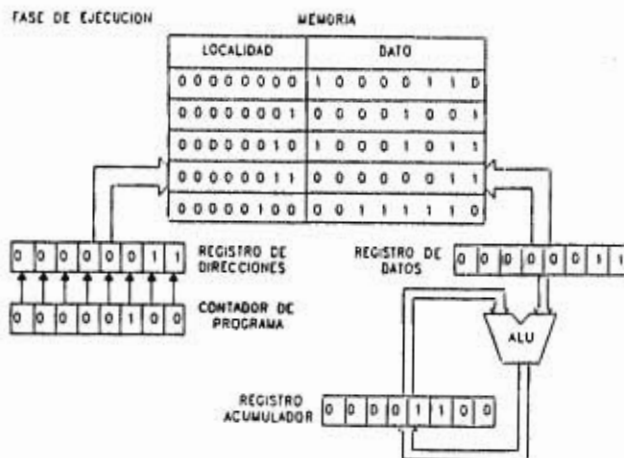
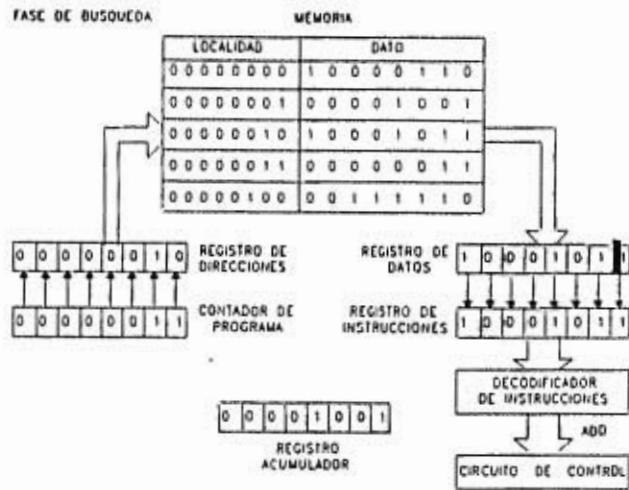


FIG. VIII.2 Operación del microprocesador



Continuación de la FIG. VIII.2

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

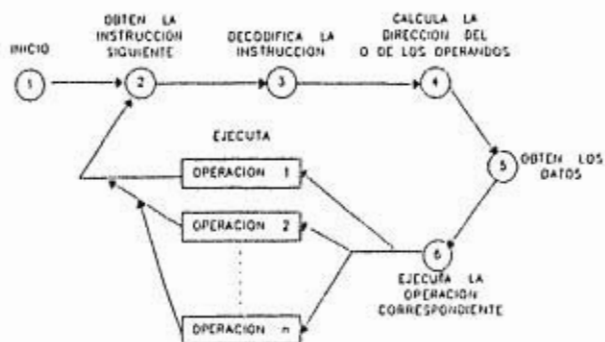


FIG. VIII.3 Representación gráfica de la operación del microprocesador

VIII.2.4 Programación

La finalidad de programar al microprocesador es para que éste realice las funciones correspondientes en un orden determinado, esto se lleva a cabo direccionando las localidades de memoria donde se encuentran almacenadas las instrucciones ha ejecutar, las cuales son leídas e interpretadas para realizar la acción correspondiente.

Pero, para que el microprocesador responda a un programa, éste debe almacenarse en memoria en patrones de 0's y 1's organizados en grupos de 8, 16 ó 32 bits; a cada uno de estos grupos se les denomina códigos. Cuando un programa se elabora empleando patrones de 0's y 1's se le denomina PROGRAMA EN LENGUAJE DE MAQUINA, el cual se desarrolla tomando en cuenta que cada línea del mismo consta de tres campos; estos son:

Dirección.- Campo en el que se especifica la dirección de memoria donde se localizan las instrucciones o datos empleados para llevar a cabo las operaciones correspondientes.

Contenido.- Campo donde se especifica la operación a realizar, ya sea una instrucción del microprocesador o un dato.

Comentario.- Campo donde se documenta cada una de las instrucciones de que consta el programa a ejecutarse, es decir, se describe el significado de las instrucciones en el contexto del programa.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

En la figura VIII.4 se muestra la forma típica de realizar un programa en lenguaje de máquina. El programa corresponde a las acciones que se emplearon para describir la operación del microprocesador en la figura VIII.2.

DIRECCION	CONTENIDO	COMENTARIO
00000000	1000 0110	CARGA AL ACUMULADOR CON EL DATO 09
00000001	0000 1001	
00000010	1000 1011	SUMA EL CONTENIDO DEL ACUMULADOR AL OPERANDO 03 Y PONE EL RESULTADO EN EL ACUMULADOR
00000011	0000 0011	
00000100	0011 1110	DETERMINAR LA OPERACION DEL MICROPROCESADOR

FIG. VIII.4 Programación en lenguaje de máquina

Programar en lenguaje de máquina no resulta fácil, dado que es frecuente cometer errores y por consiguiente más difícil de detectarlos. Para disminuir esta incidencia de errores se cuenta con una herramienta que franquea ésta tendencia, y que se denomina LENGUAJE ENSAMBLADOR. Herramienta que utiliza una serie de símbolos para representar a grupos de bits que corresponden a una determinada instrucción. A estos símbolos se les denomina nemotécnicos, los cuales nos permiten desarrollar programas con mayor facilidad.

Un programa en lenguaje ensamblador no sólo emplea nemotécnicos para sustituir grupos de bits; además, utiliza etiquetas que consisten en proposiciones alfanuméricas que sustituyen direcciones actuales dentro de un sistema, lo que permite combinar variables asociadas con etiquetas mediante el uso de operaciones aritméticas y lógicas. Por tanto, en el lenguaje ensamblador se requiere de una proposición alfanumérica por cada instrucción del lenguaje de máquina, logrando con ello elaborar un programa que sea entendible. Cada línea del programa en lenguaje ensamblador consta de cuatro campos; estos son:

Etiqueta.- Campo donde se proporciona un nombre simbólico para aquellas posiciones de memoria a la que se le asigna una dirección de memoria, o para reemplazar a constantes alfanuméricas que sustituyen a ciertas direcciones dentro del programa. El nombre asignado debe iniciar con una letra y el número máximo de caracteres es de 6. Al final de la etiqueta se coloca el carácter (:) para separarla de los otros campos. Se asignan etiquetas en aquellos casos donde es necesario documentar pasos determinados durante el desarrollo del programa.

Código.- Campo donde se proporciona el nemotécnico correspondiente a la instrucción a ejecutar. El número máximo de caracteres que deben colocarse es de 4.

Operando.- Campo donde se proporcionan los datos requeridos por la instrucción o el origen y destino de los mismos. Las designaciones sobre las cuales actúa la instrucción van separados por el carácter (,). Un máximo de 10 caracteres deben proporcionarse en este campo.

Comentario.- Campo donde se describe el significado de cada una de las instrucciones del programa. Campo que va precedido del carácter (;).

Estos campos se utilizan como se muestra en la figura VIII.5. Las operaciones que se muestran en la figura corresponden a las mismas operaciones de la figura VIII.4 pero en un lenguaje simbólico.

ETIQUETA	CODIGO	OPERANDO	COMENTARIO
INICIO.	LDA,	03H	,CARGAR AL ACUMULADOR CON EL DATO 03
	ADD,	03H	,SUMAR EL CONTENIDO DE ACUMULADOR AL DATO 03 Y COLOCAR RESULTADO EN EL ACUMULADOR
	HLT		,DETENER LA OPERACION DEL MICROPROCESADOR

FIG. VIII.5 Programación en lenguaje ensamblador

Otro punto importante a considerar cuando se programa en lenguaje ensamblador, es el uso de pseudocódigos que no sean convertibles a lenguaje de máquina; es decir, instrucciones no ejecutables que permitan organizar adecuadamente un programa en lenguaje ensamblador. En la figura VIII.6 se enlistan los principales pseudocódigos empleados para programar en lenguaje ensamblador.

Por otra parte, independientemente de programar en lenguaje de máquina o lenguaje ensamblador, es preciso tomar en cuenta dos puntos básicos que nos permitan obtener una secuencia de instrucciones bien organizada y sobre todo facilite el desarrollo de un programa. El primero de ellos corresponde a la estructura lógica que define la secuencia de operaciones que el microprocesador deberá seguir para cumplir con las tareas especificadas. Esta estructura lógica se describe a través de algoritmos gráficos denominados diagramas de flujo. El segundo punto comprende a los datos, mismos que deberán presentar una secuencia tal que permitan determinar como influirán sobre la estructura lógica; es decir, la forma en la que se proporcionen los datos permitirá que el microprocesador realice las funciones correspondientes al programa almacenado en memoria.

SEUDOCODIGO	FORMATO	DESCRIPCION
ORG	ORG <u>DIR INICIO</u>	INDICA LA DIRECCION DE MEMORIA DONDE SE LOCALIZA LA PRIMERA INSTRUCCION EJECUTABLE O DATO A CONVERTIRSE EN LENGUAJE DE MAQUINA. SE EMPLEA TAMBIEN EN AQUELLOS CASOS EN LOS QUE UN PROGRAMA SE ENCUENTRA SECCIONADO Y SE LOCALIZAN EN DIFERENTES ZONAS DE MEMORIA
END	END	INDICA EXPLICITAMENTE QUE EL DESARROLLO DE TODO UN PROGRAMA TERMINA Y POR CONSIGUIENTE SE DETIENE EL PROCESO DE ENSAMBLADO
EDU	ETIQUETA: <u>LOU</u> <u>VALOR</u>	INDICA QUE SE HA ASIGNADO UN NOMBRE SIMBOLICO A VALORES NUMERICOS, PERMITIENDO CON ELLO NO ASIGNAR OTRO NOMBRE AL VALOR INDICADO PRIMERAVENTE
DS	ETIQUETA: <u>DS</u> <u>VALOR</u>	INDICA QUE SE RESERVA CIERTO NUMERO DE LOCALIDADES DE LA MEMORIA RAM EN LAS CUALES SE PUEDE ALMACENAR DATOS DE MANERA TEMPORAL. EL VALOR QUE SE INDICA DESPUES DE DS ES EL NUMERO DE LOCALIDADES DE MEMORIA RESERVADAS EN LA RAM
DB	ETIQUETA: <u>DB</u> <u>LISTA</u>	INDICA QUE CIERTO NUMERO DE LOCALIDADES DE MEMORIA SE HAN RESERVADO PARA ALMACENAR UNA LISTA DE VALORES. ESTOS PUEDEN SER EXPRESIONES ARITMETICAS O CARACTERES EVALUADOS, EN 8 BITS. EL TOTAL DE LOCALIDADES RESERVADAS DEPENDE DEL NUMERO DE VALORES DE LA LISTA.

FIG. VIII.6 Seudocódigos para organizar un programa en lenguaje ensamblador

Por tanto, el desarrollo de un programa requiere en sí, de un número determinado de procedimientos, actividades o tareas que culmine en un patrón de 0's y 1's, y que a través del cual el microprocesador pueda procesar toda una serie de datos para llevar a cabo funciones específicas.

Los puntos que deberá comprender el desarrollo de un programa son:

- 1.- Especificación funcional.
 - i) Definición del programa.
 - ii) Especificación del programa.
- 2.- Implementación del diseño.
 - i) Diseño preliminar del programa.
 - Elaborar el algoritmo de solución (diagrama de flujo)

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

3.- Implementación del diseño.

- i) Codificación del programa en un lenguaje de programación.
 - a) Lenguaje de máquina.
 - b) Lenguaje simbólico (lenguaje ensamblador).
- ii) Prueba del programa.
 - Modificaciones del programa
 - Validación o certificación del programa.
- iii) Documentación del programa.
- iv) Aplicación.

VIII.2.5 Instrucciones

Para trabajar con un microprocesador es necesario programarlo, y para programarlo es importante conocer su conjunto de instrucciones. Pero, ¿Qué son las instrucciones?. Son un conjunto de símbolos que especifican la operación que debe ser realizada por el microprocesador, y con ello se permite la transferencia de datos entre los diferentes elementos que conforman al propio microprocesador y los que se encuentran conectados al mismo.

Las instrucciones que describen las operaciones principales que realiza un microprocesador se proporcionan en la tabla VIII.1, en la inteligencia de que debe tenerse presente que los microprocesadores comerciales cuentan con un conjunto de instrucciones muy variable. Por tanto, las que se describen en la tabla VIII.1 son instrucciones representativas que con frecuencia se encuentran en el conjunto de instrucciones correspondiente al microprocesador en particular.

Es importante que las instrucciones se organicen de tal manera que el microprocesador las pueda leer; para ello se tienen formatos específicos que permiten proporcionar la información requerida para determinar con ello el tipo de operación a ejecutar y la localización de los datos en los que ésta se realizará. A estos formatos se les denomina **FORMATO DE INSTRUCCION**.

El formato proporciona la disposición específica de la información, en la que se indica la longitud de la instrucción, su función y el lugar donde se encuentran los datos, así como donde deben ser procesados y donde serán almacenados.

TABLA VIII.1

INSTRUCCIONES DE TRANSFERENCIA DE DATOS: LLEVAN A CABO EL MOVIMIENTO DE DATOS DE UN LUGAR A OTRO DEL SISTEMA. EN ELLAS SE INDICA LA FUENTE Y DESTINO DE LOS DATOS		
INSTRUCCION	MEMORICO	REPRESENTACION
CARGAR ACUMULADOR	LDA	A ← M
ALMACENAR	STA	M ← A
INTERCAMBIO	XMA	A ↔ M
INSTRUCCIONES DE PROCESAMIENTO DE DATOS: ESTAN RELACIONADAS CON LAS OPERACIONES ARITMETICAS, LOGICAS Y DE DESPLAZAMIENTO DE DATOS		
SUMA	ADD	A ← A + M
SUMA CON ACARREO	ADC	A ← A + M + C
RESTA	SUB	A ← A - M
RESTA CON ACARREO	SBC	A ← A - M - C
OPERACION AND	AND	A ← A M
OPERACION OR	ORA	A ← A M
OPERACION XOR	EOR	A ← A M
OPERACION NOT	NOT	A ← A'
INCREMENTAR	INC	A ← A + 1
DECREMENTAR	DEC	A ← A - 1
COMPARACION	CMP	A - M
DESPLAZAMIENTO A LA DERECHA	RCR	
DESPLAZAMIENTO A LA IZQUIERDA	RCL	
INSTRUCCIONES DE CONTROL: ESTAN RELACIONADAS CON LAS ACCIONES DEL MICROPROCESADOR QUE NO MODIFICAN LA OPERACION DEL MISMO		
NO OPERA	HOP	
PARAR	HLT	
BORRAR ACUMULADOR	CLA	A ← 0
INSTRUCCIONES DE ENTRADA/SALIDA: PERMITEN LA COMUNICACION DEL MICROPROCESADOR CON LOS PERIFERICOS CONECTADOS A EL		
INPUT	INP	A ← E
OUTPUT	OUT	S ← A
INSTRUCCIONES DE SALTO A SUBROUTINA: MODIFICAN EL CONTENIDO DEL CONTADOR DE PROGRAMA CUANDO SE DESEA REALIZAR PROCESOS ITERATIVOS.		
SALTO A SUBROUTINA	JMP	PC ← DIRECCION NA SALTAH (2º Y 3º BYTE)
RETORNO DE SUBROUTINA	RST	PC ← DIRECCION DEL ORIGEN + 1 DEL SALTO
INSTRUCCIONES DE BIFURCACION: ROMPEN LA SECUENCIA DEL CONTADOR DE PROGRAMA, ESTO DEPENDE DE VARIABLES CONDICIONALES O INCONDICIONALES.		
BIFURCACION INCONDICIONAL	BRX	PC ← PC 2º BYTE DE LA INSTRUCCION
BIFURCACION (>)	BRP	PC ← PC 2º BYTE DE LA INSTRUCCION
BIFURCACION (<)	BRN	PC ← PC 2º BYTE DE LA INSTRUCCION
BIFURCACION (=)	BEQ	PC ← PC 2º BYTE DE LA INSTRUCCION

Por tanto, un formato de instrucción se divide en campos, donde en el primero de ellos se proporciona el código de operación de las instrucciones ejecutables, mismas que determinan el tipo de operación a realizar. Además indica cual es el contenido de las siguientes localidades de memoria en el programa, es decir, si contiene un dato, una dirección, un desplazamiento, u otro código de operación. Su longitud es de 8 bits (un byte). El segundo campo se denomina campo operando y en el se indican los operandos que han de manipularse, direcciones de localidades de memoria donde se localizan los datos a procesar, desplazamientos u otras instrucciones. La longitud del campo operando puede ser de 0, 8, 6 ó 16 bits. En la figura VIII.7 se ilustra la disposición del formato de una instrucción.

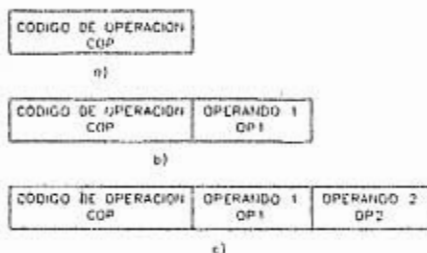


FIG. VIII.7 Disposición del formato de instrucción

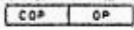
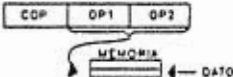
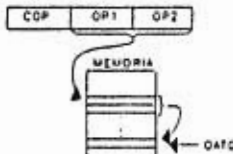
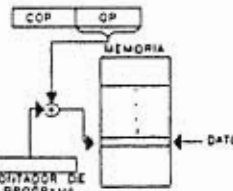
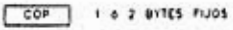
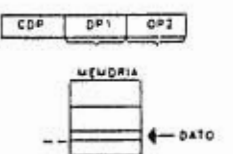
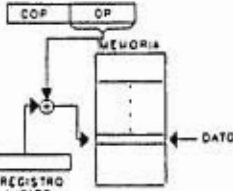
VIII.2.6 Modos de direccionamiento

Son las técnicas utilizadas por el microprocesador para acceder a la información que se desea procesar, es decir, es la forma con la que se identifica la situación de los operandos que participan en la ejecución de una instrucción y el lugar donde se deposita el resultado. Para acceder a posiciones de memoria se puede realizar de forma consecutiva o aleatoria, en ambos casos deben cubrirse dos puntos básicos: la generación de la posición de memoria y el uso que se le debe dar a la misma con la finalidad de:

- a) Encontrar el operando a procesar, en caso de lectura de memoria.
- b) Colocar el resultado de una operación, en caso de escritura en memoria.

Estas técnicas son importantes de tomar en cuenta por la trascendencia que tienen al momento en que se ejecuta una instrucción, por la flexibilidad de programar y por necesidades de capacidad de memoria. Los modos de direccionamiento más representativos se describen en la tabla VIII.2.

TABLA VIII.2

MODO DE DIRECCIONAMIENTO	DESCRIPCION	REPRESENTACION
INMEDIATO	FORMA DE INDICAR AL MICROPROCESADOR QUE EL DATO SE ENCUENTRA INMEDIATAMENTE DESPUES DEL CODIGO DE OPERACION. INSTRUCCION DE DOS BYTES	
DIRECTO	FORMA DE INDICAR AL MICROPROCESADOR QUE DESPUES DEL CODIGO DE OPERACION SE PROPORCIONA LA DIRECCION DE MEMORIA DONDE SE ALMACENA EL DATO A PROCESAR	
INDIRECTO	FORMA DE INDICAR AL MICROPROCESADOR QUE DESPUES DEL CODIGO DE OPERACION SE PROPORCIONA LA POSICION DE MEMORIA CUYO CONTENIDO Y EL DE LA DIRECCION SIGUIENTE CONFORMAN LA DIRECCION DE OTRA LOCALIDAD DE MEMORIA DONDE SE LOCALIZA EL DATO A PROCESAR	
RELATIVO	FORMA DE INDICAR LA DIRECCION DE MEMORIA DONDE SE ENCUENTRA EL DATO A EMPLEAR. PARA ELLO, SE EMPLEA AL CONTADOR DE PROGRAMA AL CUAL SE LE SUMA EL VALOR QUE SE ENCUENTRA EN EL CAMPO DEL OPERANDO DE LA INSTRUCCION. ESTE VALOR REPRESENTA UNA BIFURCACION CONDICIONAL, QUE PUEDE SER HACIA ATRAS O HACIA ADELANTE. ESTA BIFURCACION ESTA COMPRENDIDA ENTRE - 128 Y + 127	
IMPLICITO	TECNICA QUE ESTA RESTRINGIDA AL DIRECCIONAMIENTO DE REGISTROS INTERNOS DEL MICROPROCESADOR, DADO QUE EN EL MISMO CODIGO DE OPERACION SE INDICA LA DIRECCION DEL DATO, O DETERMINA EL REGISTRO O REGISTROS QUE CONTIENEN EL DATO	
EXTENDIDO	TECNICA DE DIRECCIONAMIENTO DONDE SE INDICA EN LA INSTRUCCION QUE DESPUES DEL CODIGO DE OPERACION SE LOCALIZA LA LOCALIDAD DE MEMORIA DONDE SE ENCUENTRA EL DATO A UTILIZAR. PARA ELLO, LOS BITS DEL OPERANDO 1 PERTENECEN A LA PARTE BAJA DE LA LOCALIDAD Y LOS BITS DEL OPERANDO 2 PERTENECEN A LA PARTE ALTA DE LA LOCALIDAD	
INDEXADO	TECNICA EN LA QUE LA DIRECCION EFECTIVA DONDE SE LOCALIZA EL DATO A UTILIZAR SE DETERMINA SUMANDO EL CONTENIDO DE UN REGISTRO LLAMADO INDICE AL BYTE QUE SIGUE AL CODIGO DE OPERACION DE LA INSTRUCCION	

VIII.3 Definición de un circuito basado en el microprocesador

El microprocesador se ha incorporado como una de las armas más poderosas en el desarrollo de circuitos electrónicos y de control. Su presencia está determinada por la complejidad de los procesos a realizar, aunado a esto los costos relativamente bajos, tanto de diseño como de mantenimiento han proporcionado aún más elementos de apoyo para emplearlo.

Considerando lo anterior y tomando en cuenta la definición propia del microprocesador, un circuito basado en el microprocesador se puede definir como:

Un sistema electrónico digital que presenta una estructura física determinada, misma que permite realizar diversas funciones a partir programas que se almacena en memoria. Es decir, es una estructura de hardware controlada por software.

En la figura VIII.8 se muestra el diagrama a bloques de la estructura física característica que presenta este tipo de circuitos, cuyos elementos básicos son:

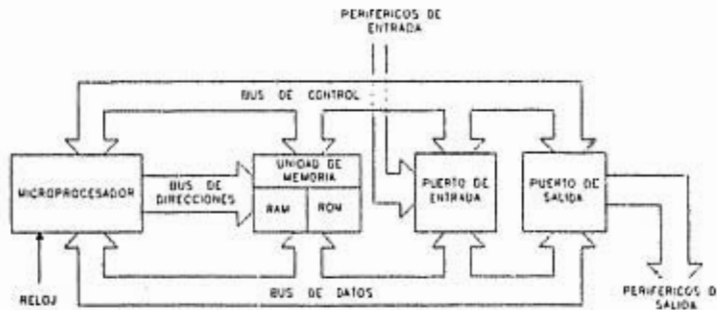


FIG. VIII.8 Diagrama a bloques de un circuito basado en el microprocesador

Microprocesador. Controla y sincroniza los recursos del circuito; tales recursos son: datos, memorias y dispositivos de entrada/salida. Se encarga de indicar el momento en que se debe transferir la información a los diferentes elementos que se encuentran conectados a él. Sus funciones en el circuito las siguientes:

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

- interpretar y ejecutar instrucciones;
- manipular datos de acuerdo a la instrucción a ejecutar; y,
- proporcionar los tiempos bajo los cuales se desarrolla cada una de las actividades dentro del circuito.

En general, todos los microprocesadores funcionan bajo los mismos principios y esquemas, diferenciándose entre sí por las características propias que presentan, entre las que están:

- tecnología de fabricación;
- voltaje de polarización;
- número de pines del IC;
- longitud de la palabra de trabajo;
- flexibilidad en la programación;
- conjunto de instrucciones;
- velocidad de operación;
- capacidad de direccionamiento;
- niveles de interrupción; y,
- estructura física.

Unidad de memoria. Parte importante del circuito basado en el microprocesador, en ella se almacenan programas y datos que en su momento puedan ser empleados por el microprocesador. Esta unidad se compone de memorias de sólo lectura y de acceso aleatorio.

La memoria de sólo lectura, mejor conocida como ROM, es un dispositivo en el que se almacena un conjunto fijo de información en patrones de 0's y 1's, ésta se enclava en la memoria para formar un conjunto de conexiones dada la aplicación en particular. Externamente cuenta con n líneas de entrada denominadas de dirección y m líneas de salida.

Internamente una memoria ROM está configurada como un circuito combinacional con operadores AND y operadores OR, obteniéndose con ello una configuración de dos niveles en forma de suma de minterminos. Sin embargo, no es necesario que sea una configuración de AND-OR, si no cualquier otra para generar minterminos de dos niveles.

La función de una memoria ROM puede interpretarse de dos formas; la primera como una unidad combinacional, donde cada salida se considera como una función de Boole expresada en suma de minterminos. La segunda como una unidad de almacenamiento donde se tiene un patrón de 0's y 1's fijos en grupos de 8 bits denominados palabras.

Por su parte, la memoria de acceso aleatorio (RAM) es un dispositivo donde se almacena información para ser utilizada posteriormente y si es necesario pueda modificarse en cualquier momento. Es una memoria de actividad intensa debido a la gran cantidad de información que recibe y entrega a los elementos del circuito.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Externamente una RAM esta configurada igual que una memoria ROM, analizándose funcionalmente de la misma forma, con la diferencia de que en la memoria RAM se cuenta con la operación de escritura.

Unidad de E/S. Permite la comunicación del microprocesador con los elementos externos conectados al circuito. A través de esta unidad fluye la información de o hacia el circuito para de esta forma llevar a cabo el control de todo un proceso.

La estructura de esta unidad puede resultar simple o compleja, en realidad esta depende de la aplicación en particular. Unidad que puede estar conformada por buffer, registros triestado o por dispositivos especiales. Pero, independientemente de como este conformada, las funciones principales que realiza son las siguientes:

- Identificar la dirección del flujo de datos.
- Adaptar, a través de los buses, físicamente al microprocesador con los periféricos conectados al circuito.
- Sincronizar y controlar la transferencia de información, para con ello garantizar el flujo de datos entre el microprocesador y los periféricos conectados al circuito.
- Interpretar las señales que envía el microprocesador y que se pueden generalizar en lectura y escritura.

Medio de comunicación (bus). Permite el intercambio mutuo de información entre los diferentes elementos del circuito. Esta conformado por tres tipos de bus, estos son:

Bus de control. Por éste fluyen todas las señales que se utilizan para coordinar y sincronizar el funcionamiento de cada uno de las unidades que conforman al circuito basado en el microprocesador, para que de esta manera se puedan realizar las diferentes funciones del circuito de forma correcta. El número de líneas de este bus varía de acuerdo al tipo de microprocesador que se utilice.

Bus de direcciones. A través de éste, el microprocesador envía la dirección de la localidad de memoria que debe leerse en un momento específico o hacia la cual se dirige la información que esta presente en el bus de datos. También es utilizado para direccionar el puerto de entrada/salida.

Bus de datos. Es el encargado de transportar la información requerida por los diferentes elementos, es decir, por el fluyen los datos de o hacia la unidad de memoria o unidad de entrada/salida. Así también, por el fluyen las instrucciones que requiere el circuito basado en el microprocesador.

VIII.4 El diseño de circuitos basados en el microprocesador

Para diseñar un circuito basado en el microprocesador es necesario cuantificar tres áreas, mismas que permitan optimizar el funcionamiento del circuito. Estas áreas se refieren a la estructura física, a la estructura lógica y a la síntesis del circuito.

Antes de proceder con el diseño de la estructura física de un circuito basado en el microprocesador, es importante estar familiarizado con el hardware disponible en el mercado, el cual será utilizado en la implementación del circuito. Para ello, es necesario conocer de cada dispositivo, sus funciones, operación y organización lógica lo cual permitirá de alguna forma u otra determinar los alcances y limitaciones en las tareas a realizar por el circuito a implementar. El conocer cada dispositivo, tanto física como funcionalmente, representa un avance importante para llevar a cabo las conexiones correspondientes en la estructura física resultante.

Por su parte, en el diseño de la estructura lógica es importante que se conozca el conjunto de instrucciones del microprocesador, así como la función de cada una de ellas. Esto permitirá combinarlas correctamente en el desarrollo de los programas que satisfagan la o las funciones deseadas, dada la estructura física correspondiente.

La integración de la estructura física y de la estructura lógica corresponde a la síntesis del circuito. Para ello, deben seguirse una serie de pasos que permitan obtener el circuito final. Esta integración depende en gran medida de la habilidad, capacidad e ingenio del diseñador para lograr un circuito confiable, eficaz y útil.

Lo anterior permite establecer que el diseño de circuitos basados en el microprocesador es un proceso que requiere de habilidad, capacidad e ingenio por parte del diseñador para utilizar toda la información existente en el momento más idóneo y de acuerdo a las necesidades existentes. En la figura VIII.9 se proporcionan los pasos (desde un punto de vista particular) que deben seguirse en el diseño de un circuito basado en el microprocesador.

Puntos importantes en el diseño de circuitos basados en el microprocesador son:

Análisis estático

Un circuito basado en el microprocesador se implementa realizando la conexión de diferentes circuitos integrados digitales con características particulares; por lo que es importante que se verifique la compatibilidad de los circuitos que se deberán de emplear.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

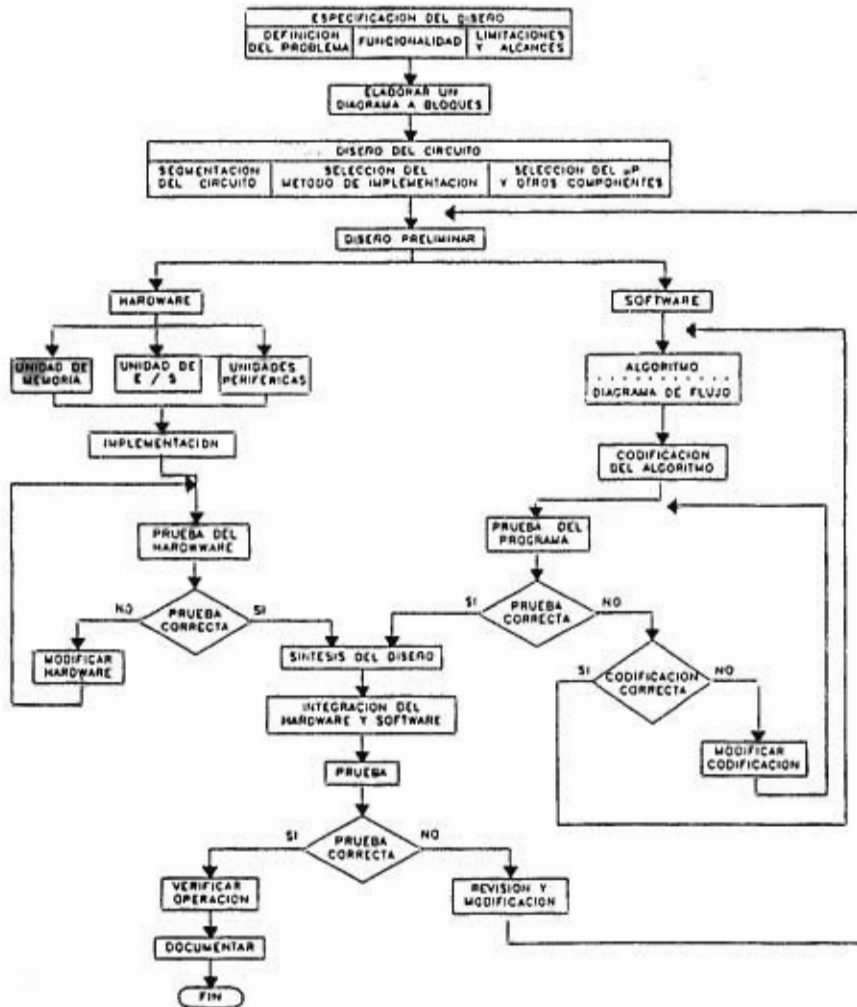


FIG. VIII.9 Procedimiento de diseño de un circuito basado en el microprocesador
Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Para realizar un buen análisis estático deben considerarse, tanto los niveles de voltaje como las condiciones de carga de entrada y salida a las que estarán sujetos cada uno de los dispositivos que conformaran al circuito basado en el microprocesador. Los valores que proporciona el fabricante en las hojas de datos no deben ser excedidos bajo ninguna circunstancia.

Es frecuente conectar dispositivos que presenten niveles de voltaje perfectamente definidos en sus salidas, pero también es común emplear dispositivos donde sus salidas presentan un tercer estado y a los cuales se les denomina circuitos de salida triestado. Estos son de tecnología TTL o MOS; en realidad un circuito basado en el microprocesador emplea dispositivos de ambas tecnologías para aprovechar las características propias de los mismos.

La compatibilidad en los niveles de voltaje, tanto de las entradas como de las salidas en los circuitos TTL y MOS se han estandarizado, que no deben presentarse fallas en este sentido cuando se realiza la conexión de dispositivos de ambas tecnologías. Sin embargo, es preciso verificar en las hojas de datos los valores de los niveles de voltaje, dado que pueden presentarse variaciones en algunos de sus valores.

En lo referente a las condiciones de carga, se tiene que realizar un análisis muy cuidadoso, dado que de los resultados obtenidos se determina la capacidad real de conexión de los diferentes dispositivos ha utilizar. Este análisis debe llevarse a cabo en cada salida de los circuitos integrados para ambos niveles lógicos de voltaje y considerando el peor de los casos.

En la figura VIII.10 se muestra como deben de considerarse los niveles de voltaje y corrientes en un circuito digital.

El análisis estático es importante que se realice sobre todo en aquellos circuitos donde es más factible se presenten algunos problemas, como es el caso de los circuitos LSI y VLSI. En el análisis de las condiciones de carga deben involucrarse tres tipos de carga, estas son: entradas TTL, MOS y salidas triestado, cuyos valores estandarizados se proporcionan en la tabla VIII.3. En la figura VIII.11 se muestra como deben considerarse los valores de la tabla VIII.3 en un circuito basado en el microprocesador.

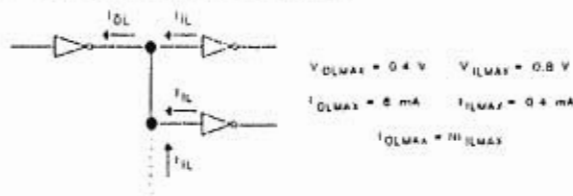
Análisis dinámico

Este consiste en verificar la transferencia de información entre los diferentes dispositivos que conforman a un circuito. Para ello se requieren los diagramas de tiempo de cada dispositivo, estos diagramas representan señales que indican los tiempos en los cuales se puede realizar la transferencia de información.

Cada proceso en la transferencia de información requiere de un análisis dinámico por separado, debido principalmente a que los procesos que se suceden no se llevan a cabo de la misma forma. Es preciso indicar que no se dispone de un método sistemático para realizar un análisis de este tipo, tal y como sucede en el análisis estático, sólo con la práctica se podrá realizar en forma correcta.

El análisis dinámico se enfoca a todos aquellos dispositivos que reciben o dirigen información, tal es el caso del microprocesador, memorías ROM y RAM, puertos de entrada y salida, etc.

PARA UN NIVEL DE VOLTAJE BAJO EN LA SALIDA



PARA UN NIVEL DE VOLTAJE ALTO EN LA SALIDA

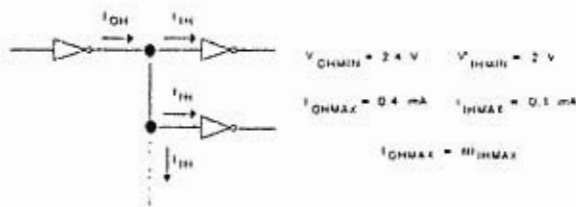


FIG. VIII.10 Análisis estático en un circuito digital

TABLA VIII.3

TECNOLOGIA	NIVEL BAJO I_{ILMAX}	NIVEL ALTO I_{IHHMAX}
TTL	- 0.4 mA	20 μ A
MOS	10.0 μ A	10 μ A
BIESTADO	- 20.0 μ A	20 μ A
<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> TTL MOS </div>		

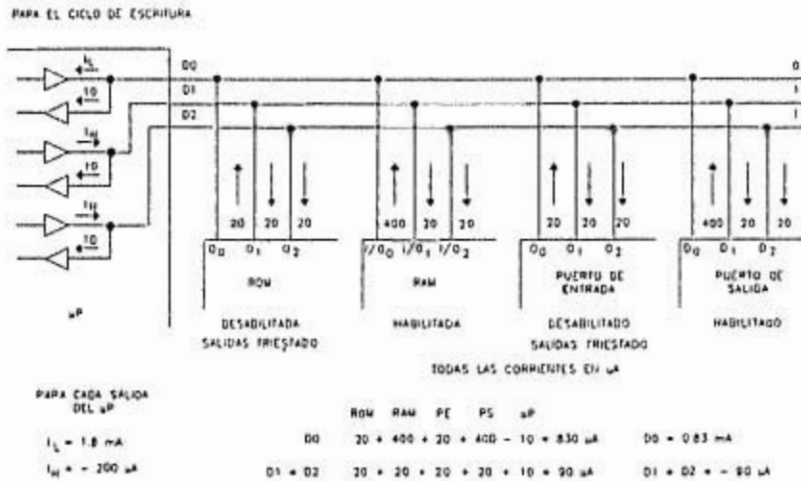


FIG. VIII.11 Análisis de condiciones de carga en un circuito basado en el microprocesador

El proceso de lectura de datos en una RAM es un caso típico donde debe realizarse un análisis dinámico; este se muestra en la figura VIII.12.

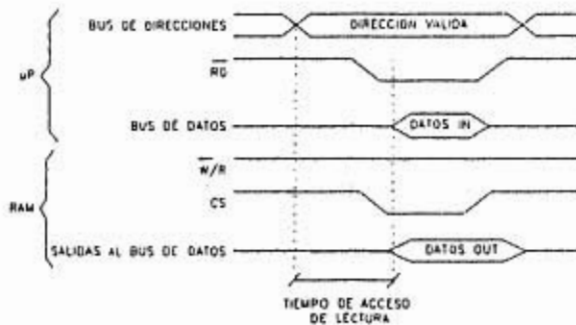


FIG. VIII.12 Análisis dinámico del proceso de lectura en una RAM

VIII.5 Descripción de que es un sistema mínimo

Físicamente un sistema mínimo se implementa tomando en cuenta cada dispositivo que lo conforma, los cuales deben habilitarse y deshabilitarse en los tiempos adecuados para que no se traslapen las operaciones que realizan y, con ello no se active más de un dispositivo para una dirección en particular. Esto sólo es posible asignando grupos de localidades para cada dispositivo y a los cuales se les denomina campos de direcciones, también conocidos como mapa de memoria.

La asignación de los campos de direcciones se lleva a cabo a partir del espacio de memoria que es direccionable por el microprocesador, así como por el tamaño del sistema, las entradas de habilitación y líneas de dirección de cada dispositivo. Una forma típica de representar estos campos se muestra en la figura VIII.13.

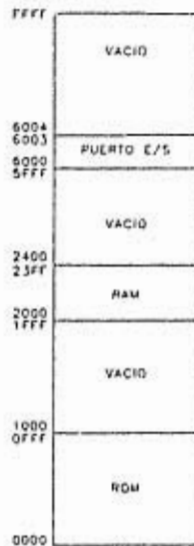


FIG. VIII.13 Representación del mapa de memoria

A través del mapa de memoria se determina como se va a conectar cada dispositivo al bus de direcciones del microprocesador. Pero, también se tienen que conectar al bus de datos y control; a este último el fabricante del microprocesador proporciona generalmente algunas recomendaciones de como emplear cada línea del bus de control para que se realicen las conexiones pertinentes y de esta forma hacer un sistema funcionable.

VIII.5.1 Selección de los dispositivos para un sistema mínimo

MICROPROCESADOR

En general cualquier microprocesador puede utilizarse en tanto cumpla con los requisitos necesarios del sistema donde se desea emplear; para ello deben considerarse los alcances y limitaciones del mismo. Pero, el mayor problema al momento de seleccionar al microprocesador, radica en la determinación de las condiciones que deben satisfacerse, lo que requiere de experiencia, capacidad y habilidad para llevar a cabo dicha selección. Es importante que en la selección del microprocesador se tomen en cuenta las consideraciones siguientes:

Hardware

Estructura física. Conocer la presentación y distribución de pines; es de interés para determinar el número y función de los mismos.

Arquitectura. Es importante conocer la organización interna del microprocesador, porque a partir de ella se pueden entender las operaciones que realiza. Punto de interés, es verificar el tipo y número de registros internos.

Dispositivos de soporte. Verificar la disponibilidad de una familia de dispositivos que soportará el sistema.

Disponibilidad. Es necesario considerar la existencia en el mercado de cada uno de los dispositivos que conformarán el sistema.

Capacidad de carga. Máxima carga posible que soportará cada una de las salidas de los dispositivos, para ello debe realizarse el análisis estático correspondientes. En este punto es importante conocer las características eléctricas del microprocesador en particular, para con ello garantizar que trabaje dentro de límites seguros. Dado que la exposición a condiciones máximas durante períodos prolongados pueden afectar seriamente la confiabilidad del dispositivo o causar daños irreversibles en sus estructura interna.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Software

Conjunto de instrucciones. Verificar número y tipo de instrucciones a las cuales responde el microprocesador. Un número elevado de instrucciones puede facilitar la programación del dispositivo; sin embargo, no necesariamente el número de éstas facilitan la programación si no la utilidad que se le da a cada una de ellas.

Longitud de palabra. Número de bit que conforma la palabra de trabajo del microprocesador.

Tiempo de ejecución de cada instrucción: Tiempo necesario para llevar a cabo cada una de las instrucciones disponibles.

Forma de acceder los datos. Verificar los diferentes modos de direccionamiento con los cuales puede trabajar el microprocesador.

MEMORIA

Parte importante en un sistema mínimo, permite el almacenamiento del programa y de los datos requeridos por el sistema. Para seleccionarla debe considerarse:

Modo de funcionamiento. Existen dos tipos

- Memoria de acceso aleatorio (RAM), permite la inscripción de información a través del proceso de escritura y la extracción de la misma por medio del proceso de lectura.
- Memoria de sólo lectura (ROM), donde se almacena la información que sólo es leída por el microprocesador.

No volátil. Una memoria es volátil cuando pierde la información al momento de eliminar la energía, por lo que se recomienda que no sea volátil.

Velocidad. Debe considerarse

- a) Tiempo de acceso necesario para obtener la información, previa petición de lectura.
- b) Tiempo de ciclo mínimo que separa dos llamadas sucesivas de memoria.

Capacidad. Número de palabras que pueden almacenarse en la memoria y que está determinada por $2^n \times m$, donde n es el número de líneas de dirección y m son las líneas que conforman a la palabra.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Consumo de energía. Que sea el mínimo posible.

Precio. Debe ser moderado y se determina como sigue:

$$P = \frac{CTD + ALM}{NP}$$

donde

CTD: costo total del dispositivo
 ALM: costo de almacenamiento
 NP: número de palabras almacenadas

PUERTO DE ENTRADA/SALIDA

Permite la comunicación entre el microprocesador y los dispositivos periféricos. Su selección es un paso importante al momento de diseñar cualquier sistema basado en el microprocesador. La complejidad del puerto varía y va desde aquellos que se implementan empleando sólo buffer, FF's o registros triestado, hasta aquellos que son programables. Para seleccionar al puerto de entrada/salida debe considerarse la complejidad del sistema a implementar, el costo y la velocidad.

VIII.5.2 Conexión de los dispositivos de un sistema mínimo

MEMORIA ROM

Una memoria ROM cuenta con n líneas de dirección y m líneas de salida mismas que deben conectarse, respectivamente, a los buses de dirección y datos del microprocesador. Su control se realiza a través de dos líneas con las cuales se accede a la información que contiene. Para definir el espacio de memoria que ocupará y con ello ser direccionada por el microprocesador se puede realizar de diferentes formas, dos de ellas se muestran en la figura VIII.14.

Punto importante ha considerar en la conexión de la memoria ROM al microprocesador, son los tiempos de operación de la memoria, los cuales deben ajustarse a los tiempos de operación del microprocesador en particular. Dado que de estos dependerá que se cumpla la secuencia que deben seguir las direcciones, los datos y las señales de control en un momento determinado. Estos tiempos se muestran en la figura VIII.15 y son los siguientes:

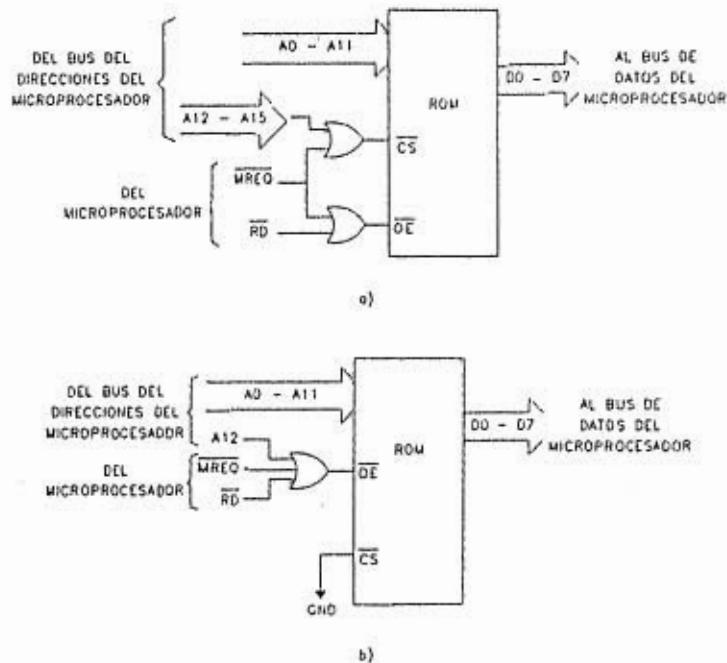


FIG. VIII.14 Conexiones de la ROM al microprocesador

Tiempo de acceso. Tiempo necesario para leer un dato válido en memoria. Este deberá ser menor al tiempo que se presenta entre la aparición de la dirección y el momento en que el microprocesador lee el dato.

Tiempo de acceso de selección. Tiempo de selección de la memoria; éste deberá ser menor al tiempo que transcurre entre la señal de habilitación de la ROM y el momento en que el microprocesador lee el dato.

Tiempo de ciclo de lectura. Tiempo que indica la velocidad con la que se pueden leer las diferentes localidades de la ROM.

Tiempo de mantenimiento de datos en la salida. Tiempo en que el dato permanece una vez que ha cambiado la dirección.

Tiempo de mantenimiento de datos hasta que se deshabilita la memoria. Tiempo en que el dato permanece en la salida cuando se ha inhibido a la ROM.



FIG. VIII.15 Tiempos de operación de la ROM

MEMORIA RAM

Esta memoria cuenta con n líneas de direcciones, m líneas de entrada/salida de datos, líneas de habilitación (CS) y de escritura/lectura (W/R). La RAM debe habilitarse cuando el microprocesador lleve a cabo la transferencia de información con alguna localidad de memoria dentro del espacio del mapa asignado a la misma.

El campo de direcciones se define de acuerdo al tipo de memoria RAM a utilizar. Por ejemplo, si es la 2114 la conexión puede realizarse de diferentes formas, dos de ellas se muestran en la figura VIII.16.

Cabe aclarar que suelen implementarse sistemas en los cuales no es necesario emplear la memoria RAM, dado que la aplicación en particular no la requiere, a estos sistemas se les denomina circuitos básicos con microprocesador.

Al igual que en una ROM, en la memoria RAM es importante considerar los tiempos de operación de la misma para ajustarlos a los del microprocesador en particular. Estos tiempos se muestran en la figura VIII.17 y son los siguientes:

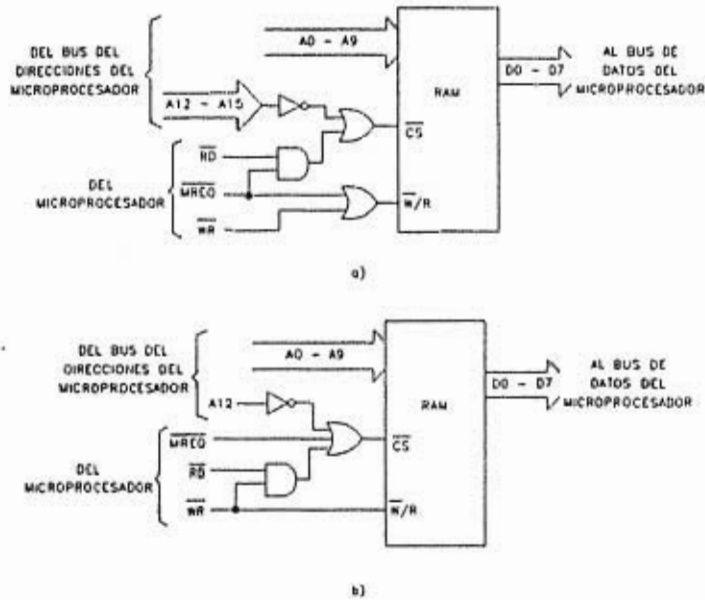


FIG. VIII.16 Conexiones de la RAM al microprocesador

Tiempo de acceso de escritura. Tiempo necesario para estabilizar la dirección donde se desea guardar el dato antes de que se presente la señal de escritura. Este deberá ser menor al tiempo que se presenta entre la aparición de la dirección y el momento en que el microprocesador lee el dato con respecto a la señal de escritura que genera el mismo.

Tiempo mínimo de escritura. Tiempo en que se realice la escritura del dato en la RAM; éste deberá ser menor al tiempo de la señal de escritura generada por el microprocesador.

Tiempo de ciclo de escritura. Tiempo mínimo en que debe permanecer la dirección en el proceso de escritura.

Tiempo de duración de datos. Tiempo en que el dato se mantendrá una vez que la señal W/R cambia de un bajo a un alto.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Tiempo de habilitación. Tiempo en que permanece estable la dirección donde se desea almacenar el dato durante los procesos de habilitación y escritura de la RAM. Este deberá ser menor al generado por el microprocesador en el período de habilitación de la RAM y la aparición de la señal de escritura.

Tiempo de mantenimiento de datos. Tiempo en que el dato se mantiene estable en el período de escritura de datos en memoria. Tiempo que deberá ser menor al período en que el microprocesador coloca el dato en el bus correspondiente hasta el momento de escritura.

Tiempo de recuperación de escritura. Tiempo en que la dirección deberá mantenerse cuando la señal W/R cambia de un bajo a un alto.

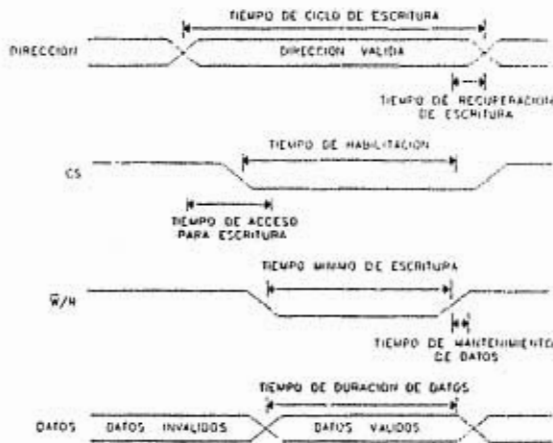


FIG. VIII.17 Tiempos de operación de la RAM

PUERTO DE ENTRADA/SALIDA

Si el puerto de entrada/salida se va a implementar con dispositivos SSI y MSI, las conexiones a realizar con el microprocesador son las mostradas en la figura VIII.18. A ésta conexión se le denomina mapeada en memoria, dado que tanto localidades de memoria como los puertos de entrada/salida son consideradas registros externos, desde el punto de vista del microprocesador. De esta forma, la señal de petición de entrada/salida no se emplea y por tanto las señales de control requeridas por el puerto se derivan solamente de las direcciones y señales de lectura y escritura.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Por el contrario, si se hace uso de la señal de control de petición de entrada/salida del microprocesador la conexión ha realizar sería la mostrada en la figura VIII.19.

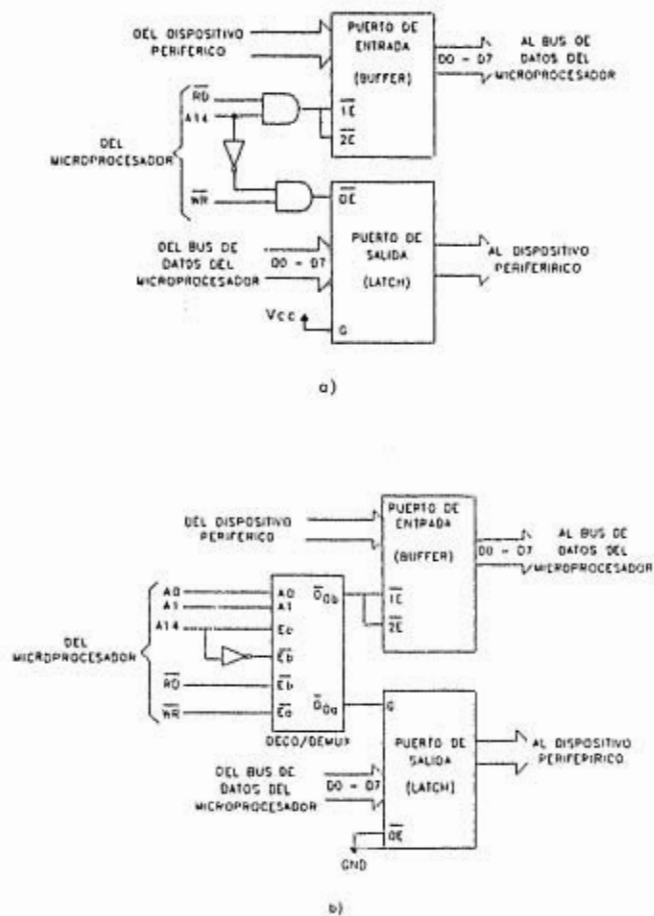


FIG. VIII.18 Conexión de un puerto E/S al microprocesador con dispositivos SSI y MSI

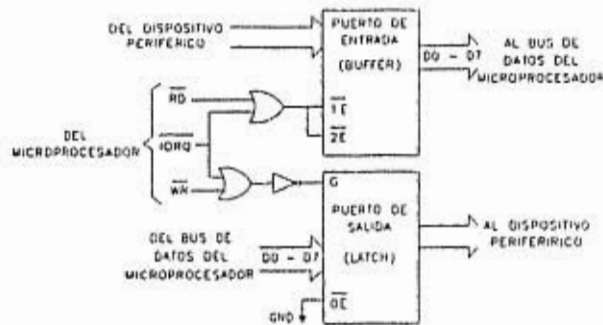


FIG. VIII.19 Conexión de un puerto E/S al microprocesador empleando la señal de petición de entrada/salida

Si el puerto de entrada/salida es un dispositivo LSI, la conexión a realizar es la mostrada en la figura VIII.20. Este tipo de puerto facilita la conexión con los buses del sistema, dado que dispone de las líneas de adaptación directa con las líneas de control respectivas del microprocesador, y sólo es necesario la decodificación de las líneas de dirección.

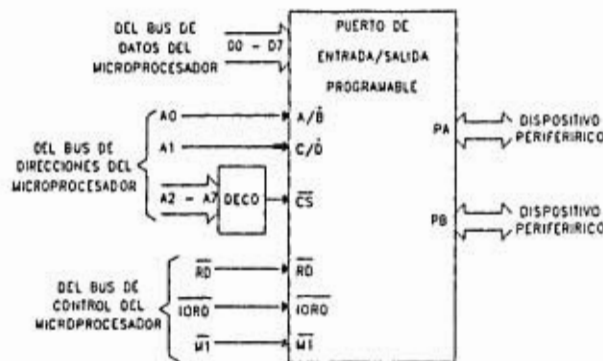


FIG. VIII.20 Conexión de un puerto E/S LSI al microprocesador

CIRCUITO OSCILADOR

Este debe proporcionar una señal de reloj que sincronice la operación interna del microprocesador y del sistema en general. Esta señal debe ser de una sola fase con niveles TTL, su frecuencia es recomendable que sea inferior, pero lo más cercana, a la máxima que proporciona el fabricante del microprocesador. Frecuentemente es considerado como el corazón del sistema mínimo, ya que sin él, el microprocesador y en general el sistema no funciona.

El circuito oscilador debe contener un cristal de cuarzo que lo controle, sobre todo cuando se desea que el microprocesador trabaje con gran precisión y estabilidad. Al cristal se conectan dos inversores realimentados. La señal de salida (que es aproximadamente una señal senoidal) se hace pasar por un inversor para darle forma y con ello cumpla con las características deseadas. Sin embargo, las características de la misma dependen del microprocesador en particular. Los circuitos osciladores típicos se ilustran en la figura VIII.21

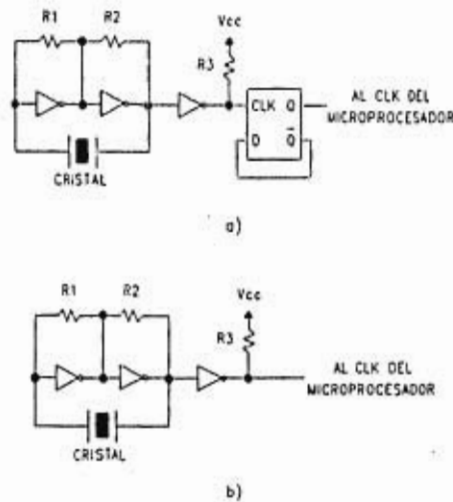


FIG. VIII.21 Circuitos osciladores típicos

CIRCUITO DE RESTABLECIMIENTO

Este es uno de los circuitos de apoyo más importantes de un microprocesador. Su función consiste en generar una señal que permita restablecer la operación del microprocesador y de esta manera colocarlo en un estado inicial conocido. Esto es indispensable sobre todo, cuando se enciende la fuente de alimentación por primera, donde los elementos internos del microprocesador (principalmente los registros y los flip-flops) adoptan valores aleatorios, provocando con ello que la operación del sistema resulte impredecible o que de plano el microprocesador no funcione en absoluto.

Otra situación en la que la señal de este circuito es necesaria, es en aquellos casos en los que se desea detener la ejecución de un programa, el cual no está corriendo como debe ser. Por tanto, cuando se restablece la operación del microprocesador, se le indica que debe regresar al inicio de su programa y con ello pueda iniciar de nuevo la ejecución del mismo. Debe tenerse presente que cuando la señal de reset es activa, tanto el bus de datos como el de direcciones se ponen en alta impedancia y que todas las señales de control pasan a un estado inactivo.

Los circuitos de restablecimiento más comunes se muestran en la figura VIII.22.

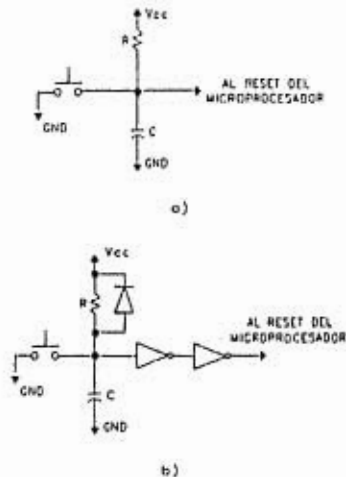


FIG. VIII.22 Circuitos de restablecimiento

FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación provee la energía que requiere el microprocesador y el sistema mínimo en general. En la gran mayoría de los casos el voltaje de polarización es de +5 Volts y GND; sin embargo, existen algunos microprocesadores que requieren de +10 Volts y GND, +12 Volts y GND ó ±5 Volts. Así también, además de proveer de energía a los circuitos del microprocesador, el voltaje de la fuente de alimentación también indica que voltajes reconocerá el microprocesador como dígito "1" ó "0".

Se tiene que tener presente que la fuente con la que se polarice al microprocesador y al sistema en general deberá contener un nivel de rizo lo más bajo posible, dado que un valor alto de éste puede causar graves problemas, mismos que son el resultado de alteraciones en los niveles lógicos con la misma frecuencia del rizo, que pueden ser altamente intermitente.

VIII.5.3 Sistemas mínimos

Se han descrito las características básicas de cada uno de los elementos que conforman a un sistema mínimo, así como algunas formas de como realizar la conexión de los diferentes dispositivos que lo conforman. Tomando en consideración esto, se describen a continuación tres sistemas mínimos básicos en los que se involucran al microprocesador Z-80.

CIRCUITO BASICO CON Z-80

Circuito típico que frecuentemente se utiliza para comprender el funcionamiento del microprocesadores Z-80, por lo que se realiza una transcripción del mismo.

El circuito esta definido de tal forma que se puedan observar y entender las diferentes señales que se generan en el microprocesador cuando interactúa con otros dispositivos. El circuito básico no muestra en realidad las múltiples aplicaciones que hoy en día tiene todavía el Z80, aún cuando es un dispositivo que ya tiene más de 25 años que salió al mercado.

La organización del circuito lo constituye la distribución del mapa de memoria que es direccionable por el Z-80. De los 65K de memoria disponibles, los primeros 4K comprendidos entre la 0000H y la 0FFFH, se han asignado a la memoria EPROM. Las direcciones del puerto de entrada y puerto de salida (formado por un 74244 y un 74373) se encuentran entre la 4000H y la 4003H.

Si se desea emplear alguna subrutina el registro HL permite almacenar temporalmente la dirección de retorno al programa principal a través de la instrucción JP(HL). Para almacenar resultados parciales se pueden utilizar los registros internos del Z-80, siendo estos suficientes, para pequeñas aplicaciones.

Para leer la memoria EPROM se han empleado las líneas RD del bus de control y A14 del bus de direcciones, las cuales se han combinado a través de una OR cuya salida se ha conectado al pin de habilitación de salidas (OE) de la memoria.

El puerto de entrada y el puerto de salida se habilitan por medio del dispositivo 74155, lo que permite realizar la lectura o escritura de datos según sea el caso. Para ello, se emplean las líneas RD y WR del bus de control y las líneas del bus de direcciones A0, A1 y A14. Esta conexión permite el mapeo de puertos en memoria; logrando por ende, que la línea IORQ del bus de control del microprocesador no se ocupe.

Las líneas de entrada del bus de control que no se ocupan se conectan a Vcc para inhabilitarlas, y las de salida se dejan sin conectar.

El circuito oscilador contiene un cristal de cuarzo de 4 MHz conectado a dos inversores realimentados. La señal de salida es aproximadamente senoidal, esta se hace pasar por un inversor para darle forma, aplicándose posteriormente a un flip-flop en cuya salida se tiene una señal de reloj de 2 MHz, que es la requerida por el Z-80 (debe tenerse presente que existen Z-80 que trabajan a frecuencias superiores, si es así, es necesario cambiar el cristal de cuarzo para no alterar el funcionamiento del microprocesador) para funcionar adecuadamente.

SISTEMA MÍNIMO CON Z-80

La diferencia de este sistema mínimo con respecto al circuito básico es que el sistema mínimo contiene la memoria de acceso aleatorio, lo que permite almacenar los resultados parciales, así como las direcciones de retorno de subrutina.

La distribución de campos de memoria es similar al del circuito básico; sin embargo, se describe a continuación la organización de dichos campos para entenderlo con mayor facilidad. Los primeros 4K se han asignado a la memoria EPROM, estos se encuentran comprendidos entre la 0000H y la 0FFFH. Para leerla se han empleado las líneas RD y MREQ del bus de control y A12 del bus de direcciones, las cuales se han combinado a través de una OR cuya salida se ha conectado al pin de habilitación de salidas (OE) de la memoria.

A la memoria RAM se le ha asignado 1K del mapa de memoria, comprendido entre la 1000H y la 13FFH. Para habilitarla se ha realizado un arreglo de operadores; este arreglo consta de un operador AND donde se combinan las líneas RD y WR del bus de control del microprocesador, la salida de la AND se combina con las líneas MREQ del bus de control y A12 del bus de direcciones (está se hace pasar por un inversor) a través de una OR; así la salida de la OR se conecta al CS de la memoria. Para leer la memoria o escribir en ella se ha conectado la línea WR del bus de control del microprocesador al pin W/R de la memoria RAM.

El puerto de entrada se habilita combinando las señales RD e IORQ del bus de control del microprocesador a través de un operador OR, donde la salida de éste se conecta al enable del puerto de entrada. Para habilitar al puerto de salida se han utilizado las líneas WR e IORQ del bus de control del microprocesador, las cuales se han combinado por medio de una OR, y la salida de ésta se hace pasar por un inversor para conectarse posteriormente al pin de habilitación del puerto de salida.

Los circuitos de restablecimiento y de reloj son los mismos del circuito básico los cuales han sido descritos en su momento.

SISTEMA MINIMO CON Z-80 Y PIO Z-80

Su organización es la siguiente, de los 65K disponibles de capacidad de memoria, los primeros 4K se han asignado a la memoria ROM, mismos que están comprendidos entre la 0000H y la 0FFFH. Para leerla se han empleado las líneas RD y MREQ del bus de control y A12 del bus de direcciones, las cuales se han combinado a través de una OR, cuya salida se ha conectado al pin de habilitación de salidas (OE) de la memoria y, para direccionar cada posición de memoria se han utilizado las doce líneas menos significativas del bus de direcciones del microprocesador.

Para la memoria RAM se ha asignado un campo de 1K, el cual está comprendido entre la 1000H y la 13FFH. El direccionamiento de la memoria RAM se efectúa con las diez líneas menos significativas del bus de direcciones del microprocesador. Para habilitarla se han utilizado las líneas WR, RD y MREQ del bus de control, así como la línea A12 del bus de direcciones (esta se hace pasar por un inversor); dichas líneas se han combinado a través de un arreglo de operadores lógicos, donde la salida del arreglo se conecta al CS de la RAM. Para leer la memoria o escribir en ella se ha conectado la línea WR del bus de control del microprocesador al pin W/R de la memoria RAM.

Al puerto de entrada/salida (PIO Z80), se le ha asignado un campo de cuatro posiciones consecutivas las cuales están comprendidas entre la C000H y la C003H. Por ello, se han conectado las líneas A0 y A1 del bus de direcciones del μ P, a las líneas B/A y C/D del PIO, permitiendo de esta manera seleccionar el puerto y el tipo de transferencia que se va a realizar entre el μ P y el PIO. En la figura VIII.23 se transcribe la tabla de direccionamiento del PIO que proporciona el fabricante.

De la tabla de la figura VIII.23, el fabricante nos establece que:

- 1.- Si C/D está a un nivel lógico bajo, entonces el bus de datos del Z-80 se ocupa para transferir datos entre el PIO y el μ P, y el registro direccionado es el A, siempre y cuando en la línea B/A del PIO se aplique un nivel lógico bajo. Si por el contrario en la línea B/A se aplica un "1", entonces el registro direccionado es el B.

LINEAS DE SELECCION		DIRECCION DEL PUERTO
C/D	B/A	
0	0	DIRPIO
0	1	DIRPIO + 1
1	0	DIRPIO + 2
1	1	DIRPIO + 3

FIG. VIII.23 Tabla de direccionamiento del PIO 280

2.- Si C/D está a un nivel lógico alto, provoca que la información presente en el bus de datos del μP sea interpretada por el PIO como un comando para el puerto A o B de acuerdo al nivel lógico que se aplique en la línea B/A.

Por otra parte, para controlar al PIO se han conectado las líneas RD, IORQ y M1; esta última se ha combinado con la señal de reset del sistema a través de una AND, a los pines RD, IORQ y M1 del PIO. Esta conexión es con la finalidad de sincronizar las operaciones internas del PIO, así como de controlar la transferencia de información. La tabla de control del PIO que proporciona el fabricante se transcribe en la figura VIII.24.

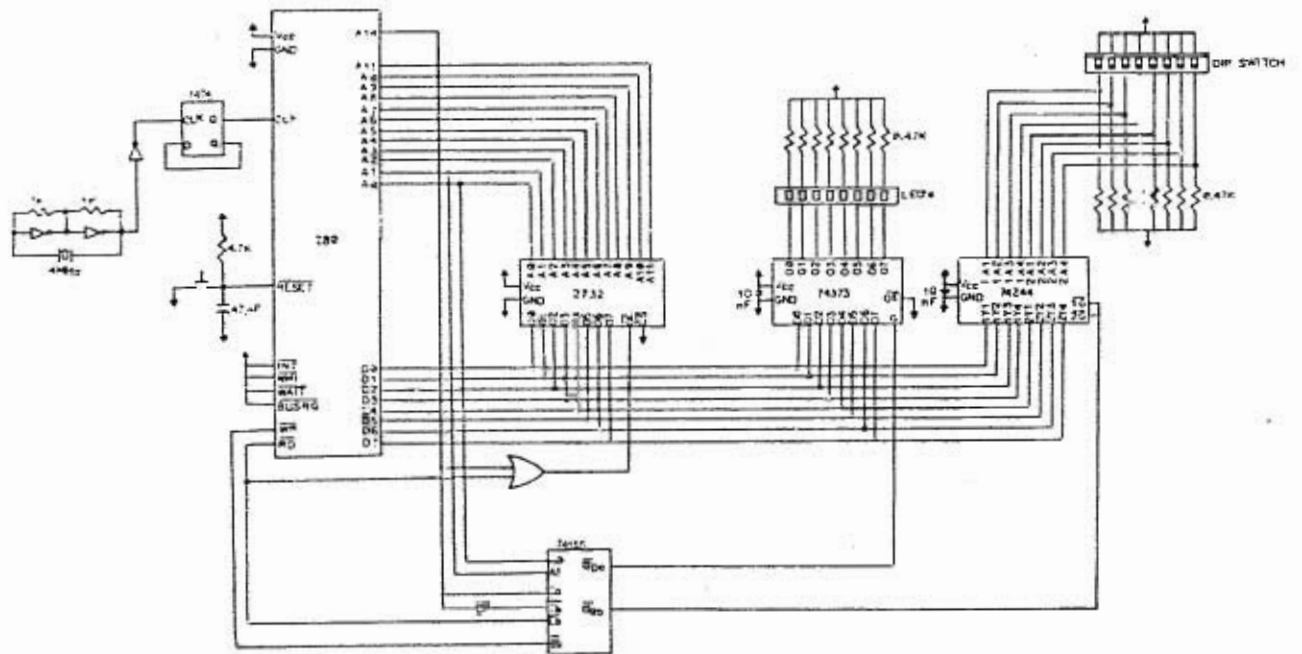
SEÑALES DE CONTROL			OPERACION	
M1	IORQ	RD	Z-80 μ PROCESADOR	PIO Z-80
0	0	0	INVALIDA	NINGUNA
0	0	1	RESPUESTA A UNA INTERRUPCION	COLOCAR EL VECTOR DE INTERRUPCION
0	1	0	OBTENCION DEL CODIGO DE OPERACION	COMPROBAR FIN DE SUBROUTINA DE INTERRUPCION
0	1	1	INVALIDA	RESET
1	0	0	LECTURA DEL PUERTO DE ENTRADA	ENVIAR DATO AL μP
1	0	1	ESCRITURA EN PUERTO DE SALIDA	ACEPTAR COMANDO O DATO DEL μP
1	1	0	ESCRITURA EN MEMORIA	NINGUNA
1	1	1	LECTURA EN MEMORIA	NINGUNA

FIG. VIII.24 Señales de control del PIO 280

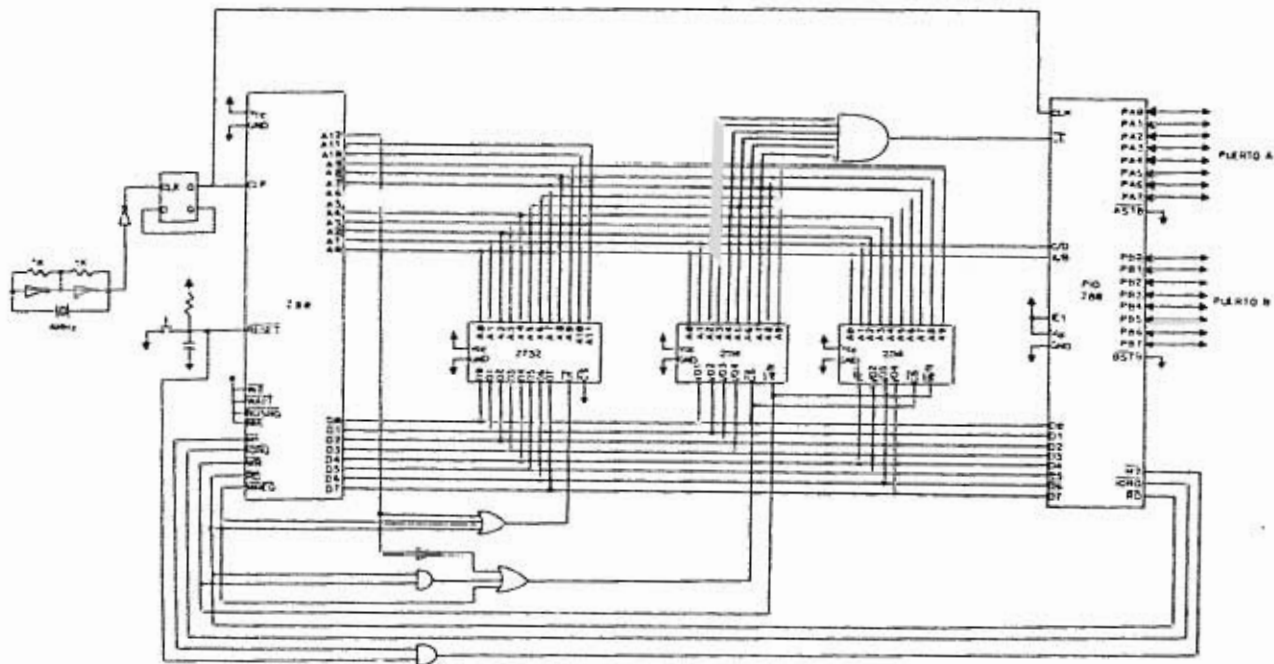
Los diagramas correspondientes a los sistemas mínimos descritos se muestran a continuación.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

CIRCUITO BASICO CON Z80



SISTEMA MINIMO CON Z80 Y PIO Z80



VIII.6 Fallas en los circuitos con microprocesador

Un circuito que involucra al microprocesador no está exento a presentar fallas; éstas suelen presentarse por diversos factores y pueden clasificarse de acuerdo a la naturaleza de las mismas, estas son:

Fallas de hardware

Fallas que por su naturaleza son causa principal de graves alteraciones en el funcionamiento de los circuitos o sistemas basados en el microprocesador; éstas se pueden dividir en técnicas y físicas. Una falla técnica es aquella que suele presentarse por mala conexión de algún elemento del sistema, por corto circuitos entre líneas, o circuitos abiertos en las líneas de comunicación de los diferentes elementos. En cambio las fallas físicas son todas aquellas que se presentan cuando algún elemento está dañado.

Es frecuente que parte de las fallas técnicas se deban a la fuente de alimentación, al circuito oscilador y al circuito de restablecimiento.

- 1.- En el voltaje que entrega la fuente de alimentación es frecuente que se presente una cantidad sustancial de ruido de alta frecuencia, éste se debe por los diversos elementos internos del microprocesador que están activándose y desactivándose de acuerdo a la frecuencia de la señal de reloj. Para evitar que dicho ruido altere el funcionamiento del microprocesador y al resto de los elementos del sistema se hace necesario colocar un filtro que entre en resonancia con la frecuencia de la señal de reloj.

Para checar la fuente de alimentación es indispensable que ésta se pruebe cuando está encendida. Para ello es recomendable utilizar un osciloscopio, dado que éste nos permitirá realizar la lectura del valor del rizo.

- 2.- En el circuito oscilador, la frecuencia y el voltaje de la señal generada es de gran interés. Si no cumple con estas dos características es probable que se presenten problemas, estos son causados básicamente por defectos en alguno de los elementos que conforman al circuito. Entre ellos el menos confiable es el cristal de cuarzo.

Si se sospecha de que el cristal esta dañado, verificar el funcionamiento del circuito cambiando el cristal. En caso de no contar con otro cristal realice un circuito oscilador con flip-flop ajustándolo a la frecuencia deseada o de operación del microprocesador.

- 3.- Para verificar la operación del circuito de restablecimiento realice un corto circuito total, esto se logra forzando al circuito. Generalmente, cuando se presentan problemas en éste, el elemento que falla es el capacitor, que al cargarse provoca un funcionamiento inadecuado del propio circuito.

Si se desea verificar el circuito de restablecimiento, desconecte su sistema de éste y pruebe solamente al circuito con un osciloscopio, si no observa ningún cambio en la señal de reset en la pantalla del osciloscopio cuando oprime el push-button, es factible que algún elemento del circuito este dañado, por lo que se debe proceder a cambiar al elemento dañado. Si por el contrario, el circuito si genera correctamente la señal de reset, conectese de nuevo a su sistema. Aplique energía y verifique de nuevo el funcionamiento del sistema. Si este es correcto entonces se ha resuelto el problema, en caso contrario, verifique que en la entrada reset del microprocesador no este cortocircuitada a Vcc o GND, si no es así es muy factible que el microprocesador este dañado y por consiguiente será necesario cambiarlo.

Otra falla que puede presentarse, es cuando el microprocesador se bloquea aparentando con ello estar dañado. Esto sucede generalmente cuando en las entradas del microprocesador no se ha aplicado la información correcta.

Si sucede lo anterior, primero identifique las entradas del microprocesador y posteriormente verifique si las señales están presentes. En caso de que no sea así es necesario estimular la entrada, para ello se debe forzar a la entrada correspondiente para localizar la posible falla. Esta estimulación deberá de realizarse con cuidado, dado que si no se lleva a cabo de forma correcta, pueden inyectarse corrientes o voltajes excesivos y con ello dañar al microprocesador o a los elementos del circuito externo asociado a la entrada en cuestión.

Si es necesario forzar una entrada, ésta debe aislarse (desconectarse) del circuito externo conectado a la misma. Se conecta una resistencia a la entrada del microprocesador y en el extremo libre de la resistencia se aplica un nivel bajo o a un nivel alto con una fuente de CD. Pero, debe tenerse cuidado de no aplicar un voltaje mayor al especificado por el fabricante en la hoja de datos. Si el microprocesador opera de forma normal al forzar la entrada, es indicio de que la falla se localiza en el circuito externo asociado a la entrada en prueba, por lo que se deberá de checar a dicho circuito.

Por otra parte, si las entradas son correctas, el procedimiento a seguir es verificar las salidas del microprocesador. Como las salidas del microprocesador son entradas de otros circuitos, estos últimos deben desconectarse del microprocesador y verificar su funcionamiento por separado. Para ello, aplique un voltaje no mayor al voltaje de polarización del microprocesador y observe la respuesta del circuito externo asociado a la salida en cuestión. Si éste opera de forma normal, es indicio de que el microprocesador está dañado; en caso de que dicho circuito no opere, debe repararse y verificar su funcionamiento, si opera correctamente conecte el circuito externo nuevamente al microprocesador y pruebe su sistema.

Otras fallas que pueden encontrarse son las referidas a las unidades de memoria, en ellas se debe tener cuidado con las señales de escritura, lectura, habilitación de salidas y del dispositivo. Para verificarla, es necesario desconectar toda la unidad de memoria y probarla de manera individual, si opera correctamente es factible que las líneas del bus de direcciones, datos y control estén dañadas. Si por el contrario, presentó algún problema la única solución es cambiar la unidad de memoria o elementos de la misma que estén dañados.

Con respecto a los puertos de entrada/salida los problemas más comunes son aquellos relacionados a las entradas y salidas, las cuales pueden estar corto circuitadas ya sea a Vcc o GND. Si no es así, debe verificarse el puerto de forma individual; en caso de que opere correctamente, el problema se localiza en las líneas de comunicación o en los circuitos conectados tanto en sus entradas como salidas.

Para verificar si no existen problemas en las líneas de comunicación (buses), debe checar que no existan corto circuitos entre líneas; para ello debe checar la continuidad de cada una de las líneas que conforman a los buses.

Las fallas que se describieron de forma muy breve no son las únicas que se presentan en los circuitos o sistemas basados en el microprocesador, pero son las más frecuentes y en términos generales son las que provocan el funcionamiento incorrecto de los mismos.

Por lo anterior, es necesario que los pasos que a continuación se enlistan se lleven a cabo para simplificar la determinación de las posibles fallas y puedan corregirse.

- a) Verificar el suministro de energía.
- b) Revisar la conexión de los diferentes pines de cada uno de los elementos del circuito o sistema.
- c) Revisar la continuidad de las líneas de comunicación.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

- d) Revisar que no exista corto circuito entre líneas.
- e) Revisar que todos los elementos y fuente de alimentación compartan el mismo punto común.

Si al llevar a cabo el procedimiento y sugerencias anteriores no se encuentra problema alguno, es posible que la falla se localice en el software.

Fallas de software

Los microprocesadores disponibles en el mercado son básicamente de tres tipos: de propósito general, dedicados y modulares. Cada uno reconoce su propio conjunto de instrucciones a través del cual se desarrollan programas para que el microprocesador en particular cumpla con las tareas deseadas. Sin embargo, al desarrollar los programas es frecuente cometer algunos errores, mismos que son los causantes de que el circuito o sistema falle. Las fallas que se cometen al momento de desarrollar un programa, mismas que se mencionan en la bibliografía existente sobre microprocesadores, son las siguientes:

- 1.- Inicializar las variables de manera incorrecta.
- 2.- Intercambiar el contenido de registros sin realizar el almacenamiento intermedio.
- 3.- Confundir direcciones de memoria con datos contenidos en las mismas o viceversa.
- 4.- No tomar en cuenta los acarreos y sobreflujos al llevar a cabo operaciones aritméticas.
- 5.- No almacenar el contenido de los registros antes de emplearlos nuevamente.
- 6.- En las operaciones aritméticas es frecuente intercambiar el orden de los operandos que no son conmutativos.
- 7.- En el manejo de subrutinas, generalmente se ignora los efectos de las mismas en el desarrollo del programa.
- 8.- Cuando se hace uso de tablas, es común que se pida un valor que no contenga o éste en otra tabla.
- 9.- Direccionamiento incorrecto de sectores de memoria en los cuales se desea almacenar una serie de datos.

- 10.- No emplear las etiquetas que se asignan a determinadas operaciones a realizar.
- 11.- Usar banderas que posiblemente hayan cambiado por instrucciones intermedias.
- 12.- Es frecuente incrementar al contador de programa cuando no se va a emplear.
- 13.- No definir perfectamente condiciones de decisión, es decir mantener ciclos indefinidos
- 14.- No cerrar los ciclos en los puntos convenientes. O en el empleo de subrutinas regresar al punto donde se hizo el salto a las mismas.

VIII.7 Aplicaciones del microprocesador

El microprocesador como circuito funcional ofrece gran flexibilidad para adaptarse en diversidad de aplicaciones, lo que ha dado lugar a que prácticamente todas las actividades del ser humano se han visto beneficiados con el uso de este dispositivo. Por lo que el uso del microprocesador ha sido un paso firme hacia la consecución de una meta deseada: "El desarrollo de sistemas electrónicos de gran capacidad, confiables y eficientes".

Las aplicaciones del microprocesador se pueden dividir básicamente en dos grupos, mismos que están perfectamente definidos pero, frecuentemente relacionados entre sí por las funciones que llevan a cabo. El primer grupo se orienta hacia los sistemas de computo, donde la función principal del microprocesador es la de generar datos de salida que dependan funcionalmente de un conjunto de datos de entrada. El segundo grupo en cambio, se destina a los sistemas de control, donde el microprocesador tiene como tarea primordial mantener dentro de ciertos límites de operación a otros sistemas que se encuentren conectados a él, los cuales estarán sujetos a perturbaciones o cambios que tiendan a llevar a estos últimos fuera de un rango de funcionamiento que de antemano se admitirá como aceptable. Para ello, es necesario que los sistemas que se encuentren bajo el control del microprocesador proporcionen las señales (variables) correspondientes que reflejen la naturaleza de la perturbación que afecta su funcionamiento, y de esta manera el microprocesador pueda generar las señales de corrección que permitan contrarrestar dichas perturbaciones, logrando de esta manera que los sistemas permanezcan estables.

Pero, ¿Que es lo que determina que un microprocesador pueda emplearse para una determinada aplicación? Todo diseño en el que se hace necesario utilizar a un microprocesador puede plantearse en principio como una tarea complicada, dado que para emplearlo de manera correcta se requiere entender plenamente su funcionamiento. Para ello, es importante conocer su arquitectura interna, la estructura de sus medios de comunicación (buses), sus modos de direccionamiento, sus señales de tiempo y reloj, la longitud de la palabra de trabajo, su velocidad y su conjunto de instrucciones. Así también, resulta de interés conocer las herramientas disponibles de diseño, sobre todo aquellas que permitan desarrollar el software necesario con las cuales se pueda verificar que la estructura física funcione tal y como se planea. Por tanto, se establece que las características anteriores son la clave que condicionan de un modo muy determinante el campo de aplicación del microprocesador.

Otros puntos de interés que hay que considerar para hacer uso del microprocesador son: justificar primero la decisión del porque utilizar al microprocesador. La ventaja que de ello se deriva reside, en que la naturaleza programable del microprocesador permite realizar varias tareas, tan complejas como se requiera, con sólo modificar el software de manera conveniente. Por lo que la decisión de acometer el diseño de un sistema electrónico basado en el microprocesador, esta determinada en un altísimo porcentaje por el tipo de función que debe llevarse a cabo, por las prestaciones que se desean y por una serie de características de tipo global. Y en segundo lugar, se debe tomar en cuenta que el microprocesador sólo puede ser utilizado en sistemas que cumplan con las siguientes características:

- En aquellos casos donde es necesario realizar diferentes funciones.
- Donde sea necesario que el sistema ocupe poco espacio y sea de bajo costo.
- En la sustitución de lógica aleatoria, reemplazando con ello gran cantidad de IC's SSI y MSI; tales como: flip-flops, decodificadores, registros, contadores, comparadores, etc. Logrando de esta manera facilidad para diseñar, modularidad, versatilidad, flexibilidad, confiabilidad y un consumo de energía muy bajo entre otros puntos.

Cabe mencionar que se han postulado varias estimaciones burdas en cuanto a la cantidad de IC's SSI y MSI que pueden ser sustituidas por el microprocesador, las cuales se han establecido de un 30 a 40 IC's. Sin embargo, conforme los costos de fabricación de los microprocesadores y de los dispositivos de soporte bajen, dichas estimaciones tentarán a disminuir en cierta proporción.

- Para desarrollar sistemas flexibles que puedan adaptarse a distintos equipos.

Pero, ¿Que es lo que determina que un microprocesador pueda emplearse para una determinada aplicación? Todo diseño en el que se hace necesario utilizar a un microprocesador puede plantearse en principio como una tarea complicada, dado que para emplearlo de manera correcta se requiere entender plenamente su funcionamiento. Para ello, es importante conocer su arquitectura interna, la estructura de sus medios de comunicación (buses), sus modos de direccionamiento, sus señales de tiempo y reloj, la longitud de la palabra de trabajo, su velocidad y su conjunto de instrucciones. Así también, resulta de interés conocer las herramientas disponibles de diseño, sobre todo aquellas que permitan desarrollar el software necesario con las cuales se pueda verificar que la estructura física funcione tal y como se planea. Por tanto, se establece que las características anteriores son la clave que condicionan de un modo muy determinante el campo de aplicación del microprocesador.

Otros puntos de interés que hay que considerar para hacer uso del microprocesador son: justificar primero la decisión del porque utilizar al microprocesador. La ventaja que de ello se deriva reside, en que la naturaleza programable del microprocesador permite realizar varias tareas, tan complejas como se requiera, con sólo modificar el software de manera conveniente. Por lo que la decisión de acometer el diseño de un sistema electrónico basado en el microprocesador, esta determinada en un altísimo porcentaje por el tipo de función que debe llevarse a cabo, por las prestaciones que se desean y por una serie de características de tipo global. Y en segundo lugar, se debe tomar en cuenta que el microprocesador sólo puede ser utilizado en sistemas que cumplan con las siguientes características:

- En aquellos casos donde es necesario realizar diferentes funciones.
- Donde sea necesario que el sistema ocupe poco espacio y sea de bajo costo.
- En la sustitución de lógica aleatoria, reemplazando con ello gran cantidad de IC's SSI y MSI; tales como: flip-flops, decodificadores, registros, contadores, comparadores, etc. Logrando de esta manera facilidad para diseñar, modularidad, versatilidad, flexibilidad, confiabilidad y un consumo de energía muy bajo entre otros puntos.

Cabe mencionar que se han postulado varias estimaciones burdas en cuanto a la cantidad de IC's SSI y MSI que pueden ser sustituidas por el microprocesador, las cuales se han establecido de un 30 a 40 IC's. Sin embargo, conforme los costos de fabricación de los microprocesadores y de los dispositivos de soporte bajen, dichas estimaciones tentarán a disminuir en cierta proporción.

- Para desarrollar sistemas flexibles que puedan adaptarse a distintos equipos.

- Para sustituir lógica LSI diseñada especialmente.
- En aplicaciones económicamente imposibles con tecnología anterior.
- En aquellos casos donde sea necesario almacenar gran cantidad de datos en memoria.
- Donde las operaciones lógicas y aritméticas sean numerosas.
- También cuando se requieran cambios en el tratamiento de la información, es decir, en aquellos casos donde sea necesario hacer modificaciones del programa o de las características funcionales del sistema a través del software.
- Y por último, en aquellos casos donde sea necesario el desarrollo de sistemas que puedan ser lanzados comercialmente en un corto tiempo, para acceder con ello a un mercado altamente competido.

A continuación se destacan algunas de las aplicaciones más importantes en las que actualmente se utilizan los microprocesadores.

La primera aplicación del microprocesador fue para ser utilizado como unidad central de procesamiento en computadores, misma que en la actualidad continúa siendo la más importante. Claro que para ello fue indispensable que se le adicionara memoria externa y puertos de entrada/salida, logrando con ello convertirlo en un microcomputador. Actualmente se dispone de microprocesadores muy potentes y versátiles, que en realidad son verdaderos microcomputadores en un solo chip, por ejemplo el 68HC11.

En las fabricas, podemos encontrar máquinas-herramientas, robots y equipos para el control de procesos que son controladas por sistemas basados en el microprocesador. Esto ha permitido optimizar todos los recursos disponibles, logrando con ello mejorar la productividad y calidad final de los productos que son elaborados por dichas industrias.

Por ejemplo, la industria automotriz actualmente está recurriendo más al uso del microprocesador, ello le ha permitido automatizar casi toda la maquinaria que lleva a cabo el ensamblaje de las unidades automotrices que fabrica, así como para realizar las pruebas de funcionamiento de las mismas. En las unidades que fabrican, se dispone del microprocesador para que éste supervise todo el sistema eléctrico, la mezcla de aire y gasolina en el carburador, permite fijar el ritmo de encendido de la chispa para obtener el máximo rendimiento del combustible y minimiza las emisiones de gases. Esto claro, en aquellas unidades que trabajan con los medios convencionales de funcionamiento. Sin embargo, actualmente se llevan a cabo experimentos en los que se busca diseñar automóviles eléctricos que tengan como fuente de energía al sol; en ellos el microprocesador está jugando un papel de gran relevancia para alcanzar los objetivos deseados.

El Area médica no puede ser inmune a este desarrollo de equipos con microprocesador, en realidad actualmente el microprocesador se encuentra en casi todos los equipos médicos. Un ejemplo muy palpable de esto son las computadoras, las cuales son utilizadas ampliamente para llevar historias clínicas, para elaborar diagnósticos y realizar un análisis de los mismos, en la realización de ultrasonidos, para evaluar electrocardiogramas, etc.

Las entidades financieras y de crédito (incluidos los bancos y las bolsas de valores) no se han escapado al proceso de automatización. Como sabemos las transacciones que se realizan en dichas entidades debe ser rápida, eficiente y confiable; por ello se han dispuesto de sistemas basados en el microprocesador muy desarrollados, los cuales se encuentran conectados a redes de transmisión de datos, con los que se pueden realizar cualquier tipo de transacción, ya sea financiera o comercial desde cualquier punto del mundo.

En el transporte también se refleja el uso de los microprocesadores, actualmente los podemos encontrar en los simuladores de vuelo, en los sistemas de transporte colectivo, en los submarinos, en los ferrocarriles (como el tren bala) en los aviones y no se diga en las naves espaciales.

Al microprocesador también lo podemos encontrar en gran cantidad de equipos domésticos; tales como: televisores, grabadoras, equipos de sonido, alarmas de seguridad, en la calefacción y aire acondicionado, en las videograbadoras, en lavadoras, etc.

No podemos olvidarnos de que los microprocesadores se utilizan también en las oficinas, donde la disponibilidad de computadores de propósito general han permitido que se utilicen para el control de inventarios, en la automatización de la facturación y actividades administrativas, así como para corregir textos, para el procesamiento de información, en la contabilidad, para realizar tareas de archivo, etc. Además, se pueden utilizar como bancos de datos de diversos tipos a los cuales se puede acceder contando con los medios de comunicación adecuados.

En las centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleoelectricas, térmicas y petroleras se dispone de gran cantidad de equipos que son controlados por microprocesadores, los cuales han permitido aumentar considerablemente la confiabilidad de estas centrales en su funcionamiento.

Los instrumentos de medición y equipos con los que dispone un laboratorio para realizar sus pruebas y experimentos son otras áreas en las cuales el microprocesador a incursionado de manera sorprendente. Actualmente se dispone de instrumentos muy sofisticados que permiten liberar a los científicos de gran cantidad de tareas rutinarias; entre otros instrumentos tenemos los siguientes: voltímetros digitales, osciloscopios, circuitos de prueba, medidores de distancia, analizadores lógicos, etc.

El área médica no puede ser inmune a este desarrollo de equipos con microprocesador, en realidad actualmente el microprocesador se encuentra en casi todos los equipos médicos. Un ejemplo muy palpable de esto son las computadoras, las cuales son utilizadas ampliamente para llevar historias clínicas, para elaborar diagnósticos y realizar un análisis de los mismos, en la realización de ultrasonidos, para evaluar electrocardiogramas, etc.

Las entidades financieras y de crédito (incluidos los bancos y las bolsas de valores) no se han escapado al proceso de automatización. Como sabemos las transacciones que se realizan en dichas entidades debe ser rápida, eficiente y confiable; por ello se han dispuesto de sistemas basados en el microprocesador muy desarrollados, los cuales se encuentran conectados a redes de transmisión de datos, con los que se pueden realizar cualquier tipo de transacción, ya sea financiera o comercial desde cualquier punto del mundo.

En el transporte también se refleja el uso de los microprocesadores, actualmente los podemos encontrar en los simuladores de vuelo, en los sistemas de transporte colectivo, en los submarinos, en los ferrocarriles (como el tren bala) en los aviones y no se diga en las naves espaciales.

Al microprocesador también lo podemos encontrar en gran cantidad de equipos domésticos; tales como: televisores, grabadoras, equipos de sonido, alarmas de seguridad, en la calefacción y aire acondicionado, en las videograbadoras, en lavadoras, etc.

No podemos olvidarnos de que los microprocesadores se utilizan también en las oficinas, donde la disponibilidad de computadores de propósito general han permitido que se utilicen para el control de inventarios, en la automatización de la facturación y actividades administrativas, así como para corregir textos, para el procesamiento de información, en la contabilidad, para realizar tareas de archivo, etc. Además, se pueden utilizar como bancos de datos de diversos tipos a los cuales se puede acceder contando con los medios de comunicación adecuados.

En las centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleoelectricas, térmicas y petroleras se dispone de gran cantidad de equipos que son controlador por microprocesadores, los cuales han permitido aumentar considerablemente la confiabilidad de estas centrales en su funcionamiento.

Los instrumentos de medición y equipos con los que dispone un laboratorio para realizar sus pruebas y experimentos son otras áreas en las cuales el microprocesador a incursionado de manera sorprendente. Actualmente se dispone de instrumentos muy sofisticados que permiten liberar a los científicos de gran cantidad de tareas rutinarias; entre otros instrumentos tenemos los siguientes: voltímetros digitales, osciloscopios, circuitos de prueba, medidores de distancia, analizadores lógicos, etc.

Pero así como el microprocesador a servido para prodigar beneficios al ser humano, también ha sido utilizado para la destrucción. Esto tiene sentido, dado que ha permitido que los sistemas de seguridad nacional de cada país lo esta utilizando para automatizar todos sus equipos de guerra; tales como: misiles teledirigidos, satélites espías y todo tipo de armas mortíferas de gran precisión.

Otras aplicaciones del microprocesador la encontramos en:

- los juegos electrónicos;
- los sistemas de control de riego;
- los sistemas telefónicos;
- las calculadoras de bolsillo;
- los equipos fotográficos;
- los sistemas de seguridad;
- los cajeros automáticos;
- las cajas registradoras de los grandes centros comerciales;
- los sistemas de reconocimiento óptico de caracteres e imágenes;
- las terminales de punta de venta (POS: Point-of-Sale);
- las máquinas despachadoras;
- las balanzas electrónicas;
- el control de tráfico y semáforos;
- el control de motores de CC y CA;
- el encendido y apagado de luces y aparatos domésticos, etc.

Como podemos darnos cuenta las aplicaciones del microprocesador se ha diversificado de tal manera que actualmente, no se concibe ningún campo de la actividad humana en la cual no se disponga de este dispositivo. Por lo que la flexibilidad para resolver cualquier problema, la posibilidad de realizar diversas funciones modificando el programa almacenado en memoria, añadir nuevas opciones, la facilidad con la que se puede llevar a cabo el diagnóstico y reparación de fallas y el bajo consumo de energía, así como el bajo costo que ofrece son entre otros puntos parte esenciales para emplearlos en cualquier tipo de aplicaciones.

Circuitos con Microprocesadores y Aplicaciones

Un termómetro digital puede ser un ejemplo ilustrativo muy sencillo de como emplear a un microprocesador. Para ello se utiliza a un LM335 como sensor de temperatura, cuya función es convertir la variable de temperatura a una señal de voltaje. Las conexiones que deben realizarse para llevar a cabo dicha conversión se muestran en la figura VIII.28. Con esta configuración tenemos que el voltaje de salida que se obtiene del LM335 es proporcional a la temperatura que se mide, relación que puede expresarse de la siguiente manera:

$$V_x = \frac{KE}{100}$$

donde:

V_x : es el voltaje de salida

KE: es la temperatura expresada en grados Kelvin.

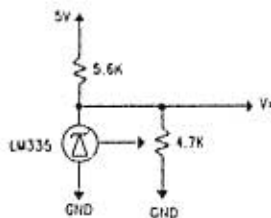


FIG. VIII.28 Conexión del LM335

Como normalmente nosotros medimos la temperatura en grados centígrados tenemos que la ecuación anterior debe quedar expresada como tal, por tanto tenemos:

$$V_x = \frac{C + 273}{100}$$

Para que el microprocesador pueda procesar los voltajes que el sensor LM335 le envía, es necesario convertir dichos voltajes a una información binaria, por lo que la solución es utilizar al convertidor ADC0808. Las conexiones correspondientes entre el convertidor, el sensor y el microprocesador se muestran en la figura VIII.29.

Recordemos primero que en el convertidor existe una relación entre el voltaje que se le aplica y el número binario de salida, misma que esta dada por la expresión siguiente:

$$n = K \cdot V_i$$

donde K es la constante de proporcionalidad y cuyo valor se obtiene de la siguiente forma:

$$K = \frac{n}{V_i} = \frac{255}{5} = 51$$

Por tanto tenemos:

$$n = 51 \cdot V_i$$

Como V_i es el voltaje de salida del sensor y este es el que desea convertirse a un número binario tenemos por consiguiente la relación entre el voltaje de salida del sensor y el número binario de salida del convertidor es:

$$n = \frac{51(C + 273)}{100}$$

donde

n: número binario

C: es la temperatura en grados centígrados

Despejando C tenemos:

$$C = \frac{100 \cdot n}{51} - 273$$

CAPITULO IX

PROYECTOS

IX.- PROYECTOS

IX.1 Introducción

Para llevar a cabo un proyecto electrónico, es necesario tomar en cuenta varios puntos de interés, los cuales permitan satisfacer las especificaciones que se exigen desde el momento en que se plantea el diseño del sistema electrónico. Por ello, es importante tener en mente que el diseño electrónico es una actividad que requiere de un conjunto de habilidades por parte del diseñador, mismas que lo lleven a determinar con exactitud por donde empezar el diseño.

Si se desea diseñar un sistema electrónico, es necesario estar familiarizado primero con las bases teóricas para posteriormente adquirir de manera ordenada y pausada los cimientos del diseño práctico. Esto no es una tarea fácil, debido al desarrollo vertiginoso de la electrónica en los últimos años; sin embargo, se puede tener un avance significativo si se dedica el tiempo suficiente para adquirir los fundamentos prácticos del diseño.

En base a lo anterior, y tomando en cuenta los capítulos precedentes, se propone en el presente capítulo un procedimiento de diseño que permita dar una visión muy particular de las diferentes etapas por las cuales debe pasar el diseño electrónico. Procedimiento en el que se consideran diversos elementos que permitan comprender y analizar los alcances y limitaciones que en todo diseño se presentan. Pero antes de ello se define al proyecto, al diseño y, las técnicas y tipos de diseño.

IX.2 Definición de un proyecto

La sociedad actual es una sociedad cada vez más exigente, donde la organización de los recursos humanos se conjugan para transformar los recursos naturales en sistemas, mecanismos y/o productos en un tiempo real y así satisfacer sus necesidades presentes y futuras. La complejidad de estas necesidades lleva a la ingeniería electrónica a considerar un proyecto como un conjunto de etapas a desarrollar en actividades cíclicas, en las que el diseño de diagramas permita llevar a cabo la toma de decisiones, cálculos y especificaciones de un sistema o producto final.

Por tanto, en un proyecto debe explicarse y justificarse todo lo relacionado al mismo; tales como: elementos que serán empleados, plan de realización, costos, soluciones adoptadas, rendimiento que se prevé y hasta las repercusiones políticas y sociales que se presentan durante el desarrollo del proyecto. En la figura IX.1 se proporcionan los pasos en el desarrollo de un proyecto, claro estos desde un punto de vista particular.

Proyectos

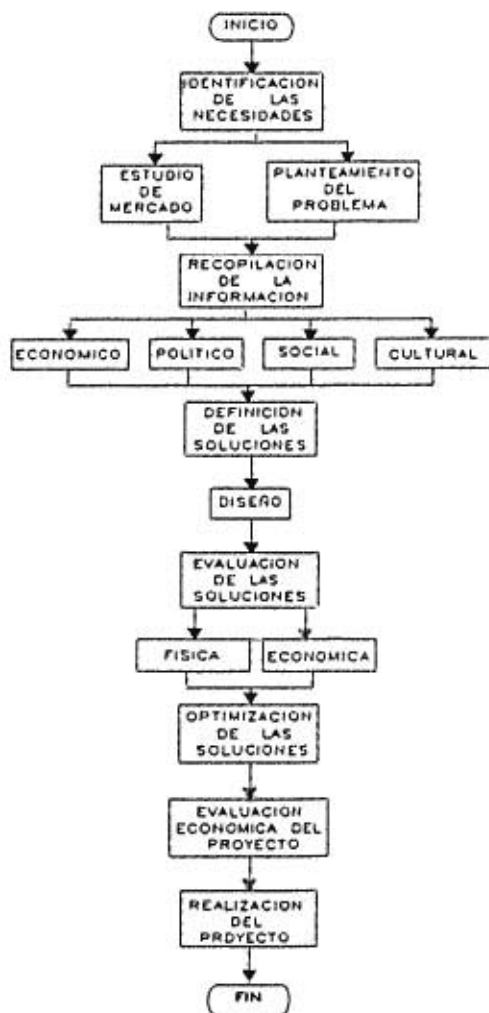


FIG. IX. 1 Pasos en el desarrollo de un proyecto

Identificación de las necesidades. Es la acumulación de información y datos que permitan identificar las necesidades a cubrir. Esto permitirá realizar un buen planteamiento del problema; este último debe ser claro y preciso, de tal forma que proporcione los elementos necesarios para llevar a cabo un estudio de mercado. Por tanto, dependiendo de como se realice el planteamiento del problema se propone la realización del proyecto.

Recopilación de información. Aún cuando en la etapa anterior se ha reunido información y datos que han permitido plantear un problema, en esta etapa es importante que se acumule la información restante y que sea necesaria para llevar a cabo de manera correcta el desarrollo del proyecto. Además, se debe verificar política, económica, social y culturalmente su validez, dado que si cualquiera de estos factores no se satisface puede resultar en un problema serio más adelante.

Definición de las posibles soluciones. En un proyecto no es válido proporcionar sólo una solución, éste debe de ir acompañado de varias soluciones posibles, las cuales no sólo deberán de caer dentro de los marcos definidos en el problema planteado, si no, además deberán de contar con diferentes criterios (propios del diseñador) que permitan optimizar tanto los recursos humanos como naturales. La solución que cumpla con las especificaciones, alcances y limitaciones del problema será la que se lleve a cabo en el desarrollo del proyecto.

Evaluación de soluciones. Esta debe comprender dos puntos, mismos que deben cumplir con los requisitos mínimos que se han definido en el planteamiento del problema. Estos puntos son:

- *Evaluación física.* Deben valorarse las características físicas de cada una de las soluciones que se den al problema planteado: tales como: materiales y elementos, dimensiones, así como condiciones ambientales entre otras.
- *Evaluación económica.* Deben evaluarse y justificarse todos los gastos que se realicen en cada solución proporcionada. Gastos de simulación, mantenimiento y de rendimiento son parte de la evaluación económica.

Optimización de las soluciones. Etapa en la que a partir de criterios perfectamente definidos se modelan las soluciones planteadas, optimizándolas a partir de modelos matemáticos (cuando sea pertinente) que representen a todos los parámetros correspondientes a las soluciones que se han proporcionado.

Evaluación económica del proyecto. Se debe realizar un análisis profundo de la economía del proyecto, de esta forma se podrá efectuar el cálculo del posible costo total que representará su realización. Esto además, permitirá tener la información suficiente que ayude a resolver problemas de costos futuros que se presenten.

Proyectos

Realización del proyecto. Última etapa de un proyecto; en esta convergen los puntos anteriores que permiten lograr el objetivo deseado.

IX.3 Definición del diseño

El diseño, punto esencial en el desarrollo de un proyecto, comprende las actividades (tales como dibujos, diagramas, cálculos, especificaciones, etc.) y eventos que transcurren una vez que se ha planteado el problema; lo que da lugar a establecer que es la parte que trata de hacer funcional al proyecto. Es decir, el diseño tiene como finalidad armonizar un entorno de ideas que satisfagan todo un conjunto de necesidades, para con ello centrar al objeto en su entorno y, en la privación de la estructura sobre la forma en concreto dadas las especificaciones correspondientes.

Pero, para seguir una secuencia de actividades que permitan llevar a cabo un diseño a buen término, es necesario cumplir con varios requerimientos; entre los que están: tener una buena base teórica, tener el acceso a la literatura sobre la teoría eléctrica y electrónica, disponer de las características de los diferentes componentes electrónicos, así como de saber interpretar las hojas de datos que proporciona el fabricante de los dispositivos electrónicos.

Recordemos, que cuanto más sea la profundidad del conocimiento y la comprensión de la teoría electrónica se pueden abordar problemas de diseño con diversos grados de complejidad. Por lo que es importante, que el diseñador o ingeniero con o sin experiencia, se limite inicialmente a trabajos que sean manejables y consistentes con su propio nivel de conocimientos antes de acometer diseños que presenten mayor complejidad. Con esto puede establecerse que es de sabios consultar siempre libros, notas, revistas, tratados, etc. que sean útiles durante el desarrollo del diseño electrónico. También es recomendable consultar a otros expertos en la materia para aclarar puntos sobre cuestiones de diseño.

Por tanto, el diseño es un proceso que consiste de una serie de pasos que debe estar perfectamente definido, y en el cual se tendrá que seguir un duro análisis, en el que la imaginación y arte por parte del diseñador son esenciales. Para ello, se debe tener claro que el objetivo principal del diseño electrónico es la de obtener:

Sistemas electrónicos viables, flexibles y de bajo costo los cuales tengan un comportamiento determinado de acuerdo a las especificaciones que se establecen en un planteamiento inicial.

Proyectos

IX.4 Técnicas de diseño

Las técnicas de diseño son variadas, mismas que se pueden dividir en tres grupos:

Técnica de diseño formal

En esta se trata de diseñar sistemas electrónicos con un mínimo de elementos, para lo cual se emplean métodos de análisis perfectamente definidos. Básicamente los elementos empleados en esta técnica son todos aquellos que se pueden describir por una función matemática.

Técnica que tiene como particularidad, que el diseño de los sistemas electrónicos, la selección de dispositivos y la misma técnica de diseño son con frecuencia independientes y por ende la interacción por parte del diseñador es prácticamente nula.

Técnica del diseño informal

Técnica en la cual ya no intervienen directamente los métodos de análisis definidos en el diseño mismo, si no más bien empieza a dejarse el arte del diseño de manera aislada para abocarse a una actividad de diseño más exigente pero más satisfactoria y excitante. La interrelación del diseño y el diseñador son muy importantes, por lo que las actividades que se desarrollan de manera independiente en la técnica del diseño formal se interrelacionan para lograr el objetivo principal del diseño.

Por consiguiente, en este tipo de técnica, ya no es de mucho interés reducir el número de elementos, ahora es más importante seleccionar el dispositivo adecuado que permita llevar a cabo la función deseada de la forma más sencilla y económicamente posible.

Técnica de diseño heurístico

Técnica donde el arte de diseñar sistemas electrónicos queda completamente definida a partir de la habilidad, experiencia e ingenio del diseñador para desarrollar circuitos o sistemas electrónicos que cumplan con la función definida en un problema planteado.

Esta técnica se desarrolla en base a la disponibilidad de funciones de gran complejidad que se implementan en un sólo chip, así como por la falta de métodos de síntesis formales aplicados al diseño.

Proyectos

IX.5 Tipos de diseño

El diseño de sistemas electrónicos se puede realizar empleando dos métodos; mismos que dependen en gran medida del equipo con el que se cuenta, así como del tiempo real de que se disponga para desarrollarlo. El método ha emplear depende de la capacidad, criterio y habilidad del diseñador y sobre todo en base a los recursos económicos con los que se disponga.

DISEÑO MODUS OPERANDI

Tipo de diseño en el que se implementan sistemas electrónicos en tabletas proto-board; donde el análisis, detección de fallas, corrección y optimización se realiza en forma manual.

En el diseño modus operandi es factible hacer uso de cualquier dispositivo electrónico; donde la distribución queda a expensas del diseñador, así como del número y tamaño de los elementos. Esto da como resultado que este tipo de diseño resulte bastante retardador y que con frecuencia sea decepcionante cuando no se alcanzan los objetivos deseados. Sin embargo, cuando se lleva a cabo un procedimiento de diseño adecuado, el arte de diseñar circuitos y depurarlos proporciona la satisfacción de haber desarrollado algo útil.

DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)

Los programas de computadora que permiten diseñar y simular sistemas electrónicos se denominan SIMULADORES ELECTRONICOS. Estos son programas de hoy en día que permiten realizar el análisis de circuitos con diversos dispositivos a velocidades que hacen que dichos análisis sean económicamente factibles. Por lo que el diseñador debe aceptar que los simuladores son un herramienta que permite la síntesis de sistemas electrónicos a través de un proceso analítico iterativo.

La figura IX.2 muestra las tres etapas básicas que deben cubrirse en el diseño de sistemas electrónicos asistido por computadora. De la figura se observa que el usuario es el que define lo que desea analizar, el tipo de análisis que requiere y la forma en que deberán de obtenerse los resultados.



FIG. IX.2 Etapas de interrelación del diseñador y la computadora

Tomando en cuenta la figura IX.2 y considerando la definición propia del diseño, los pasos que deben seguirse en el diseño de sistemas electrónicos por medio de los simuladores electrónicos son los indicados en la figura IX.3.

De la figura IX.3 se observa que a partir de la definición del problema, el diseñador debe proyectar las características generales y particulares de operación. A partir de éstas tendrá que realizar un análisis detallado de las mismas, las cuales le permitirán determinar el tipo de dispositivos que deberá usar para construir el prototipo inicial. Posteriormente debe realizar una primera simulación para verificar si se cumplen las especificaciones deseadas; si el resultado no es el previsto, tendrá que proceder a realizar el o los ajustes necesarios. Si por el contrario el diseño es correcto, entonces llevará a cabo una nueva simulación para comprobar los resultados. A continuación deberá implementar el circuito para realizar las pruebas y evaluaciones finales.

Debe aclararse que el uso de los simuladores es el de optimizar los tiempos de diseño, por lo que no sustituyen de ninguna forma al diseñador en el criterio, análisis y proyección que le desee dar al diseño.

Las ventajas que representan los simuladores electrónicos con respecto al diseño *modus operandi* son diversas, entre las que están el tiempo de diseño, la optimización que se logra y el conocimiento anticipado de respuesta del sistema electrónico antes de realizar una conexión física. Por tanto, se puede determinar que los simuladores electrónicos constituyen una de las herramientas más poderosas en el diseño, investigación y producción de sistemas electrónicos; dado que permite llevar a cabo todo un proceso confiable a un bajo costo.

IX.6 Procedimiento de diseño

El diseño de sistemas electrónicos es una tarea que resulta compleja cuando el ingeniero en electrónica o diseñador no dispone de grandes habilidades y de un procedimiento de diseño adecuado, provocando con ello que el riesgo del mal funcionamiento de los prototipos que desarrolla sea alto, con la consecuente necesidad de que tendrá que volver a rediseñar.

Para evitar cualquier tipo de riesgos en el diseño electrónico es imprescindible primero, que el ingeniero o diseñador cuente con una buena base teórica y con fundamentos de diseño práctico; y en segundo lugar, es importante que disponga de un método o procedimiento de diseño que le permita realizar esta apasionante tarea con mucho mayor facilidad, confianza y eficiencia.

Proyectos

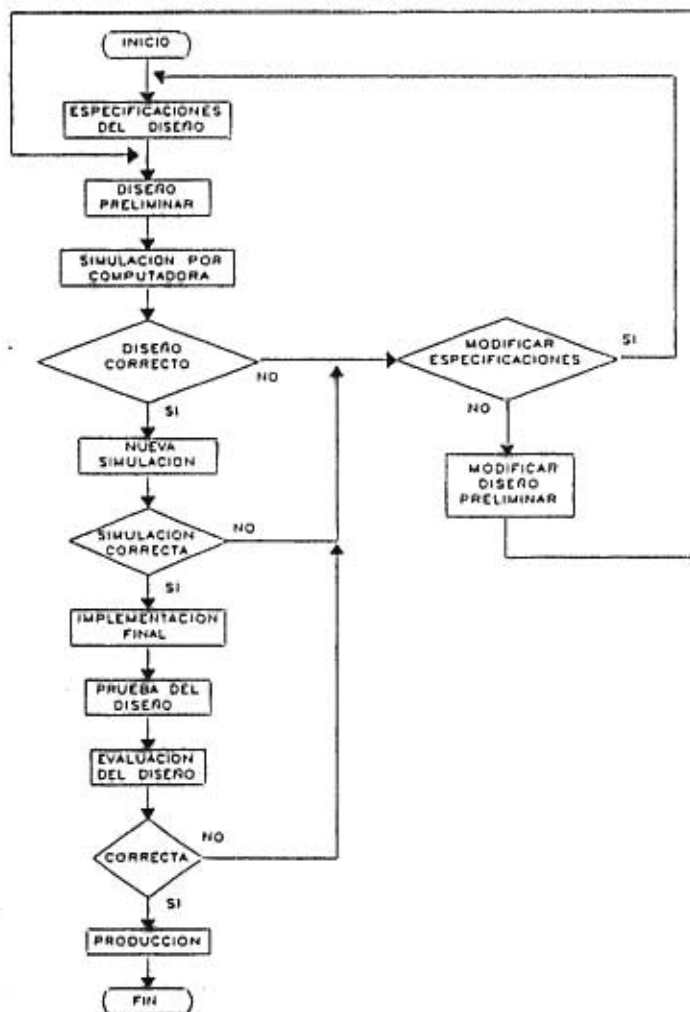


FIG. IX.3 Pasos a seguir en el diseño con simuladores electrónicos

Como el objetivo del ingeniero o diseñador es desarrollar estructuras que cumplan con funciones específicas y que satisfagan ciertas restricciones de costo y prestaciones, se propone a continuación un procedimiento de diseño que permita dar una visión general de cuales son los pasos que deben seguirse para realizar con éxito un buen diseño. Estos pasos se muestran en la figura IX.4.

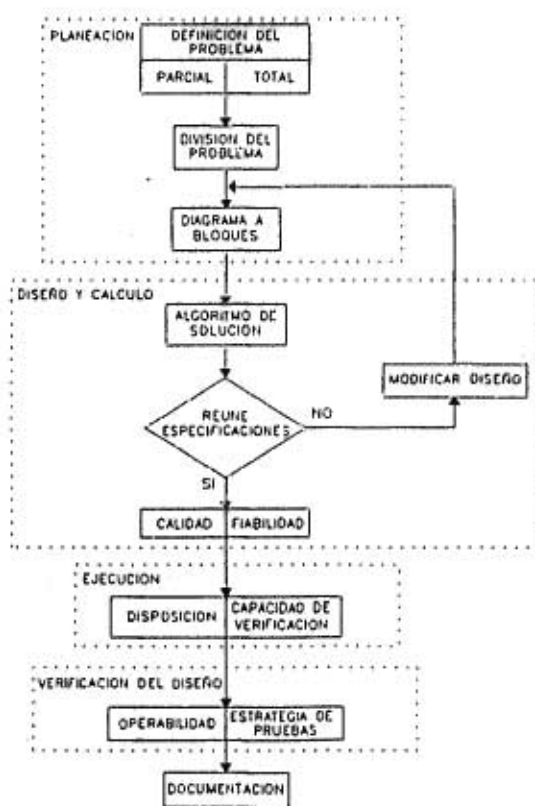


FIG. IX.4 Pasos a seguir en el procedimiento de diseño propuesto

El procedimiento que se propone consta de cinco etapas, mismas que se describen a continuación:

PLANEACION

Etapa inicial del procedimiento, en ella se deben esbozar el o los objetivos, así como las especificaciones propias del diseño, por lo que será necesario proporcionar las características, alcances y limitaciones del sistema electrónico que se desea diseñar. Para realizar una planeación adecuada deberán seguirse los pasos siguientes:

Definir el problema

Punto en el que deben plantearse y delimitarse las características, especificaciones y necesidades del sistema electrónico, mismas que permitan determinar en forma detallada y precisa la relación que existirá entre las diferentes señales que deberán presentarse en el circuito; especialmente la relación entre las señales de entrada y salida. Pero, es importante indicar que habrá ocasiones en la que la definición del problema se realice de forma abstracta, es decir, donde las características y especificaciones se proporcionan en forma de una lista.

Así también, es frecuente que la definición del problema se pueda plantear de dos formas; estas son:

- **Parcial.** Esta se dará cuando no se cuente con información suficiente que permita definir con claridad las características, especificaciones, alcances y limitaciones del sistema a diseñar. Esto se debe a que posiblemente el cliente no tenga una idea concreta de lo que desea. Por tanto, el diseñador o ingeniero debe trabajar en armonía con el cliente para determinar todo lo relacionado con el circuito a implementar.

- **Total.** Se hablará de una definición completamente definida cuando se proporcionan todas las características y especificaciones del sistema a desarrollar, mismas que establece el cliente. Por tanto, el trabajo del ingeniero o diseñador será, el de analizar la información que se le ha proporcionado. Una vez que se comprenda la información y defina todo lo relacionado al sistema, será necesario que mantenga la comunicación con el cliente para asegurarse que se han determinado en forma adecuada el sistema electrónico.

Proyectos

División del problema

Planteado el problema es importante llevar a cabo una división del mismo, esto con la finalidad de simplificar el proceso de diseño. La división implicará un particionamiento en detalle: es decir, en el que las decisiones que se tomen en cualquier nivel estarán restringidas por decisiones que se lleven a cabo en niveles más altos, pero que a su vez restrinjan las decisiones que se tomen en la partición de niveles inferiores. Por tanto, la división del problema permitirá determinar la estructura básica del sistema electrónico con mayor claridad.

Diagrama a bloques

Un sistema electrónico debe diseñarse pensando en las especificaciones y requerimientos del problema. Por ello, es necesario representarlo a través de un diagrama a bloques en el cual se puedan visualizar las funciones que deberá de realizar el circuito.

Recuérdese que el diagrama a bloques es un modelo gráfico en el que se muestran los módulos funcionales, entradas, salidas, así como las conexiones básicas para determinar la ruta datos internas y señales de control. Este diagrama debe contener de cuatro a veinte bloques, mostrando por ende sólo los módulos más importantes y su interacción. La organización que se de al mismo repercutirá en el costo y rendimiento de los sistemas.

Para elaborar un buen diagrama a bloques es recomendable hacerse los siguientes cuestionamientos:

- ¿Que función debe realizar el circuito o sistema a implementar?
- ¿Cuántas entradas y salidas deberá tener el sistema?
- ¿Se requiere de salidas adicionales?
- ¿Son suficientes las entradas para determinar el número y tipo de salidas?
- ¿Como determinar cuales son las salidas y entradas?
- ¿Como se pueden obtener los datos o variables que requiere el sistema electrónico?
- ¿Como se pueden manipular los datos o variables para llevar a cabo la función deseada?

Una vez que se de respuesta a las preguntas anteriores y se esté satisfecho con las mismas, debe precederse a elaborar el diagrama a bloques, cuya organización y optimización quedará a expensas de la capacidad y habilidad del diseñador para elaborarlo.

Proyectos

DISEÑO Y CALCULO

Etapa en la que se decidirá el tipo y la estructura del circuito a implementar dada la aplicación en particular. Por tanto, debe llevarse a cabo la selección de los diferentes dispositivos (tales como circuitos integrados, resistencias, capacitores, diodos, transistores, etc.) y elementos necesarios para implementar el sistema electrónico. Así también se realizarán los cálculos correspondientes para determinar los valores de los elementos a utilizar y con ello tratar de predecir el comportamiento del circuito. Es recomendable que los cálculos se verifiquen en varias ocasiones para detectar errores en el diseño.

Para realizar un buen diseño se sugiere se plantear un algoritmo de solución en el que se establezca de forma más que detallada como se diseñara el sistema electrónico.

Algoritmo de solución

El diagrama a bloques nos proporciona suficiente información para llevar a cabo el diseño de un sistema en forma correcta; sin embargo, esta información debe describirse a través de medios adecuados que permitan determinar las funciones de cada bloque o conjunto de ellos. Esta descripción puede realizarse empleando un algoritmo de solución, mismo que muestre la secuencia de acciones y decisiones que deberán cumplirse para diseñar la estructura del circuito de manera correcta.

El algoritmo de solución se podrá realizar a través de un texto escrito, de un diagrama de flujo, de tablas o técnicas adecuadas, pero se sugiere que éste cuente con las características siguientes:

- Es preciso que contenga un número finito de pasos, aún cuando en el algoritmo se presenten pasos que se repiten continuamente.
- Tendrá que seguir un orden específico de acuerdo a las acciones a realizar, por lo que cada paso debe definirse de manera precisa y sin ninguna ambigüedad.
- Deberá de disponer de un número determinado de salidas, lo cual quedará sujeto al problema en particular.
- Se podrá presentar el caso de que en un algoritmo de solución no sea necesario de disponer de entradas específicas; sin embargo, esto no es así, dado que el tiempo es una entrada implícita en la mayoría de los algoritmos de solución.

Proyectos

Se tiene por tanto, que a partir del algoritmo de solución se podrá corroborar el diagrama a bloques o, hacerle las modificaciones pertinentes que permitan satisfacer las condiciones del problema. En consecuencia este será el momento más idóneo para efectuar las modificaciones correspondientes y con ello optimizar el sistema electrónico que se desea diseñar. Sin embargo, es factible que pueden presentarse situaciones donde sea necesario realizar modificaciones en pasos posteriores, pero siempre se debe buscar que estas sean mínimas.

Una vez planteado el algoritmo de solución debe elegirse la metodología de diseño, la cual permita determinar cual será la estructura del sistema y con ello se pueda elaborar el diagrama esquemático correspondiente. Este último, es una representación formal del sistema electrónico en el cual se muestran todos los componentes eléctricos del sistema, sus conexiones y puntos de referencia para que posteriormente se implemente.

Es importante destacar que cuando se elabore el diagrama esquemático, este se realice por bloques o módulos con la finalidad de que sea entendible y con ello sea fácil su comprensión. Así también, es valioso indicar que las señales que entren a cada bloque o salgan de los mismos deberán estar perfectamente definidas para con ello evitar confusiones al momento en que se realicen las conexiones entre los diferentes módulos.

Por otra parte, es trascendental apuntar que a partir de este nivel es necesario considerar dos puntos esenciales que en todo tipo de diseño deberán de cuidarse, mismos que permitan garantizar que el diseño de un sistema electrónico sea llevado a un buen termino. Estos puntos se refieren a la calidad y fiabilidad del diseño.

La elección adecuada de los dispositivos a utilizar y el control estricto de sus características son partes esenciales para determinar la calidad del diseño de un sistema electrónico, garantizando con ello que el comportamiento del sistema se ajuste a las especificaciones que se plantean desde la definición del problema.

Por su parte, en la fiabilidad se buscará que el sistema electrónico mantenga la calidad durante un largo período de tiempo, conservando por ende condiciones de funcionamiento aceptables. Es decir, se buscará que la probabilidad de fallo del sistema sea mínimo y si es posible de que éste nunca falle. Pero para satisfacer a plenitud, tanto la calidad como la fiabilidad de un diseño es imprescindible que se tome en cuenta lo siguiente.

- a) Elegir los diferentes dispositivos y componentes del sistema electrónico de forma correcta, esto en base a las características propias del sistema y de las condiciones a las cuales se someterá el mismo.

- b) Utilizar la técnica de reducción de parámetros para garantizar la fiabilidad del sistema. Es decir, emplear dispositivos cuyos valores nominales de corriente, voltaje y potencia estén por lo menos en un 50% por encima de los valores máximos esperados.

EJECUCION

Etapa en la que se debe implementar el prototipo del sistema; para ello es recomendable que se realice por bloques o módulos, lo que facilitará la conexión de los diferentes elementos que conforman a los mismos. Además, es importante que cuando se realice la conexión de los elementos y módulos se elabore una lista de lo que se realiza; esto con la finalidad de llevar un orden en la ejecución del diseño, logrando de esta manera avanzar con mayor seguridad en la implementación del sistema electrónico.

Debe destacarse que en la ejecución del diseño se tiene que poner especial atención en la disposición de cada uno de los dispositivos del sistema electrónico, así como en la capacidad de verificación del mismo. Un buen retorno a tierra y una separación de las entradas sensibles con respecto a las terminales de salida para prevenir oscilaciones serán prácticas adecuadas para lograr una excelente disposición de elementos en un sistema electrónico.

Si la disposición de los elementos y la capacidad de verificación es inadecuada es factible que nos enfrentemos a sistemas que funcionan de manera incorrecta, por lo que buscar la falla que ocasiona el mal funcionamiento de los mismos dará como resultado una tarea muy laboriosa y frustrante. Por ello, es importante tener presente que al momento de diseñar un sistema electrónico este debe ser verificable. Es decir, un diseño verificable será aquel en el que se realice una buena disposición de elementos, de tal manera que al momento de revisar cada uno de sus puntos se puedan incorporar mecanismos que permitan llevar a cabo verificaciones sencillas y fáciles.

Por tanto, las características más importantes que deben cubrirse en la ejecución de un diseño para lograr con ello que este sea verificable son:

- Disponer de puntos de verificación apropiados, tanto en las entradas como en las salidas de cada bloque del sistema electrónico, en los cuales se pueda realizar la lectura de voltajes o permitir la medición de las señales que deberán de presentarse en los mismos.
- Debe contar con puntos en los cuales se puedan aplicarse señales en los nodos críticos del sistema.
- Es necesario que disponga de elementos adecuados los cuales permitan desconectar a cada módulo y con ello verificarlos de manera individual.

Proyectos

- Se deberá permitir la desactivación de la señal de reloj, claro en aquellos sistemas donde esta señal es necesaria, como lo son los sistemas digitales.
- Debe contar con elementos de accionamiento externo para aplicar señales externas, sobre todo las de control.
- Debe ser diseñado para facilitar la autocomprobación de manera sencilla, claro esto siempre y cuando sea posible.

VERIFICACION DEL DISEÑO

Una vez que se haya implementado el sistema electrónico debe procederse a efectuar las pruebas correspondientes a la operabilidad del mismo, para de esta forma verificar su funcionamiento y así determinar si cumple con las condiciones establecidas en el planteamiento del problema.

En sí, la tarea de verificar el funcionamiento del diseño es con la finalidad de garantizar que cumple con todas las especificaciones que se han establecido, así como la de descubrir pequeños errores que no suelen ser fáciles de detectar con una prueba de funcionamiento rutinaria.

Para abordar la verificación del diseño se recomienda planear una estrategia de prueba, misma que contenga una lista de acciones necesarias que permitan cubrir de manera adecuada todas aquellas áreas en las cuales pueden presentarse posibles fallas de manera eficaz. Por ello resulta de gran interés que el diseño posea una suficiente capacidad de verificación.

Pero, debe señalarse que antes de efectuar cualquier tipo de prueba al sistema electrónico es necesario verificar primero las conexiones realizadas, y de esta forma garantizar que no se a omitido ninguna conexión que a simple vista pudiera darse por concretada. Esto se sugiere, por que es factible que en sistemas electrónicos donde se utilizan principalmente circuitos integrados digitales se dejan sin conectar entradas que no se utilizan, provocando con ello se asuman niveles incorrectos. También es frecuente cortocircuitar las salidas de los circuitos integrados; tanto analógicos como digitales, al voltaje de polarización o a tierra, lo que de alguna forma u otra dañará al circuito integrado.

Un buena estrategia de verificación del diseño contempla la siguiente secuencia de acciones:

- a) Hacer una lista de todos los parámetros que deben ser medidos. En esta lista deberán proporcionarse los valores esperados, tanto máximos como mínimos.
- b) Disponer del equipo de medición adecuado con el que se pueda realizar una buena verificación del diseño. Se recomienda que sean instrumentos de alta confiabilidad y precisión.

Proyectos

- c) Contar con todos los elementos necesarios para realizar la verificación de forma adecuada; tales como: dispositivos de reemplazo, pinzas de corte y punta, cautín, cable, guantes, pulseras antiestáticas, etc.
- d) Planear la puesta en marcha de la verificación y realizar un resumen de la misma. Es decir, determinar por donde empezar con la verificación y por donde terminar.
- e) Se recomienda que la puesta en marcha de la verificación contemple las pruebas siguientes:
- Verifique primero con un óhmetro que no exista continuidad entre los puntos de polarización, o que no se presente una resistencia muy pequeña entre las líneas de alimentación o desde alguna línea con respecto a 0 V. Además, es importante revisar que no existan circuitos abiertos en los diferentes puntos de conexión. Esta prueba debe realizarse sin aplicar energía al sistema.
 - Polarizar al sistema (no aplique las señales de entrada) y verificar que el consumo de corriente del circuito se encuentre dentro de los límites esperados. Si el consumo es muy excesivo, apague la fuente de poder y realice una verificación mas detallada del sistema. Para ello cheque elemento por elemento y punto por punto; si hay que hacer alguna modificación llévese a cabo en este momento. Terminado este chequeo aplique nuevamente energía al sistema y corrobore el consumo de corriente.
 - Si el consumo de corriente es el esperado, proceda entonces a medir en cada uno de los puntos del sistema los voltajes que se presentan, estos deberán de anotarse en una tabla para poderlos comparar con los valores que previamente fueron calculados.
 - Una vez que se han revisado todos los valores de polarización de cc, deben aplicarse las señales de prueba para medir con ello las niveles de las señales de salida y, de esta manera comprobar que sean los correctos. Es decir, debe realizarse una verificación funcional del sistema. En caso de que se observe un funcionamiento incorrecto, determine a partir de varias pruebas la posible falla y proceda a corregirla en el momento, o en su lugar realice una lista con las fallas que se presentaron para posteriormente determinar su naturaleza y de esta forma determinar la estrategia correcta para corregirlas empleando los métodos adecuados.
 - Buscar síntomas de inestabilidad en las líneas de polarización; estos síntomas son generalmente los causantes de que el sistema no funcione adecuadamente. Para ello, emplee un osciloscopio con alta resolución.

Para que el procedimiento de verificación descrito o cualquier otro método que se utilice para comprobar el funcionamiento de un sistema sea efectivo se recomienda primero, que este se defina en las primeras fases del proceso del diseño; y segundo que se lleve a cabo por módulo, lo cual permitirá proporcionar un enfoque adecuado que incluya un estudio de pruebas del sistema como parte integral de la tarea del diseño.

DOCUMENTACION

Un buen ingeniero en electrónica o diseñador tiene como una de sus responsabilidades primarias la de indicar como construir, mantener y actualizar el o los sistemas electrónicos que diseña. Para ello es imprescindible que lleve a cabo un registro de toda la información del trabajo que se realiza antes, durante y después del proceso de diseño.

Una buena documentación no debe ser muy extensa, sino por el contrario, tendrá que ser concisa y exacta, de tal forma que sea entendible para cualquier técnico de mantenimiento o ingeniero de diseño con solo leerla. Por tanto, aún y cuando esta represente una labor tediosa y aburrida tendrá que considerarse como un buen hábito en el proceso del diseño.

Aun cuando el tipo de información que debe registrarse dependerá en mucho de la complejidad de los sistemas a desarrollar y de los ambientes de trabajo ingenieriles, esta tendrá que cubrir todos los niveles del procedimiento de diseño. Por tanto, una buena documentación debe tener como mínimo la información siguiente.

- Los objetivos, alcances y limitaciones del sistema electrónico.
- El diagrama a bloques del sistema.
- Por lo menos tres soluciones distintas, esto con la finalidad de comprender el porque se a considerado determinada solución.
- El diagrama esquemático, indicando en el mismo todas las señales con sus valores correspondientes, sobre todo las de los puntos más críticos.
- La lista de dispositivos con sus características principales, símbolos y número de parte que se le ha dado en el diagrama esquemático.
- Los cálculos de diseño, para ello deben mostrarse las expresiones utilizadas, claro cuando sea conveniente.
- La lista de ejecución, es decir, la forma de trabajo para seguir la secuencia de actividades a realizar para implementar de manera eficiente al sistema electrónico.
- Las pruebas de funcionamiento.

Proyectos

- Los resultados de las pruebas.
- Las fallas que se presentaron al momento de realizar las pruebas de funcionamiento.
- Los métodos empleados para corregir las fallas que se presentaron.
- Será necesario también elaborar una lista de posibles fallas y como pueden corregirse estas.
- Los cambios que se realizaron, ya sea por omisión o porque algunas de las consideraciones que se plantearon no fueron las correctas.
- La lista de acciones a realizar para llevar a cabo un procedimiento aceptable de verificación.
- Detalles sobre la disposición de los dispositivos del sistema electrónico.
- Y por último, tiene que realizarse una descripción concisa de como trabaja y como tiene que utilizarse el sistema. Para ello, es necesario que se elabore una lista donde se describan todas las suposiciones que se hicieron, así como de todas las fallas latentes que pudiesen presentarse durante la operación del sistema. También se recomienda que en esta descripción se indiquen los trucos de diseño no obvios que se utilizaron.

Los puntos que se han mencionado con anterioridad son fundamentales para elaborar la documentación correspondiente en el diseño de los sistemas electrónicos, pero es importante indicar que para ello se debe emplear un lenguaje que todos entiendan; lenguaje que tiene que utilizar símbolos, medidas y estándares universales. Sin embargo, también puede utilizarse un tipo de lenguaje el cual se reconocido por muchos pero que no se ha estandarizado o un lenguaje que solo el diseñador o ingeniero entienda.

Por tanto, es importante que se asuma con gran responsabilidad la elaboración de la documentación en el proceso del diseño de los sistemas electrónicos, dado que un sistema sin ningún tipo de información será difícil de que se depure, fabrique, pruebe, mantenga y sobre todo de que se mejore. Por ello, es necesario tener siempre presente que:

Un excelente diseñador o ingeniero en electrónica es aquel que comunica eficazmente sus ideas, propuestas y decisiones a los demás.

De tal forma que es de gran interés que el ingeniero en electrónica o diseñador fomente el manejo de su lenguaje, así como de su redacción para poderse comunicar correctamente con los demás. Para ello, aún y cuando cause risa a gran cantidad de gente, es importante que el ingeniero en electrónica tome los cursos necesarios, tanto de redacción como de comunicación, que le permitan desenvolverse adecuadamente ante la gente que los rodea.

Como nos podemos dar cuenta, seguir un procedimiento de diseño que permita llevar a cabo a buen termino el diseño de un sistema electrónico, puede resultar un proceso complejo (sobre todo al ingeniero o diseñador que se inicia en esta actividad) que requiere de tiempo, esfuerzo y dedicación para llevarlo a cabo. Cuando este procedimiento de diseño se quiere plasmar en algo físico es importante establecer que la intuición, experiencia y habilidad son parte esencial para hacer uso de todo un mundo de información disponible con la que se puede desarrollar el sistema electrónico. Por tanto, debemos de entender que diseñar no es cosa de juego; si no más bien es una actividad exigente y excitante, la cual es preciso entenderla y comprenderla perfectamente.

Del procedimiento propuesto se puede establecer que para preparar un buen diseño es importante tener presente que:

- * Los diagramas a bloques sólo serán modelos de la realidad, por lo que deben atenderse las diferencias entre estos modelos y los reales.
- * La experiencia es parte fundamental en el proceso del diseño, sin embargo, con esfuerzo y dedicación se puede alcanzar dicha experiencia.
- * Es importante conocer las diferentes alternativas de diseño, mismas que serán el primer paso hacia la creatividad.
- * La capacidad para desarrollar funciones que puedan expresarse a través de algoritmos que en cierta forma sean independientes de la implementación, son parte de la creatividad para el diseño de los sistemas electrónicos.
- * Las soluciones algorítmicas que se propongan deberán ser llevadas a cabo en circuitos operativos.
- * Entender las funciones de los principales dispositivos o bloques que se utilizan es parte esencial en el diseño de los sistemas electrónicos.

IX.7 Diseño de un sistema pequeño

Se desea diseñar un sistema electrónico digital que permita abrir una puerta, para lo cual se deberá introducir una clave de cuatro números decimales; si la secuencia es correcta la puerta se abrirá, cerrándose posteriormente de manera automática. Pero si la clave es incorrecta o un número de la misma es equivocado deberá activarse una alarma sólo si se han introducido los cuatro dígitos.

Proyectos

Para visualizar con mayor claridad y definir correctamente el sistema se elabora una lista de especificaciones y funciones; esta lista es:

- 1.- Es necesario un teclado de números decimales para introducir la clave.
- 2.- Los números deben codificarse a binario.
- 3.- Será necesario un selector de datos para verificar el dígito oprimido.
- 4.- Es necesario un contador de dígitos.
- 5.- Debe activarse una alarma si la clave es incorrecta.
- 6.- Se puede utilizar un motor para abrir y cerrar la puerta.
- 7.- Es necesario controlar el tiempo para cerrar la puerta.
- 8.- El sistema debe funcionar secuencialmente.

Dadas las características y especificaciones del sistema, este puede dividirse principalmente en cuatro bloques, mismos que a continuación se describen.

Módulo de entrada

A través de este módulo se deben introducir los dígitos de la clave, así como las señales correspondientes para desactivar la alarma y restablecer al sistema; para ello se empleará un teclado de números decimales. Las señales que genere el éste deben hacerse pasar por un circuito capaz de limpiarlas del ruido presente en las mismas cuando se opriman los botones del teclado.

Para verificar si el dígito es correcto, se requiere de un dispositivo que sea capaz de generar la señal correspondiente, por tanto los datos deben ser aplicados de tal manera que sean seleccionados conforme se introducen los dígitos de la clave. Además, es necesario llevar a cabo la cuenta de los dígitos, para ello es necesario un circuito que realice dicha operación. El conteo sólo será de acuerdo a las especificaciones que se han establecido en el planteamiento del problema. En base a lo anterior, el módulo de entrada debe generar las señales siguientes:

- Botón (B)
- Dígito correcto (DC)
- Número de dígitos (D=4)
- Desactivar alarma (DA)
- Restablecer al sistema (MR)

Proyectos

Módulo de control

Debe seguir una secuencia que seleccione el tipo de entrada de acuerdo a lo que se especifique en el algoritmo de solución; para ello, es importante que este módulo genere las señales correspondientes para sincronizar a cada bloque conectado al mismo y efectuar de esta manera la función deseada. Las señales que el módulo debe generar son:

- Restablecer contador de dígitos (RSTA);
- Restablecer contador de tiempo (RSTB);
- Incrementar contador de dígitos (INCA);
- Incrementar contador de tiempo (INCB);
- Activar alarma (ALRM); y,
- Activar motor (M1, M2).

Módulo de salida

Módulo que debe ser capaz de generar la corriente suficiente para activar tanto al motor como a la alarma. Tendrá que activarse con unos y ceros lógicos. Así también, debe generar una señal que indique que la alarma se ha desactivado (AD)

Módulo de control de tiempo

Como es necesario controlar el tiempo para abrir y cerrar la puerta de forma automática se requiere de un dispositivo que realice dicha operación. La señal que debe generarse una vez que transcurra el tiempo ya sea para abrir o cerrar la puerta es: $T=9$

Una vez que se a realizado la división del problema se procede a elaborar el diagrama a bloques correspondiente, el cual se muestra en la figura IX.5.

La división que se ha realizado permite determinar que es necesario diseñar un sistema en el que se haga referencia a su estructura y a su comportamiento; es decir, una parte para el procesamiento de datos y otra para el control de los mismos. La parte de procesamiento de datos se debe diseñar para efectuar un conjunto específico de operaciones con datos de entrada/salida así como de resultados intermedios. La parte de control se diseñará para generar las señales de control principales que son necesarias por el sistema en los instantes adecuados.

Por tanto, en el algoritmo de solución que se plantea se determina la secuencia de acciones a seguir bosquejando claro, la estructura global del sistema. En este caso, el algoritmo de solución se plantea de forma gráfica empleando la carta ASM, misma que se muestra en la figura IX.6.

Proyectos

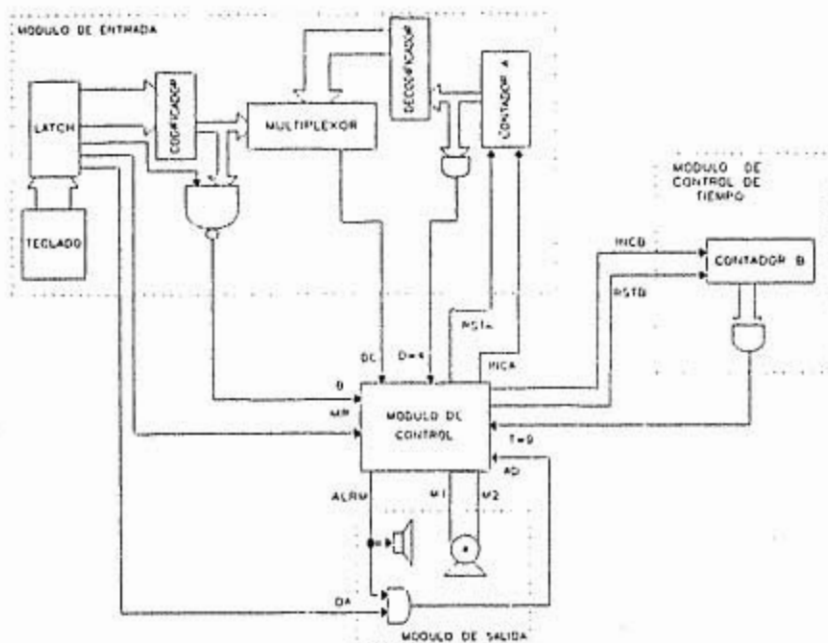


FIG. IX.5 Diagrama a bloques del sistema a implementar

Las señales tanto de entrada como de salida que se indican en la carta ASM son las siguientes:

Señales de entrada.

- B: Se oprime botón.
- DC: El dígito que se oprimió es correcto.
- D=4: El número de dígitos es igual a cuatro.
- AD: Se ha desactivado la alarma.
- T=9: El tiempo de control para abrir o cerrar la puerta ha transcurrido.

Proyectos

Señales de salida.

RSTA: Restablecer el contador de dígitos.
 RSTB: Restablecer el contador de tiempo.
 INCA: Incrementa el contador de dígitos.
 INCB: Incrementar el contador de tiempo.
 ALRM: Activa la alarma.
 M1: Activar al motor en un sentido.
 M2: Activa al motor en sentido contrario.

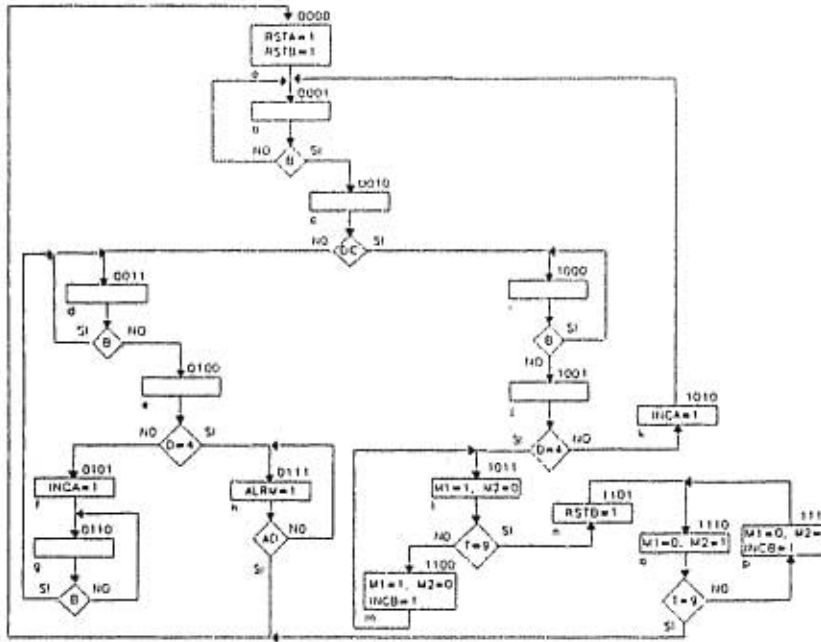


FIG. IX.6 Algoritmo de solución del sistema

Proyectos

Definido el diagrama a bloques, y una vez que se ha planteado el algoritmo de solución se procede a diseñar cada uno de los módulos del sistema.

Módulo de entrada

La estructura del módulo de entrada debe ser tal que efectúe el procesamiento de datos de acuerdo a un conjunto específico de operaciones; para ello, es necesario determinar primero el tipo de señal que se puede obtener del teclado cada vez que se oprime un botón del mismo. La señal correspondiente se obtiene al realizar la conexión que se muestra en la figura IX.7. La señal que se observa en la misma figura es el resultado de oprimir un botón del teclado, misma que se encuentra contaminada con ruido. Como resultado, es necesario limpiarla antes de que se aplique al resto del sistema.

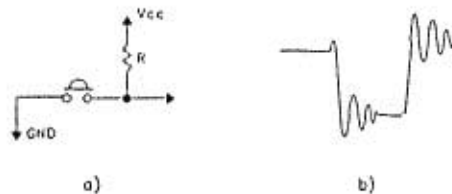


FIG. IX.7 Conexión de uno de los botones del teclado y señal de entrada

El ruido presente en la señal al momento de oprimir un botón del teclado se reduce al mínimo con un circuito latch, el cual permite acondicionar la señal a los niveles lógicos adecuados dada su capacidad para reconocer las señales que se le aplican, así como a su alta inmunidad al ruido. Para este caso, se ha seleccionado el circuito 74LS373 que está conformado por ocho latches con salida triestado. Para que se efectúe la transferencia de la señales en el circuito latch, es necesario que los pines denotados por LE y OE estén a un nivel lógico alto y bajo respectivamente.

Limpias las señales, se procede a codificarlas para generar un patrón que indique el botón que se ha oprimido. Para codificar los números del 0 al 9 se elige el circuito 74LS147, que es un codificador de prioridad, donde las entradas y salidas son activadas en un nivel lógico bajo. El 74LS147 dispone de nueve líneas de entrada por cuatro de salida en código BCD (8-4-2-1), lo que implica que la condición de entrada cero en decimal no se requiere porque el cero es codificado cuando todas las líneas de entrada se encuentren a un nivel lógico alto.

Proyectos

Para controlar la transferencia de datos y determinar con ello la veracidad de los dígitos que se introducen como clave, se requiere de un dispositivo que permita seleccionar una de varias fuentes el dato correspondiente para generar con ello la señal de salida DC. Un circuito multiplexor realiza esta función, por lo que se ha decidido elegir el 74LS150, que se describe como un multiplexor de 16 entradas y una salida la cual es complementada. Para seleccionar una de las 16 entrada cuenta con 4 líneas de selección, mismas que deben conectarse a las salidas del codificador, lo que permite que una y sólo una de las entradas este conectada a la salida del multiplexor en un instante determinado.

Los datos que se aplican al multiplexor se obtienen de un decodificador BCD; cuando a éste se le aplica un código binario de entrada se activa la salida correspondiente a dicho código. El circuito decodificador utilizado es el 74LS42. El código binario que se aplica al decodificador lo genera un contador, mismo que lleva a cabo la cuenta de los dígitos, y que a su vez a través de un operador AND genera la señal de salida D=4. El contador utilizado es el 74LS90 que es un contador de décadas, y se controla por las señales INCA y RSTA.

La señal de salida B, que representa a cualquiera de los diez números decimales, se genera utilizando el circuito 74LS30, mismo que contiene un operador NAND de ocho entradas. Finalmente las señales de salida DA y MR se obtienen de las salidas correspondientes del circuito latch en cuyas entradas se ha aplicado los botones que representan a dichas señales.

El diagrama de conexiones del módulo de entrada se muestra en el diagrama esquemático 1. En la tabla IX.1 se proporciona la lista de partes del módulo de entrada.

Módulo de control

La herramienta de diseño que se utiliza para obtener el diagrama esquemático de éste módulo es el diagrama de estados, mismo que es la representación gráfica de la carta ASM. En el diagrama se presentan los estados del sistema y la transición de los mismos de acuerdo a las variables externas que indican la transición de un estado a otro. Este diagrama se muestra en la figura IX.8.

Existen diversas metodologías de diseño para implementar el módulo de control, una de ellas es el diseño por contador, por consiguiente se han asignado en el diagrama de estados de la figura IX.8 los nemónicos asociados correspondientes de acuerdo al código de estado definido previamente.

Como se observa en el diagrama de la figura IX.8 el código de estado esta conformado por cuatro bits (Q3, Q2, Q1 y Q0 que son las salidas del contador, donde Q3 es la más significativa y Q0 la menos significativa); y por consiguiente el mapa de estados presente que cumple con la secuencia del diagrama se muestra en la figura IX.9.

Proyectos

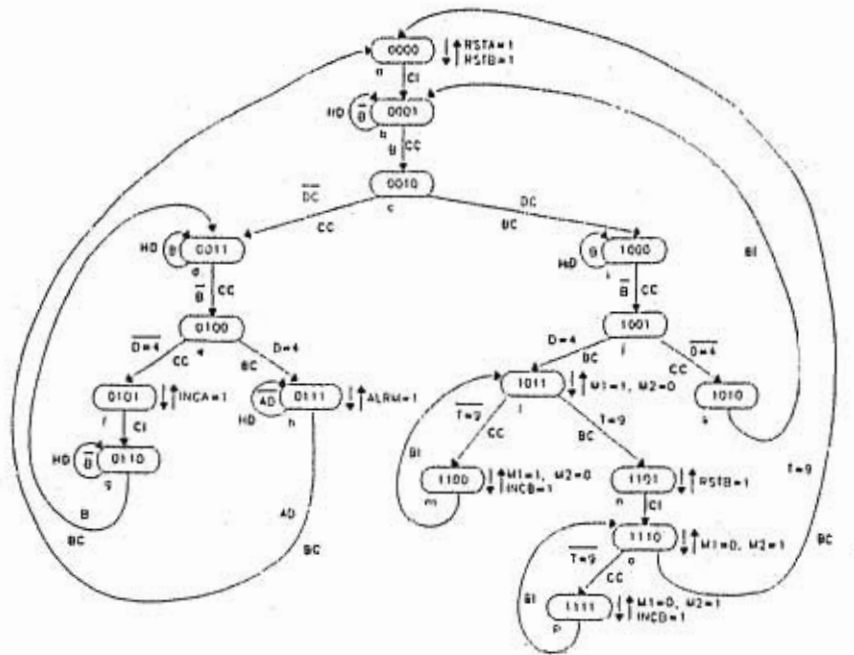


FIG. IX.8 Diagrama de estados

	03	02			
01	00	01	11	10	
00	a	e	m	i	
01	b	f	n	j	
11	d	h	p	l	
10	c	g	o	k	

FIG. IX.9 Mapa de estados presente

Para determinar los valores que deben estar presentes en las líneas de entrada del contador es necesario elaborar un mapa de acción, en el cual se asigne la información correspondiente a cada uno de los estados de acuerdo al orden establecido en el mapa de estados presentes. Este mapa se muestra en la figura IX.10.

03 01 02 00	00	01	11	10
00	0000 ↓ 0001 CI	D=4 CC 0101 D=4 BC 0111	1100 ↓ 1011 BI	B̄ CC 1001 B HD 1000
01	B̄ HD 0001 B CC 0010	0101 ↓ 0110 CI	1101 ↓ 1110 CI	D=4 CC 1010 D=4 BC 1011
11	B̄ CC 0100 B HD 0011	AD HD 0111 AD BC 0000	1111 ↓ 1110 BI	T=9 CC 1100 T=9 BC 1101
10	D̄C CC 0011 DC BC 1000	B̄ HD 0110 B BC 0011	T=9 CC 1111 T=9 BC 0000	1010 ↓ 0001 BI

FIG. IX.10 Mapa de acción

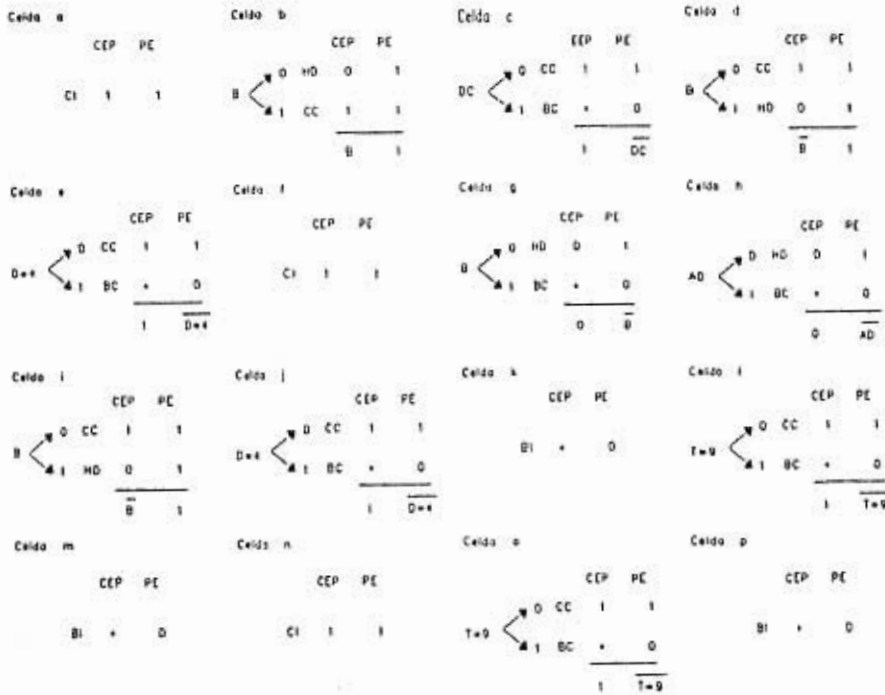
Para controlar al circuito 74LS161 se utilizan las líneas CEP y PE, dependiendo del valor que se aplique en las mismas se efectuara las operaciones que se definen en la tabla que se muestra en la figura IX.11.

CEP	PE	ACCION
0	0	CARGA
0	1	HOLD
1	1	CUENTA

FIG. IX.11 Tabla de operación del circuito 74LS161

Como el estado futuro del sistema depende del valor actual y de las combinaciones de las entradas se hace uso de los mapas de control del 74LS161, donde se tiene que asignar el valor que corresponde de acuerdo al análisis que se realiza en cada una de las celdas del mapa de acción, tomando en cuenta claro la tabla de operación del contador. Dicho análisis, el cual se denomina método de suma variable, se muestra a continuación.

Proyectos



El análisis anterior da como resultado que los mapas de control queden como se muestran en la figura IX.12

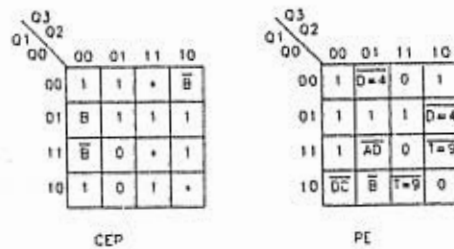


FIG. IX.12 Mapas de control

Las entradas P3, P2, P1 y P0 están en función de las combinaciones de Q3, Q2, Q1 y Q0 en el tiempo t. Utilizando mapas de Karnaugh se obtienen las ecuaciones correspondientes a cada entrada en paralelo; los mapas de entradas en paralelo y las ecuaciones de cada entrada se muestran en la figura IX.13.

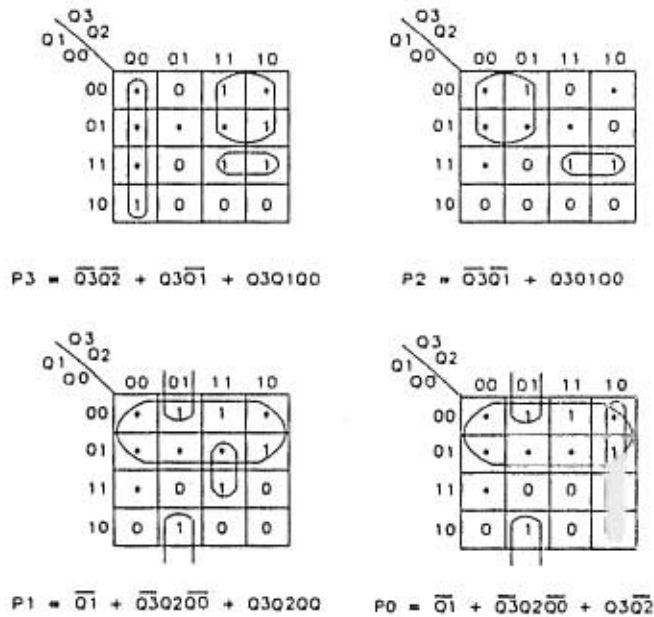


FIG. IX.13 Mapas de entradas en paralelo

En el mapa de salidas se proporciona el nombre de las salidas indicadas en el diagrama de estados de acuerdo al orden que se a establecido en el mapa de estados presentes. Dicho mapa se muestra en la figura IX.14.

Del procedimiento anterior, las conexiones correspondientes al modulo de control se muestran en el diagrama esquemático 2 y la lista de elementos se proporcionan en la tabla IX.2.

Proyectos

	Q3 Q1 Q2 Q0	00	01	11	10
00		RSTA=1 RSTB=1	0	M1=1, M2=0 INCB=1	0
01		0	INCA=1	RSTB=1	0
11		0	ALRM=1	M1=0, M2=1 INCB=1	M1=1, M2=0
10		0	0	M1=0, M2=1	INCA=1

FIG. IX.14 Mapas de salidas

Módulo de salida

Para controlar el motor de CD se utiliza el circuito LB1649, que es un circuito para el control bidireccional de motores de CD de 5 a 12 volts. El sentido de giro del motor se controla proporcionando un nivel lógico alto en una de las entradas TTL y un nivel lógico bajo en la otra entrada. Las señales que en este caso deben aplicarse a las entradas TTL del circuito son M1 y M2. Para controlar la velocidad del motor se debe aplicar un voltaje variable en la entrada Vs del LB1649. La corriente máxima que entrega el circuito es de 500 mA, por lo que no debe sobrepasarse este valor por ningún motivo. Es recomendable que se dote de un buen disipador de calor al integrado para que este no se dañe, aún y cuando sólo se utilice para pruebas. En el diagrama esquemático 3 se muestran las conexiones correspondientes al módulo de salida.

Un circuito Darlington se utiliza para activar la alarma, este circuito se compone de un transistor BC547 y un TIP41. Esta configuración se usa para suministrar la energía suficiente a la carga sobre una base controlada a través de una conmutación lógica. El control del Darlington se realiza empleando la señal ALRM. Para desactivar la alarma se utiliza un operador AND al cual se le aplica la señal ALRM y DA mismas que son generadas por el módulo de control y de entrada respectivamente. Las conexiones correspondientes se muestran en el diagrama esquemático 3. La lista de elementos para este módulo se proporcionan en la tabla IX.3.

Proyectos

Módulo de control de tiempo

Este módulo es necesario para controlar el número de pulsos que ingresan cuando la señal INCB pasa de un nivel lógico alto a un nivel lógico bajo y con ello generar la señal de salida T=9. El contador regresa a cero cuando la señal RSTB esta presente. El circuito que se usa para controlar el tiempo en que la puerta debe abrirse y cerrarse posteriormente es el 74LS90. Las conexiones del módulo se muestran en el diagrama esquemático 4 y la lista de partes se proporcionan en la tabla IX.4

Una vez que se dispone de los diagramas esquemáticos de los módulos que conforman al sistema se procede a realizar las formas de trabajo en las cuales se determinen las necesidades para la implementación del prototipo; cumplido este punto se da inicio a la ejecución del diseño para posteriormente realizar las pruebas de laboratorio correspondientes. Hay que recordar que se debe llevar a cabo una verificación de cada módulo para determinar si todas las conexiones se encuentran bien realizadas. Además cabe aclarar que si se presentan fallas al momento de verificar el funcionamiento de cada módulo, debe realizarse la lista de las mismas para determinar su naturaleza y con ello emplear el método de corrección adecuado.

Verificado el funcionamiento de cada módulo, se procede interconectarlos para así realizar la prueba final del diseño y determinar con ello su funcionamiento. Si suponemos que el prototipo ha funcionado plenamente se debe completar toda la documentación correspondiente al diseño y ser enviada a otras áreas en donde se encargaran de elaborar todo lo relacionado al sistema.

DIAGRAMA ESQUEMATICO 3

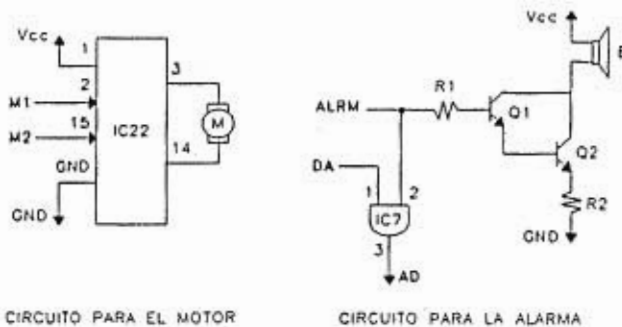
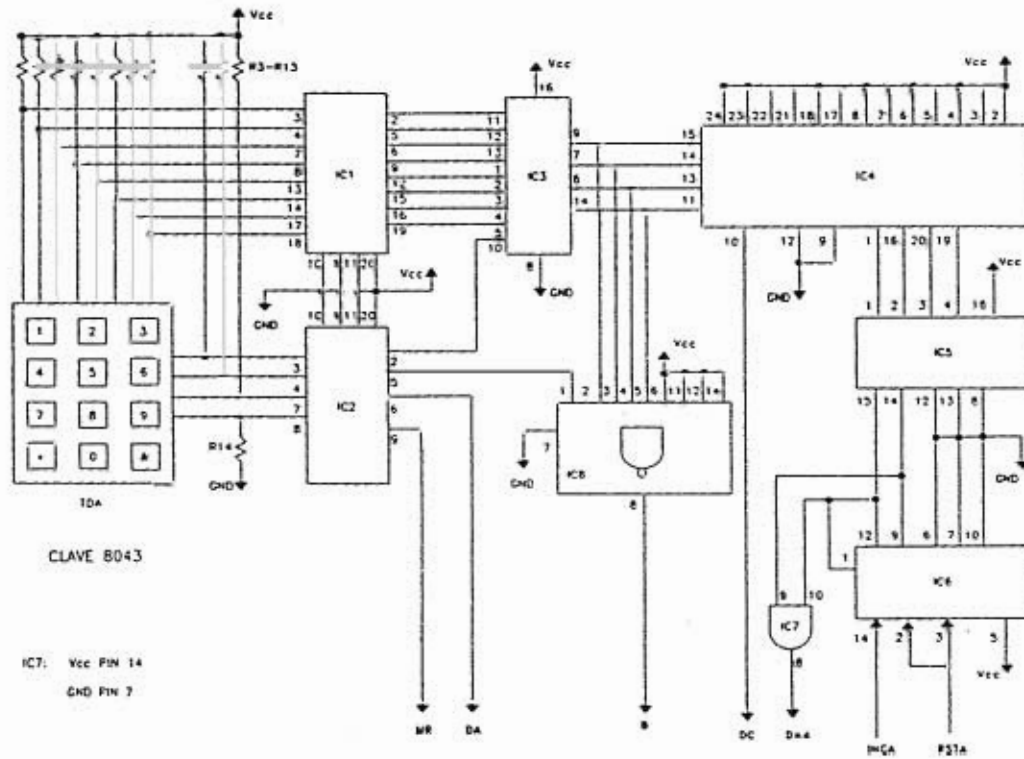


DIAGRAMA ESQUEMATICO 1



PROYECTO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE UN MOTOR DE PASOS CON UN MICROCONTROLADOR PIC16C55

DIAGRAMA ESQUEMATICO 2

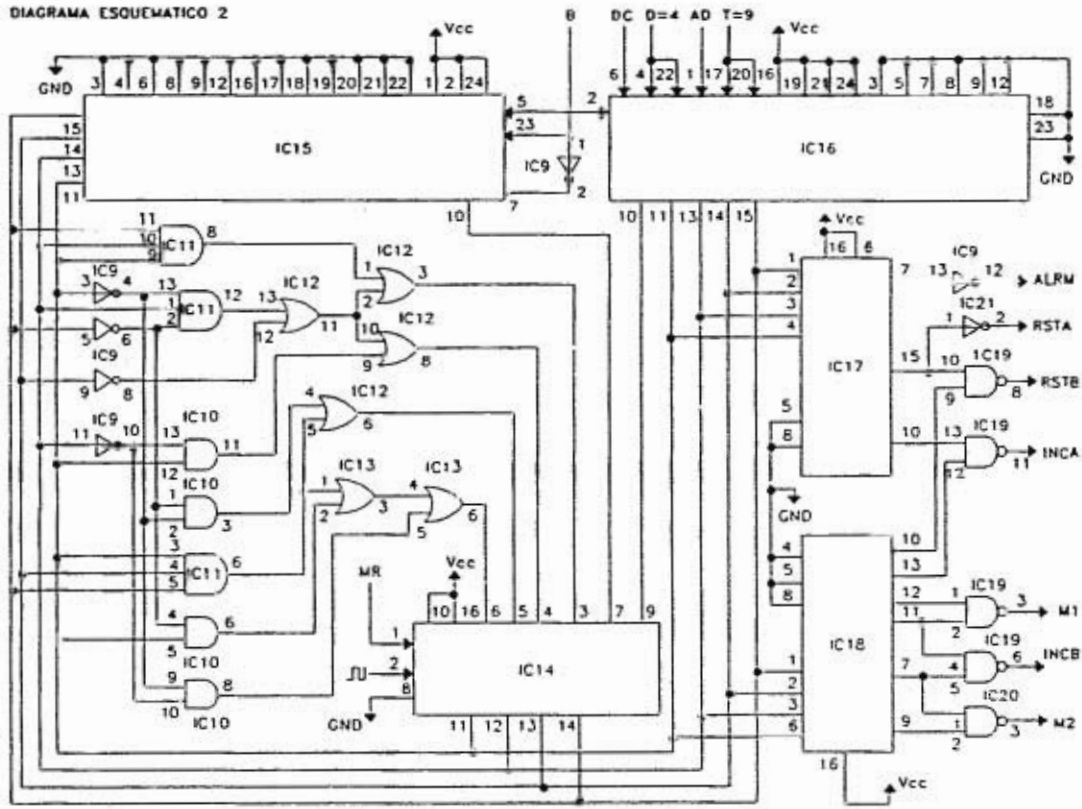
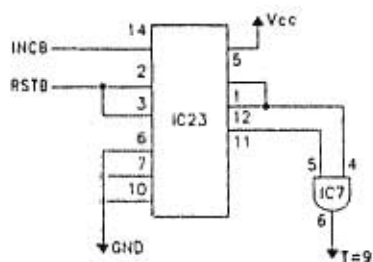


DIAGRAMA ESQUEMATICO 4



CIRCUITO DE CONTROL DE TIEMPO

TABLA IX.1

LISTA DE ELEMENTOS PARA EL MÓDULO ESQUEMATICO 1

No. DE PARTE	DESCRIPCION	No. DE FUNCION	CANTIDAD
10A	TECLADO PARALELO DE NUMEROS DECIMALES		1
R3 o R14	RESISTENCIA DE PELICULA DE CARBON DE 0.330 K		12
IC1, IC2	CIRCUITO CON 8 LATCH TIPO D TRANSPARENTE Y SALIDA TRIESTADO	74LS373	2
IC3	CODIFICADOR DE PRIORIDAD DE 9 ENTRADAS Y 4 SALIDAS ACTIVADAS EN BAJO	74LS147	1
IC4	MULTIPLEXOR 16:1 CON SALIDA EN BAJO	74LS150	1
IC5	DECODIFICADOR BCD CON 4 ENTRADAS Y 10 SALIDAS ACTIVADAS EN BAJO	74LS42	1
IC6	CONTADOR DE DECADAS	74LS90	1
IC7	CIRCUITO CON CUATRO COMPUERTAS AND DE 2 ENTRADAS	74LS08	1
IC8	CIRCUITO CON UNA COMPUERTA NAND DE 8 ENTRADAS	74LS30	1

TABLA IX.2

LISTA DE ELEMENTOS PARA EL MODULO ESQUEMATICO 2

No. DE PARTE	DESCRIPCION	No. DE FUNCION	CANTIDAD
IC9, IC21	CIRCUITO CON 6 INVERSORES	74LS04	2
IC10	CIRCUITO CON CUATRO COMPUERTAS AND DE 2 ENTRADAS	74LS08	1
IC11	CIRCUITO CON 3 COMPUERTAS NAND DE 3 ENTRADAS	74LS11	1
IC12, IC13	CIRCUITO CON 4 COMPUERTAS OR DE 2 ENTRADAS	74LS32	2
IC14	CONTADOR UNIVERSAL BINARIO DE 4 BITS	74LS161	1
IC15, IC16	MULTIPLEXOR 16:1 CON SALIDA EN BAJO	74LS150	2
IC17, IC18	DECODIFICADOR/DEMULTIPLEXOR 1 DE 3 CON SALIDAS ACTIVADAS EN BAJO	74LS138	2
IC19, IC20	CIRCUITO CON 4 COMPUERTAS NAND DE 2 ENTRADAS	74LS00	2

TABLA IX.3

LISTA DE ELEMENTOS PARA EL MODULO ESQUEMATICO 4

No. DE PARTE	DESCRIPCION	No. DE FUNCION	CANTIDAD
IC23	CONTADOR DE DECADAS	74LS90	1
IC7	MISMO DEL MODULO ESQUEMATICO 1		

TABLA IX.3

LISTA DE ELEMENTOS PARA EL MÓDULO ESQUEMÁTICO 3

No. DE PARTE	DESCRIPCION	No. DE FUNCION	CANTIDAD
IC22	CIRCUITO PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CD	LB1649	1
IC7	MISMO DEL MÓDULO ESQUEMÁTICO 1		
R1	RESISTENCIA DE COMPUESTO DE CARBÓN DE 0.680 K		1
R2	RESISTENCIA DE COMPUESTO DE CARBÓN DE 1 K		1
Q1	TRANSISTOR BIPOLAR NPN	BC547	1
Q2	TRANSISTOR BIPOLAR NPN	TIP41	1
B	BOCINA DE 4 OHMS 8 WATTS		1
M	MOTOR DE CD DE 6 VOLTS		1

El desarrollo mostrado en el ejemplo de diseño anterior no comprende todos los pasos que se describieron en el procedimiento propuesto; sin embargo, sí contempla a varios de ellos. La finalidad de hacerlo de esta manera es que se entienda perfectamente que el diseño de los sistemas electrónicos no es un proceso que pueda realizarse con solo tener los conocimientos teóricos bien fundamentados, si no que además requiere de gran cantidad de conocimientos prácticos, los cuales sólo con la práctica pueden adquirirse. Y aún así, nunca se podrá decir que se ha adquirido la práctica suficiente en el diseño de sistemas electrónicos, dado que esta es una tarea de constante aprendizaje.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Existen en el mercado gran variedad de dispositivos electrónicos que se emplean en el diseño y desarrollo de circuitos y/o sistemas electrónicos; la elección de estos depende de los procedimientos de diseño y de la aplicación en particular, así como de la habilidad, capacidad, experiencia y preferencias del diseñador.

En el presente trabajo se ha realizado una descripción de aquellos dispositivos que con frecuencia se emplean en el área de la electrónica, donde se vierten los conceptos teóricos más específicos y necesarios que facilitan la comprensión de los diferentes dispositivos.

En el desarrollo práctico se han propuesto montajes sencillos que buscan plantear otras posibles alternativas de diseño al lector sin encerrarlo en un sólo método de solución, se han pensado para que las pruebas se adapten a los diferentes medios didácticos de aprendizaje, y de esta forma se confirme de manera real los aspectos teóricos relacionados al funcionamiento del dispositivo en cuestión, para posteriormente emplearlos en aplicaciones prácticas.

Se recomienda que se proporcionen los conceptos teóricos necesarios antes de llevar a cabo el procedimiento planteado; esto permitirá su comprensión y con ello el alcance de los objetivos correspondientes a cada práctica. Los circuitos correspondientes a los desarrollos prácticos han sido probados y de acuerdo a su complejidad se definen a continuación los tiempos en los cuales se recomienda sean realizados.

TITULO DE LA PRACTICA	TEORIA	PRACTICA	TOTAL
Características de los circuitos SSI, TTL y CMOS	2 HRS.	4 HRS.	4 HRS.
Circuitos MSI	3 HRS.	6 HRS.	9 HRS.
Circuitos secuenciales	3 HRS.	6 HRS.	9 HRS.
Características reales de los Amplificadores operacionales.	2 HRS.	4 HRS.	6 HRS.
Filtros activos	3 HRS.	3 HRS.	6 HRS.

Conclusiones

Convertidores digitales-analógicos (DAC)	2 HRS.	4 HRS.	6 HRS.
Convertidores analógicos-digitales (ADC)	2 HRS.	4 HRS.	6 HRS.
Malla de fase encadenada (PLL)	2 HRS.	4 HRS.	6 HRS.

Para el capítulo ocho no se ha propuesto un desarrollo práctico específico, dado que este dependerá en mucho de los ejemplos que se deseen desarrollar. Sin embargo, para que se pueda entender el funcionamiento del microprocesador de manera correcta, es recomendable que primero se obtengan de manera práctica las señales básicas correspondientes al funcionamiento del microprocesador en uso. Es importante que se proporcione una explicación de cada una de las señales que se observen para con ello comprender la relación que tienen entre sí, y de esta manera se comprenda con mayor claridad el funcionamiento del microprocesador.

Posteriormente, se debe iniciar con ejercicios con los cuales se pueda visualizar como el microprocesador interactúa con los elementos que se encuentran conectados a él. Es decir, debe iniciarse por leer la memoria ROM, de como almacenar datos en memoria RAM o en los registros internos del microprocesador, como hacer operaciones elementales, como obtener datos de un puerto de entrada, y de como escribir datos en el puerto de salida. Para ello es indispensable que se elaboren programas muy simples que permitan realizar cada una de las operaciones indicadas, así como combinaciones de las mismas empleando los diferentes modos de direccionamiento del microprocesador en uso.

Como siguiente paso, en este capítulo ocho, deben desarrollarse ejemplos que permitan dar una visión de como utilizar al microprocesador para llevar a cabo diferentes funciones y con ello utilizarlos en diferentes aplicaciones.

En el último capítulo se describen las fases de un proyecto y de un diseño, cuales son sus diferencias y como están relacionados. Además se propone un procedimiento de diseño y un ejemplo en el que se muestra de como poder desarrollar el diseño de un sistema electrónico. Claro que en dicho ejemplo no se ha podido realizar un detalle muy preciso de todas las condiciones indicadas en el procedimiento propuesto; sin embargo, se ha buscado dar una idea de como llevar a cabo cada uno de los pasos que comprende dicho procedimiento.

Por último, en el presente trabajo se han encontrado puntos de interés que ameritan ser señalados. Estos son:

Conclusiones

- ♦ La electrónica debe entenderse como la parte de la física que se ocupa de las aplicaciones de la electricidad en la obtención, transmisión y procesamiento de información.
- ♦ Los instrumentos y dispositivos electrónicos son la base tecnológica de cualquier laboratorio moderno, donde la electrónica es una herramienta imprescindible; por lo que ésta debe dominarse a fin de realizar con éxito todas las tareas relacionadas a la misma.
- ♦ El avance vertiginoso de la electrónica ha estado definido por el constante desarrollo de dispositivos electrónicos que han permitido que en la actualidad se simplifiquen los procedimientos de diseño de circuitos electrónicos. Dispositivos que son cada vez más potentes, flexibles, funcionales y de bajo costo.
- ♦ El uso adecuado de los dispositivos electrónicos depende exclusivamente del usuario o diseñador, quien debe afrontar la tarea de consultar los manuales y catálogos de los fabricantes para determinar la organización más idónea de los diferentes dispositivos y así desarrollar circuitos electrónicos confiables y de bajo costo.
- ♦ El éxito en la realización de experimentos de electrónica esta basado en la capacidad del equipo que se va a emplear; por lo que es necesario conocer el modo de funcionamiento y operación del mismo. Se ha realizado una descripción, de forma general, de las principales características del equipo básico de medición, así como algunas recomendaciones para su uso.
- ♦ Para lograr cierto dominio en los procedimientos de diseño, se debe estar en contacto permanente con los dispositivos electrónicos que se emplean. Esto permite que se refuercen, no sólo los conocimientos teóricos, si no la capacidad de aplicarlos en la práctica.
- ♦ Los circuitos integrados han revolucionado el campo de la electrónica desde su aparición; estos han alcanzado gran popularidad por su tamaño, costo y confiabilidad. Por tanto, conocer sus características es parte importante para emplearlos en diversas aplicaciones.
- ♦ En el diseño de circuitos electrónicos, lo que se hace es determinar los requerimientos, alcances y limitaciones del mismo, de esta forma se podrá realizar la elección del procedimiento de diseño más idóneo. Si el circuito a desarrollar es pequeño y no importa el espacio que ocupe la disposición final se reúnen los dispositivos de propósito general apropiados, realizando posteriormente la interconexión entre ellos. Sin embargo, cuando la función a desarrollar es compleja y se requiere minimizar espacio y costo, es necesario emplear herramientas adicionales que permitan obtener resultados totales y minimicen los errores de alambrado, aún cuando esto requiera de un esfuerzo adicional; a esta herramienta se le denomina software.

Conclusiones

- En base a lo anterior, el presente trabajo se estructuró de manera que se facilite el seguimiento y comprensión de cada uno de los temas involucrados, donde en la parte teórica se han desarrollado los conceptos técnicos necesarios. En el desarrollo práctico se ha enfocado a confirmar de manera real los aspectos teóricos de cada uno de los dispositivos.

Conclusiones

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- CIRCUITOS ELECTRONICOS LINEALES.
Cutles, Phillip.
Mc Graw-Hill.
2ª Edición.
- SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES.
Sánchez López, Rafael.
Alfaomega.
1ª Edición.
- SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES.
Mandado, Enrique.
Marcombo.
4ª Edición.
- FUNDAMENTOS Y SISTEMAS ELECTRONICOS PARA SEÑALES ANALOGICAS.
Sánchez López, Rafael.
Marcombo.
1ª Edición.
- INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DIGITALES.
E. Palmer, James.
Mc Graw-Hill.
1ª Edición.
- ELECTRONICA INDUSTRIAL.
Lander, Cyril.
Mc Graw-Hill
2ª Edición.
- FUNDAMENTOS DE LA ELECTRONICA DIGITAL.
Nashelsky, Louis.
Limusa.
1ª Edición.
- ELECTRONICA DIGITAL MODERNA.
Angulo, José M.
Paraninfo.
1ª Edición.
- ELECTRONICA DIGITAL.
Schilling, Donald.
Marcombo.
2ª Edición.
- ELECTRONICA GENERAL. DISPOSITIVOS Y SISTEMAS DIGITALES.
Gil Padilla, A.
Mc Graw-Hill.
1ª Edición.

- ELECTRONICA INTEGRADA. CIRCUITOS Y SISTEMAS ANALOGICOS Y DIGITALES.
Millman, J.
Hispano Europea.
2ª Edición.
- TECNICAS DIGITALES.
Barrio, J.
Paraninfo.
1ª Edición.
- PROBLEMAS DE ELECTRONICA DIGITAL.
Mandado, Enrique.
Marcambo.
3ª Edición.
- ANALOG TO DIGITAL/DIGITAL TO ANALOG CONVERSION TECHNIQUES.
Hoeschel, D. F. Jr.
John Wiley and Sons.
1ª Edición.
- CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES Y AMPLIFICADORES OPERACIONALES.
F. Coughlin, Robert y F. Driscoll, Frederick.
Prentice-Hall.
2ª Edición.
- APPLICATIONS MANUAL FOR OPERATIONAL AMPLIFIERS.
Philbrick.
Conferencia Research.
1ª Edición.
- PHASE-LOCK LOOPS.
Blanchard, A.
John Wiley and Sons.
1ª Edición.
- PHASE-LOCK TECHNIQUES.
Gardner, P.
John Wiley and Sons.
1ª Edición.
- OPERATIONAL AMPLIFIERS.
Tobey, Grance y Huelsman.
Mc Graw-Hill.
1ª Edición.
- DIGITAL SYSTEM DESIGN AND MICROPROCESSORS.
Hayes, J. P.
Mc Graw-Hill.
2ª Edición.

- AUTOMATAS PROGRAMABLES.
Porrás Criado, Alejandro.
Mc Graw-Hill.
1ª Edición.
- CIRCUITOS DIGITALES Y MICROPROCESADORES.
Taub, Herbert
Mc Graw-Hill.
2ª Edición.
- MICROPROCESADORES FUNDAMENTOS, DISEÑO Y APLICACION EN LA INDUSTRIA.
Angulo, José M.
Paraninfo.
5ª Edición.
- ELECTRONIC DESIGN OF MICROPROCESSOR - BASED.
Wist, A. O.
Instruments and Control Systems.
Prentice-Hall.
1ª Edición.
- MICROPROCESSORS HARDWARE AND APLICATIONS.
Veronis, A. M.
Prentice-Hall.
1ª Edición.
- DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES.
Angulo, José M. y Deschamps, Jean P.
Paraninfo.
1ª Edición.
- LOGIC DATA BOOK I.
National.
- CMOS/NMOS SPECIAL FUNCIONS DATA.
Motorola.
- LINEAR/INTERFACE ICS
Device Data. Vol. I y II.
Motorola.
- FAST LS TTL DATA
Motorola.
- MANUYAL DE LA IEEE
De este se obtuvieron los símbolos estandar para los circuitos MSI que se describieron en el capítulo tres