

15
207



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON - UNAM

INGENIERIA

APUNTES Y PRACTICAS PARA LA MATERIA
DE
ELECTRONICA INDUSTRIAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
PRESENTAN:

NOE GONZALEZ ROSAS

ADRIAN PAREDES ROMERO

ENEP



ARAGON

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO AGOSTO DE 1994.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES TRAZAM
UNIDAD ACADÉMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZA DE
MEXICO

Ing. RAY GARRON VEGA
Jefe de la Carrera de Ingeniería
Mecánica Eléctrica,
Bancroft

En atención a la solicitud de fecha 16 de junio del año en curso, por la que se comunica que los alumnos NOE GONZALEZ ROSAS y ADRIAN PAREDES ROMERO, de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, han concluido su trabajo de investigación titulado " APUNTES Y PRACTICAS PARA LA MATERIA DE ELECTRONICA INDUSTRIAL ", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE

"DON ANTONIO MARRA EL ESPIRITU"
San Juan la Granja, Mex., 24 de junio de 1994
EL JEFE DE LA UNIDAD

ALBERTO MARRA ROSAS

c c p Ing. David Moisés Terán Pérez, Asesor de Tesis.
c c p Interesado.

AIR'la.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
UNIDAD ACADÉMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Inq. DAVID ARAGON VERA
Jefe de la Carrera de Ingeniería
Mecánica Eléctrica
P r o f e s o r e s .

En atención a la solicitud de fecha 16 de junio del año en curso, por la que se comunica que los alumnos ADRIAN PAREDES ROMERO y NOE GONZALEZ ROSAS, de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, han concluido su trabajo de investigación intitulado " APUNTES Y PRACTICAS PARA LA MATERIA DE ELECTRONICA INDUSTRIAL ", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR EL PAPA "MOROS EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., N da junio de 1994
EL PAPA DE LA UNIDAD

DR. ALBERTO BAZTA ROSAS

c c p Inq. David Moisés Terán Pérez, Asesor de Tecnic.
c c p Interesado.

ATR'11a.

A mis Padres :

ADRIAN PAREDES O.
CATALINA ROMERO DE P.

Por saber esperar, porque su cariño, dedicación y esfuerzo han forjado mis éxitos, que también son suyos. " GRACIAS "

A Ma. Del CARMEN :

Amorosa compañera, por su apoyo y comprensión para lograr este trabajo.

A mi prima MARTHA LUZ PATRICIA :

Por alentarme a terminar y lograr una meta más.

A mis padres :

MANUEL GONZALEZ S.

CARMEN ROSAS DE G.

Por el cariño y apoyo que siempre me han brindado. Dios los bendiga.

A mis hermanos :

CANDIDO MANUEL

ROSA MARIA

GUILLERMO Y

MARTHA

Porque siempre juntos hemos disfrutado las dichas y enfrentado las amarguras de nuestras vidas.

A mi querida esposa :

VICTORIA

Madre de mis hijos, NOE, VICTOR MANUEL y Ma. Del CARMEN, razón que motiva mis deseos de seguir superandome.

A nuestro asesor :

ING. DAVID MOISES TERAN PEREZ.

Por el tiempo dedicado y sus valiosos consejos para la realización del presente trabajo.

INDICE.

| | |
|---|----|
| PROLOGO..... | 3 |
| JUSTIFICACION..... | 4 |
| PLAN PROPUESTO..... | 5 |
| OBJETIVO(S)..... | 6 |
| CAPITULO I.- INTRODUCCION. | |
| I.1.- La Electrónica y sus Aplicaciones en la Industria y el control..... | 7 |
| I.2.- Señal Analógica y Digital..... | 13 |
| I.3.- Detección, Amplificación y Procesamiento..... | 15 |
| CAPITULO II.- DIODOS Y TIRISTORES. | |
| II.1 Funcionamiento Básico del diodo rectificador.... | 19 |
| II.2.- Operación y Modelo Ideal..... | 20 |
| II.3.- Aplicaciones: Rectificadores, Recortadores y compuertas lógicas..... | 23 |
| II.4.- El SCR y el TRIAC, su Operación y Aplicaciones como Rectificadores Controlados y Controladores de Voltaje..... | 36 |
| CAPITULO III.- TRANSISTORES Y APLICACIONES. | |
| III.1 - Funcionamiento del FET..... | 43 |
| III.2.- Polarización del FET..... | 45 |
| III.3.- El Amplificador Básico con FET..... | 48 |
| III.4.- Funcionamiento del TBJ..... | 50 |
| III.5.- Polarización del TBJ..... | 52 |
| III.6.- El Amplificador Básico con TBJ..... | 56 |
| III.7.- El Transistor como Conmutador..... | 59 |

CAPITULO IV.- EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

| | |
|---|----|
| IV.1.- El Modelo Ideal del Amplificador Operacional..... | 62 |
| IV.2.- Aplicaciones Básicas: Inversor, No-Inversor, Sumador, Diferenciador, Integrador, Derivador y Comparador..... | 67 |
| IV.3.- Sistemas de Control Y de Medición con Amplificadores Operacionales..... | 75 |

CAPITULO V.- CIRCUITOS LOGICOS.

| | |
|---|----|
| V.1.- Sistemas de Numeración: Decimal, Binario y Hexadecimal..... | 80 |
| V.2.- Aritmética Binaria..... | 82 |
| V.3.- Elementos de Algebra Booleana..... | 85 |
| V.4.- Funciones Booleanas y Puertas Lógicas..... | 87 |
| V.5.- Decodificadores..... | 90 |
| V.6.- Flip-Flop's..... | 92 |
| V.7.- Registros de Corrimiento y Contadores..... | 95 |
| V.8.- Memorias..... | 98 |

CAPITULO VI.- SISTEMAS ELECTRONICOS.

| | |
|--|-----|
| VI.1.- Microprocesadores, su Arquitectura; CPU, Memoria, Canales de Datos y de Control, y de direccionamiento de Memoria, Puertos y Registros..... | 99 |
| VI.2.- Funcionamiento General de los Microprocesadores y sus Aplicaciones en los Sistemas Industriales de Producción, Control de Máquinas-herramienta..... | 109 |
| VI.3.- Proyecto de Integración de la Asignatura..... | 114 |

| | |
|-------------------|-----|
| CONCLUSIONES..... | 115 |
|-------------------|-----|

| | |
|-------------------|-----|
| BIBLIOGRAFIA..... | 116 |
|-------------------|-----|

APENDICE

| | |
|---|-----|
| Prácticas propuestas para la materia de electrónica industrial..... | 117 |
|---|-----|

Prácticamente, no existe hogar , oficina o nave industrial que carezca de algún dispositivo electrónico, desde un simple reloj de pulsera hasta un sofisticado equipo de cómputo o un proceso industrial automatizado; todos ellos funcionan gracias a la electrónica. El sólo mencionar artículos electrónicos nos llevaría varias páginas, lo cual demuestra que un artículo electrónico ha pasado de ser un objeto de lujo a una necesidad. El mundo sería completamente diferente si se careciera repentinamente de los equipos electrónicos actuales.

La electrónica ha evolucionado y consecuentemente los equipos que la utilizan; es una tendencia actual el sustituir elementos analógicos por elementos digitales, el uso de Circuitos Integrados se ha generalizado permitiendo que los equipos electrónicos reduzcan significativamente su costo y tamaño.

Los avances en la electrónica, han constituido la base sustancial para el auge expansivo de las computadoras, los automatismos y las comunicaciones. Es parte fundamental el conocimiento de la electrónica en general, y de sus sub-clasificaciones como son: Electrónica analógica, digital y la de potencia.

Es por esta razón, que se ha desarrollado el presente trabajo, buscando recopilar la mejor información acerca de los tópicos que deben ser cubiertos en la materia de Electrónica Industrial; y que desea dejar un precedente importante en los alumnos del área Industrial y Mecánica dentro de la Universidad.

Es difícil poder manejar todos los conceptos de la electrónica, pero se ha tratado de visualizar aquellos que realmente puedan ser ilustrativos a los alumnos de estas áreas.

Es de suma importancia para nosotros, el dar una razón satisfactoria, para tomar como tema de tesis el presente trabajo. Una de las causas que motivó su elaboración, es la búsqueda de la Excelencia Académica a nivel Ingeniería.

De igual manera, pensamos que los alumnos somos los más afectados ante cualquier cambio en la Universidad, y por lo mismo, somos los indicados directos para buscar y decidir que todos los cambios favorezcan a la Comunidad Estudiantil Universitaria; siempre y cuando éstos no perjudiquen a terceros.

Otra de las razones, se fundamenta en el contacto directo que hemos tenido al respecto como Ayudantes de Profesor, engendrando dicha actividad la inquietud de que las cosas mejoren para beneficio de los Ingenieros de generaciones venideras.

Pero la principal razón en la que se fundamenta trabajo radica, en que existe una gran desigualdad en los conocimientos previos a la materia que tienen los alumnos que se inscriben a la materia de Electrónica Industrial.

Esto es preocupante ya que de entrada, algunos alumnos ni siquiera han acreditado la materia de Electricidad y Magnetismo, que es el pre-requisito para asimilar los conocimientos de esta asignatura. La manifestación de las inquietudes que presentan los alumnos que se inscriben a la materia, ha demostrado que cursan la materia (y su respectivo Laboratorio), como requisito ("un mal necesario"), para avanzar y cubrir el total de materias de que consta la currícula de Ingeniería Industrial o Mecánica.

Es por esta razón, que los apuntes para esta materia se presentan lo más atractivo y entendible posible, para lograr atraer la atención de los alumnos y despertar o, en su caso, acrecentar de esta manera, el interés en los conocimientos impartidos y/o adquiridos, para alcanzar el logro de los objetivos planteados.

Por lo antes expuesto, presentamos el siguiente trabajo como una forma de motivar a los profesores a pensar la manera objetiva, en que se puede mejorar el proceso Enseñanza-Aprendizaje en la UNAM y en concreto en la ENEP-ARAGON.

Lo que se pretende con el siguiente trabajo, es brindar al Plan de Estudios de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UNAM, la recopilación más completa posible de información para la materia de "Electrónica Industrial".

El objetivo anterior se desea cubrir con esta tesis, ya que en ocasiones es difícil encontrar la información de una materia en un sólo volumen y en un mismo idioma; esto tiene gran mérito, ya que la información está disponible sobre un mismo libro.

Se pretende utilizar esta tesis como una ayuda al profesor de la materia, ya que está contenida en ella, toda la información del temario (esto no quiere decir que no se necesite auxiliar de otros textos), y podrá complementarla con ejercicios de la materia en la medida que se requiera.

Otro aspecto fundamental es poder manejar la cantidad de información que se requiera para cada clase, ya que dentro del temario se tiene el tiempo para cubrir cada tema y el grupo de subtemas de que consta, esto ayuda significativamente, ya que con los conceptos teóricos que se manejan, se tiene tiempo suficiente para resolver problemas complementarios a la teoría explicada. Con esto tampoco se interfiere con la libertad de cátedra, ya que cada profesor podrá impartir adicionalmente, la información que juzgue conveniente de acuerdo con sus necesidades y preferencias bibliográficas.

Cada capítulo contiene la información necesaria para ser cubierta en el tiempo establecido, más no es requisito indispensable únicamente basarse en este trabajo. Sabemos que es un poco difícil que se acepte totalmente este trabajo de tesis, y además se ponga en práctica tal cual, por el sólo hecho de que aseguramos su éxito, por lo que proponemos se vaya utilizando paulatinamente por los profesores que imparten la materia, y posteriormente se vaya evaluando paulatinamente al final de cada capítulo, a través de los conocimientos adquiridos por los alumnos mediante exámenes parciales; también proponemos que los profesores vayan evaluando el trabajo, a través de la comparación que se pueda hacer con los apuntes, notas y ejercicios que actualmente están utilizando en la materia.

OBJETIVOS.

6

Objetivo General.

Conocer la teoría de operación de los principales elementos electrónicos que son utilizados dentro del campo de aplicación de la Ingeniería Industrial y Mecánica.

Objetivos Particulares.

1.- Conocer los conceptos fundamentales de la electrónica, así como sus aplicaciones al área industrial y mecánica.

2.- Conocer la teoría de operación de los diodos, sus aplicaciones y utilización en procesos industriales y equipo mecánico.

Conocer la teoría de operación de los tiristores, sus aplicaciones y utilización en procesos industriales y equipo mecánico.

3.- Conocer la teoría de operación de los transistores (TBJ y FET), tanto en c-d como en c-a.

Conocer y evaluar la aplicaciones de estos dispositivos dentro de procesos industriales y equipo mecánico.

4.- Conocer la teoría de operación, configuraciones básicas y aplicaciones de los amplificadores operacionales a los procesos industriales y equipo mecánico.

5.- Conocer los principios fundamentales de los sistemas de electrónica digital, dentro de los circuitos combinacionales; y su aplicación dentro del control de los procesos industriales y equipo mecánico.

6.- Conocer los principios fundamentales de los sistemas de electrónica digital, dentro de los circuitos secuenciales; y su aplicación dentro del control de los procesos industriales.

I.1 LA ELECTRONICA Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA Y EL CONTROL.

Las aplicaciones de la Electrónica, estuvieron durante mucho tiempo limitadas a las técnicas de las altas frecuencias (emisores, receptores, etc.). Hasta los alrededores de 1950, la Electrónica no hace su aparición en la industria en el campo de la regulación y mando de las máquinas-herramienta, calandrias, laminadoras, etc.

Durante estos primeros años, las posibilidades de aplicación, estaban limitadas por la falta de fiabilidad de los elementos electrónicos entonces disponibles (tubos amplificadores y rectificadores, tiratrones, resistencias, condensadores).

Esta fiabilidad era insuficiente para responder a las altas exigencias que se requerían en las nuevas aplicaciones en el campo industrial. Con el desarrollo de componentes electrónicos especiales, de fiabilidad más elevada y de tolerancias más ajustadas, pero siempre con la base de válvulas de vacío, pudo pensarse en nuevas aplicaciones. Así nació una nueva rama de la Electrónica: " La Electrónica Industrial ".

Gracias al descubrimiento de los semiconductores (transistores, tiristores, etc.), elementos que respondían perfectamente a las exigencias industriales (alta fiabilidad, dimensiones reducidas, insensibilidad a las vibraciones mecánicas), la Electrónica Industrial hizo progresos increíbles. A partir de 1960, los semiconductores se introdujeron en el campo de la electrónica industrial y permitieron la realización de dispositivos cada vez más complejos, destinados a la automatización de procesos industriales.

Además la miniaturización de los elementos en forma de Circuitos Integrados (CI), introducidos en el campo de la electrónica industrial a partir de 1970, permitió reducir el tamaño y el coste de estos dispositivos, aumentando su fiabilidad y reduciendo el consumo de energía. Con la ayuda de estos CI se puede aumentar la perfección y la complejidad de las regulaciones y los controles.

a.2.- Electrónica de Regulación y de Control.- En el campo de la electrónica de regulación y de control, los fabricantes han desarrollado series de módulos estándar, con el fin de facilitar la realización de dispositivos que desempeñen funciones muy variadas y de racionalizar sus gamas de producción. Estos módulos pueden clasificarse en dos categorías distintas, según su modo de funcionamiento, a saber en módulos analógicos (funcionando de manera continua entre ciertos límites de operación) y en módulos lógicos (funcionando de manera discontinua entre dos niveles distintos).

Estos módulos estándar permiten componer órganos y equipos de control y de regulación, funcionando de manera puramente analógica (regulaciones); puramente digital (controles, regulaciones digitales); o bien de manera híbrida, es decir, incluyendo módulos lógicos y analógicos combinados (regulaciones adaptativas, regulaciones óptimas).

a.3.- Instalaciones Completas.- La combinación de equipos de potencia con equipos de control y regulación, permite la realización de Instalaciones Completas, que suele comprender máquinas eléctricas (motores, generadores) o a veces, máquinas hidráulicas o térmicas (turbinas, calderas, etc.), que son parte integrante de la instalación completa.

En el caso de instalaciones complejas, caracterizadas por exigencias de control o de regulación elevadas, cada vez se utilizan más los calculadores de proceso, en particular los mini y μP . éstos, son calculadoras electrónicas digitales, que se encargan de las funciones de control y de regulación. Los dispositivos analógicos, digitales o híbridos, en estos casos se utilizan para la realización de conexiones y de adaptaciones necesarias entre los procesos propiamente dichos (sistema a regular o a controlar), y los calculadores de procesos.

A partir de los alrededores de 1975, se vislumbra una nueva orientación, con la aparición de los μP en algunas aplicaciones de la Electrónica Industrial. Estos nuevos elementos serán la base de una revolución en la concepción de regulaciones y controles industriales; los circuitos realizados y modificados según las necesidades serán cada vez más reemplazados por montajes universales, la adaptación de los cuales a una aplicación particular se hará mediante programación.

a). Clasificación en Electrónica de Potencia y en Electrónica de Regulación y Control.

El campo de la Electrónica Industrial, puede dividirse esquemáticamente como se indica a continuación: Electrónica de Potencia y en Electrónica de Regulación y Control.

En la Electrónica de Potencia, la amplificación en potencia y la potencia de salida de los dispositivos puestos en juego son preponderantes. Partiendo de un límite inferior de algunos 100 W, la potencia de salida de los dispositivos se extiende hasta 100 MW para llegar a 1000 MW en los casos límites.

Por el contrario, en la Electrónica de Regulación y Control, la transferencia y la elaboración de señales son primordiales, mientras que la potencia en juego, es pequeña e insignificante. La potencia de salida de estos dispositivos varía típicamente entre 10 μW y 1 W, y alcanza algunas veces un límite superior de algunas centenas de Watts.

a.1.- Electrónica de Potencia.- En base de la electrónica de potencia, se encuentran los elementos de potencia, que pueden subdividirse en elementos rectificadores no controlables (Diodos), y en elementos rectificadores controlables (Tiristores, Triacs).

Los elementos de potencia, asociados a dispositivos auxiliares apropiados (controles de las puertas, radiadores de disipación, circuitos RC de protección), componen los módulos estándar que permiten la realización de equipos de potencia, tales como rectificadores, convertidores de corriente, convertidores de frecuencia, etc.

a.2.- Electrónica de Regulación y de Control.- En el campo de la electrónica de regulación y de control, los fabricantes han desarrollado series de módulos estándar, con el fin de facilitar la realización de dispositivos que desempeñen funciones muy variadas y de racionalizar sus gamas de producción. Estos módulos pueden clasificarse en dos categorías distintas, según su modo de funcionamiento, a saber en módulos analógicos (funcionando de manera continua entre ciertos límites de operación) y en módulos lógicos (funcionando de manera discontinua entre dos niveles distintos).

Estos módulos estándar permiten componer órganos y equipos de control y de regulación, funcionando de manera puramente analógica (regulaciones); puramente digital (controles, regulaciones digitales); o bien de manera híbrida, es decir, incluyendo módulos lógicos y analógicos combinados (regulaciones adaptativas, regulaciones óptimas).

a.3.- Instalaciones Completas.- La combinación de equipos de potencia con equipos de control y regulación, permite la realización de Instalaciones Completas, que suele comprender máquinas eléctricas (motores, generadores) o a veces, máquinas hidráulicas o térmicas (turbinas, calderas, etc.), que son parte integrante de la instalación completa.

En el caso de instalaciones complejas, caracterizadas por exigencias de control o de regulación elevadas, cada vez se utilizan más los calculadores de proceso, en particular los mini y μP . éstos, son calculadoras electrónicas digitales, que se encargan de las funciones de control y de regulación. Los dispositivos analógicos, digitales o híbridos, en estos casos se utilizan para la realización de conexiones y de adaptaciones necesarias entre los procesos propiamente dichos (sistema a regular o a controlar), y los calculadores de procesos.

b). Aplicaciones de la Electrónica Industrial.

El campo de aplicación de la electrónica industrial, se extiende a numerosos sectores de la industria y como ejemplo se dan los siguientes:

b.1.- Accionamientos Regulados.- Los accionamientos regulados constituyen, el campo de aplicación más amplio de la electrónica industrial. Se observa una gran diversidad, tanto en las máquinas eléctricas utilizadas (máquinas de corriente continua, asíncronas, síncronas), como en los equipos de potencia que se utilizan (convertidores de corriente y de frecuencia). Además, estos accionamientos se utilizan en ramas muy variadas de la industria, teniendo cada una sus exigencias particulares en cuanto a la naturaleza de los equipos de control y de regulación, como por ejemplo las máquinas-herramienta, las laminadoras, etc.

b.2.- Equipos de Tracción.- La aplicación de la electrónica industrial en el campo de la tracción, es relativamente reciente y se debe a la introducción de los elementos semiconductores insensibles a las vibraciones. Los convertidores de corriente o de frecuencia, permiten alimentar los motores de tracción con corriente continua o con corriente trifásica, fácilmente regulable, y construir equipos de tracción alimentados por sistemas diferentes de corriente (monofásico 16 2/3 Hz, 50 Hz, continua 1500 V, 3000 V). Los equipos de control y regulación facilitan la tarea del equipo mecánico, con la ayuda, por ejemplo; de automatización de arranque, de controles de velocidad y de frenado, así como con dispositivos antipatinaje, parada al final y marcha con consumo mínimo. Desde un punto de vista técnico, también es posible, realizar un control automático de marcha de un tren. Sin embargo, razones financieras de seguridad y psicológicas, impiden que esta realización se generalice.

b.3.- Centrales y Redes Eléctricas.- En el campo de las centrales eléctricas, la electrónica de potencia permite la excitación de los alternadores (máquinas síncronas), mediante medios estáticos (convertidores de corriente). En las redes eléctricas, se realiza la interconexión elástica de dos redes de frecuencias diferentes, con la ayuda de convertidores de frecuencia estáticos, o también el transporte de energía a alta tensión continua, gracias a los convertidores estáticos que realizan la conversión de alterna a continua y viceversa. En esta aplicación, están en juego potencias elevadas del orden de 1000 MW. También es posible, realizar compensadores de potencia reactiva con medios estáticos.

Además, se efectúa de manera electrónica, las regulaciones de alternadores, de turbinas y de calderas, así como las regulaciones frecuencia-potencia. Finalmente, se realizan dispositivos de mando (por ejemplo, el automatismo de secuenciamiento para el arranque, la vigilancia y el paro de los grupos turboalternadores) y relés de protección electrónicos.

b.4.- Máquinas-Herramienta.- En lo que concierne a las máquina-herramienta, la electrónica industrial permite realizar, además de los accionamientos regulados ya mencionados, todo tipo de controles a secuencia y controles numéricos. Los controles numéricos, permiten la fabricación automática de piezas, previa programación sobre un ordenador mediante cintas perforadas o cintas magnéticas.

b.5.- Instalaciones para la Investigación Nuclear.- En el campo de las instalaciones para la investigación nuclear, la electrónica industrial, contribuye eficazmente a la realización de alimentaciones para imanes (aceleradores, cámaras de burbujas), con la ayuda de convertidores de corriente, así como a la realización de dispositivos de control de alta precisión, para las corrientes de excitación de estos imanes.

b.6.- Procesos Químicos y metalúrgicos.- Los recursos de la electrónica industrial, son igualmente puestos a disposición de los procesos químicos y metalúrgicos, por una parte para la alimentación en corriente de hornos y de baños electrolíticos, de hornos a media y alta frecuencia, y por otra parte para la regulación de reactores químicos y de hornos eléctricos, así como para la realización de controles secuenciales. Sin embargo, la electrónica industrial está en competencia con otras tecnologías (dispositivos hidráulicos o neumáticos), que reemplazan los dispositivos electrónicos.

Por el contrario, en este campo y después de mucho tiempo, los calculadores electrónicos de procesos, tienen una utilización muy extendida.

c). Relaciones de la Electrónica Industrial con Otras Disciplinas.

El contenido de lo analizado en los apartados "a" y "b" se muestra claramente, que el campo de aplicación de la electrónica industrial es muy amplio. Por otra parte, la elaboración técnica y la realización de instalaciones reguladas o controladas necesitan la aportación de distintas disciplinas, de las cuales las más importantes se enumeran a continuación:

- **Electrónica General.**- Para la comprensión del funcionamiento de los módulos estándar, y el desarrollo de nuevos dispositivos.

- **Técnica de las Medidas.**- Para la selección y el desarrollo de dispositivos de medida en los circuitos de control y de regulación, así como para efectuar las medidas durante los ensayos.

- **Instalaciones Eléctricas.**- Para una ejecución y protección correcta de las instalaciones y de los cableados.

- **Máquinas eléctricas.**- Para la comprensión de su funcionamiento estático y dinámico en los circuitos de regulación.

- **Máquinas Mecánicas.**- Para la comprensión de su funcionamiento estático y dinámico como máquina accionada, regulada o controlada.

- **Teoría de Sistemas.**- Para un análisis teórico y una descripción matemática de los sistemas a regular.

- **Teoría de la Regulación Automática.**- Para el proyecto de circuitos de regulación, análisis de estabilidad y de precisión de la regulación.

- **Teoría de los Sistemas Lógicos.**- Para el análisis y la síntesis teórica de los sistemas de control.

- **Calculadores Digitales.**- Para la programación de cálculos numéricos, así como para la comprensión del funcionamiento y la programación de los calculadores de procesos.

I.2 SEÑAL ANALÓGICA Y DIGITAL.

La señal de voltaje de la Fig. 1, se conoce como una señal analógica. El nombre se deriva del hecho que esa señal es análoga a la señal física que representa. La magnitud de una señal analógica, puede tomar cualquier valor: Esto es, la amplitud de una señal analógica presenta una variación continua sobre su intervalo de actividad. La mayor parte de las señales en nuestro mundo son analógicas. Los circuitos electrónicos que procesan a estas señales, se conocen como circuitos analógicos.

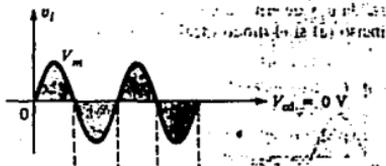


Fig. 1.- Una señal de voltaje arbitrario $v(t)$.

Otra forma de representar a una señal, es la de una sucesión de números, cada uno de ellos representando la magnitud de la señal en un instante de tiempo. La señal resultante se denomina señal digital. Para ver cómo puede representarse una señal en esta forma, es decir, cómo pueden convertirse las señales analógicas a digitales, considérese la Fig. 2a. En ella, la curva representa una señal de voltaje idéntica a la de la Fig. 1. A iguales intervalos a lo largo del eje del tiempo, se han marcado los instantes de tiempo t_0 , t_1 , t_2 y así sucesivamente.

0 1 2

En cada uno de esos instantes de tiempo, se mide la magnitud de la señal, un proceso que se conoce como muestreo. La Fig. 2b, muestra una representación de la señal de la Fig. 2a en términos de sus muestras. La señal de la Fig. 2b, se define solamente, en los instantes de muestreo; no es más una función continua de tiempo, más bien, es una señal de tiempo discreta. Sin embargo, ya que la magnitud de cada muestra puede tener cualquier valor dentro de una región continua, la señal de la Fig. 2b es aún una señal analógica.

Anora, si se representa la magnitud de cada una de las muestras de señal en la Fig. 2b, mediante un número finito de dígitos, entonces la magnitud de la señal no será continua, se dice más bien que es cuantizada, discretizada o digitalizada. La señal digital que resulta entonces, será simplemente una sucesión de números que representen las magnitudes de las muestras sucesivas de la señal.

A los circuitos electrónicos que procesan señales digitales, se les llama circuitos digitales. La computadora digital es un sistema que se construye a partir de circuitos digitales. El procesamiento digital de las señales, ha llegado a ser bastante popular debido, en principio, a los grandes avances que se han hecho en el diseño y en la fabricación de los circuitos digitales. Otra razón de la popularidad del procesamiento de las señales digitales, es que en general, se prefiere trabajar con números. Por ejemplo, no hay duda que la mayoría de nosotros, lee el tiempo en forma digital (como ocurre en un reloj digital), y la considera en relación con la lectura analógica (manecillas moviéndose relativamente en una carátula graduada). Mientras la última forma de lectura requiere de la interpretación por parte del observador, la primera se explicita, eliminando cualquier juicio subjetivo. Este es un punto importante que quizá, se aprecie mejor en el contexto de un sistema de instrumentación, como el que se usa para detectar a través de un monitor la condición de un reactor nuclear. En ese caso, la interpretación humana de las lecturas del instrumento, y la inevitable falta de consistencia asociada, podrían representar un peligro.

Más aún, en tal sistema de instrumentación, los resultados de las mediciones, usualmente tienen que alimentar a una computadora digital para un análisis posterior. Así pues, sería más conveniente, si las señales obtenidas mediante los instrumentos de medición fueran ya en forma digital.

El procesamiento digital de las señales, es económico y confiable: Más aún, permite que se realice una gran variedad de funciones; funciones que son imposibles o poco prácticas llevarlas a cabo por medios analógicos. Sin embargo, como ya se mencionó, la mayor parte de las señales en el mundo físico, son analógicas. Hay aún tareas de procesamiento, que se realizan mejor mediante circuitos analógicos. De aquí se deduce que, un buen Ingeniero en Electrónica, debe ser experto en ambas formas de procesamiento de las señales.

FALTA PAGINA

No. 15 a la 16

$$v_o(t) = A v_i(t) \quad \text{Ec. 1.}$$

donde : v_i = Voltaje de entrada (V).

v_o = Voltaje de salida (V).

A = Ganancia del amplificador.

La ec.1, es una relación lineal, en consecuencia, el amplificador que satisface a la ecuación, es un amplificador lineal. Es fácil ver, que si la relación entre v_o y v_i

contiene potencias mayores de v_i , entonces la forma de onda de v_o no será ya idéntica a la de v_i .

El amplificador se dice entonces, que presenta distorsión no lineal.

Hasta ahora, se ha supuesto implícitamente, que los amplificadores aquí tratados, operan con señales de entrada muy pequeñas. Su propósito es hacer más grande la amplitud de la señal, y por tanto, se consideran como amplificadores de voltaje o de tensión. El preamplificador en el sistema de reproducción estereofónica, es un ejemplo de un amplificador de voltaje y normalmente, no sólo amplifica la señal; en particular le dá cierta forma al espectro de frecuencia de la señal de entrada.

Se desea mencionar ahora, otro tipo de amplificador, a saber, el amplificador de potencia. Este amplificador, proporciona poca o ninguna ganancia de voltaje, sino una sustancial ganancia de corriente. Así, mientras se absorbe poca potencia de la fuente de señal de entrada, a la cual se conecta, a menudo un preamplificador, entrega grandes cantidades de potencia a su carga.

Un ejemplo se encuentra, en el amplificador de potencia del sistema de reproducción estereofónico de una casa, cuyo propósito es proporcionar suficiente potencia para excitar al altavoz. Aquí debe notarse, que el altavoz, es el transductor de salida del sistema estereofónico; convierte la señal eléctrica de salida del sistema en una señal acústica. Es posible lograr una apreciación más profunda de la necesidad de linealidad mediante la reflexión del amplificador de potencia.

Un amplificador lineal de potencia, causa que se reproduzcan pasajes musicales, tanto suaves como intensos, sin distorsión.

Otra tarea común en el procesamiento de señales, es la de su filtrado. Es el proceso mediante el cual la parte esencial y útil de una señal se separa de componentes extraños e indeseables, que por lo general, se conocen como ruido y que se mezclan con la señal de interés de alguna manera.

- Procesamiento.- Hoy en día, algunos problemas muy largos se descomponen en partes relativamente independientes y cada parte se resuelve en un dispositivo por separado semejante a una computadora; éstos, dispositivos, pueden estar interconectados, de manera que datos y programas puedan transferirse entre ellos. A éstos se les conoce como procesamiento en paralelo.

Después del uso inicial de las computadoras en problemas numéricos, los Ingenieros empezaron a explorar otras áreas de investigación.

Se observó que cualquier clase finita de objetos, podría relacionarse con los conjuntos de números que la computadora podría manejar y que podrían manipularse de la misma forma. El procesamiento de datos no numéricos, se volvió importante.

El procesamiento no numérico, es básicamente similar al procesamiento numérico, ya que varios procesos lógicos o algoritmos, que manipulan conjuntos finitos de objetos, (ya sean números u otros datos), pueden prepararse para la misma computadora que se emplea para resolver problemas numéricos.

Al principio esto se consideró, como la representación numérica de datos no numéricos. El procesamiento no numérico se ha ampliado a aplicaciones, que incluyen la manipulación de cantidades matemáticas abstractas, como grupos; a los problemas de traducción de lenguaje natural, como del ruso al inglés; al procesamiento de datos gráficos o pictóricos como como la comparación de huellas digitales o el examen de placas de rayos X, para la detección de enfermedades; al control de procesos complejos, como los que se emplean en el manejo de refinerías petroleras, y al control de robots.

CAPITULO II.

DIODOS Y TIRISTORES.

II.1.- Funcionamiento Básico del Diodo Rectificador.

El diodo es un semiconductor formado por una juntura con materiales de tipo P y N, que funciona en dos regiones de operación: La región Activo Directa y la Región Activo Inversa. Funciona tanto en corriente directa como en corriente alterna; y para ambos casos, se debe añadir al cálculo, el valor de la resistencia dinámica interna del diodo.

a). Juntura P-N inversamente polarizada.- Los portadores mayoritarios se ven atraídos eléctricamente por los bornes de la fuente de poder, los electrones libres se dirigen hacia el borne positivo, y la corriente de huecos se dirige hacia el borne negativo. Con esto se consigue un ensanchamiento de la región vacía proporcional a la magnitud del voltaje. El ensanchamiento de esta región aumenta el campo eléctrico interno y aumenta la inclinación de la colina de potencial, como consecuencia se obstaculiza el tránsito de portadores libres mayoritarios a través de la juntura. Los portadores libres minoritarios, por moverse cuesta abajo de la colina de potencial, no se ven obstaculizados por este incremento en la intensidad de campo eléctrico interno. En una juntura P-N inversamente polarizada, no existe corriente debida a portadores mayoritarios, pero existe una corriente formada por portadores minoritarios, conocida como corriente inversa de saturación, que tiene valores del orden de $I = 10E-6$ a $10E-8$

Amp., y depende en su magnitud esencialmente de la temperatura. El valor característico para esta corriente es:

$$I = 10E-6 \text{ Amp. @ } 20^{\circ}\text{C}$$

b). Juntura P-N directamente polarizada.- Una juntura P-N directamente polarizada, presenta una disminución en el ancho de la región vacía, una reducción en el campo eléctrico interno, y una pendiente menor en la colina de potencial. Esta situación facilita el tránsito de portadores mayoritarios a través de la juntura dando lugar a una corriente mayoritaria que puede ser del orden de $10E-3$ Amp., que depende fundamentalmente del voltaje externo aplicado.

En la juntura sigue existiendo una corriente formada por portadores minoritarios, pero por ser relativamente pequeña se considera despreciable.

c). Circuitos rectificadores.- El diodo utilizado como rectificador, convierte la energía de una fuente de C-A en la energía de C-D, que se requiere para la operación de los circuitos electrónicos. Los circuitos rectificadores más comunes son el rectificador de media onda, el de onda completa y el puente rectificador. La mayoría de los circuitos rectificadores cuentan con un filtro capacitivo para "suavizar" la onda de la señal rectificada. Un rectificador es un dispositivo que hace unidireccional la corriente o el voltaje de una fuente de C-A. El circuito típico de esta categoría se presenta en la figura II.1.

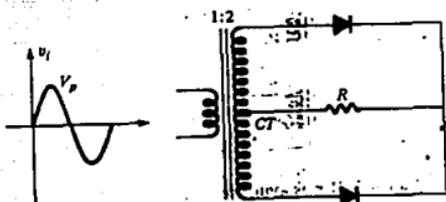


Fig. II.1 Circuito típico característico de un circuito rectificador.

II.2.- Operación y Modelo Ideal.

Un diodo es el más sencillo de los dispositivos semiconductores, pero desempeña un papel vital en los sistemas electrónicos, con sus características que se asemejan en gran medida a las de un sencillo interruptor. Se encontrará en una amplia gama de aplicaciones, que se extienden desde las más simples, hasta las sumamente complejas. Aparte de los detalles de su construcción y características, los datos y gráficas muy importantes que se encontrarán en las hojas de especificaciones, también se estudiarán para asegurar el entendimiento de la terminología empleada, y para poner de manifiesto la abundancia de información de la que por lo general se dispone y que proviene de los fabricantes.

El diodo ideal es un dispositivo de dos terminales que tiene el símbolo y las características que se muestran en la fig. II.2a y b, respectivamente.

En la descripción de los elementos que sigue, un aspecto muy importante es la definición de los símbolos literales, las polaridades de voltaje y las direcciones de corriente. Si la polaridad del voltaje aplicado es consistente con la que se muestra en la fig. II.2a, la parte de las características que se considerarán en la fig. II.2b, se encuentra a la derecha del eje vertical. Si se aplica un voltaje inverso, las características a la izquierda son pertinentes. En el caso de que la corriente a través del diodo tenga la dirección que se indica en la fig. II.2a, la parte de las características que se considera se encuentran por encima del eje horizontal, en tanto que invertir la dirección requeriría el empleo de las características por debajo del eje. Para la mayor parte de las características de dispositivos, la ordenada será el eje de la corriente, en tanto que la abscisa corresponderá al eje del voltaje.

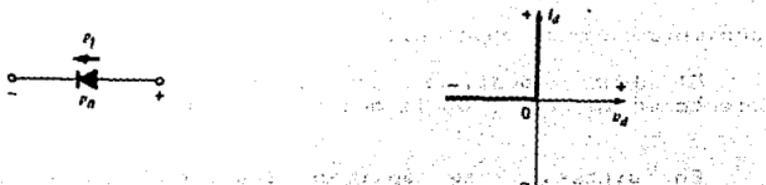


Fig. II.2.- Diodo Ideal: a). Símbolo; b). Característica.

Uno de los parámetros importantes para el diodo es la resistencia en el punto o región de operación. Si consideramos la región definida por la dirección de i y la polaridad de v en la fig. II.2a (cuadrante superior derecho de la fig. II.2b, encontraremos que el valor de la resistencia directa R), de acuerdo como se define la Ley de Ohm es:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{0}{2, 3, \dots, \text{o cualquier valor positivo}} = 0 \Omega$$

donde V_f es el voltaje en sentido directo a través del diodo e I_f es la corriente en sentido directo a través del diodo.

El diodo ideal, por consiguiente, es un cortocircuito para la región directa de conducción (i_f diferente de Cero).

Si consideramos la región del potencial aplicado negativamente (tercer cuadrante) de la fig. II.2b:

$$R = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5, -20, \text{ cualquier potencial inverso}}{0} = \infty$$

donde V_r es el voltaje inverso a través del diodo e I_r es la corriente inversa en el diodo.

El diodo ideal, en consecuencia, está en circuito abierto en la región en la que no hay conducción ($i_f = 0$).

En síntesis, se aplican las condiciones que se describen en la fig. II.3.

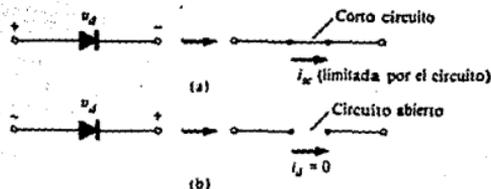


Fig. II.3.- Estados a). De conducción y b). De no conducción del diodo ideal, determinados por la polarización aplicada.

En general, es relativamente sencillo determinar si un diodo se encuentra en la región de conducción o en la de no conducción observando tan sólo la dirección de la corriente i_d establecida por el voltaje aplicado.

Para el flujo convencional (opuesto al de los electrones), si la corriente resultante en el diodo tiene la misma dirección que la de la flecha del símbolo de dicho elemento, éste opera en la región de conducción. Esto se representa en la fig. II.4.

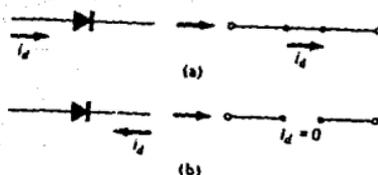


Fig. II.4.- Estados a). De conducción y b). De no conducción del diodo ideal determinados por la dirección de corriente de la red aplicada.

II.3.- Aplicaciones: Rectificadores, Recortadores y Compuertas Lógicas.

a). Rectificadores: Rectificación de media onda.- El análisis en torno al diodo se extenderá para incluir funciones que varían con el tiempo como con la forma de onda senoidal y la onda cuadrada. Es claro que el grado de dificultad aumentará, pero una vez que se comprendan unos cuantos procedimientos fundamentales, el análisis será bastante directo y seguirá un camino común.

La red más simple que puede examinarse con una señal variable en el tiempo aparece en la fig. II.5. Por el momento se utilizará el modelo del diodo ideal para asegurar que el planteamiento no se ensombrezca por la complejidad matemática adicional.

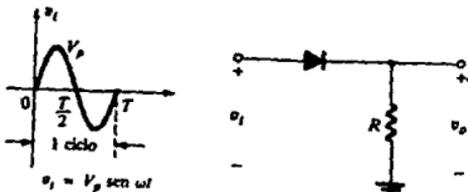


Fig. II.5.- Rectificador de media onda.

En un ciclo completo, definido por el periodo T de la fig. II.5, el valor promedio (la suma algebraica de las áreas sobre y debajo del eje) es cero. El circuito de la fig. II.5, llamado rectificador de media onda, generará una forma de onda v_o que tendrá un valor promedio de empleo particular

en el proceso de conversión de c-a a c-d. Durante el intervalo $t = 0 \rightarrow T/2$ en la fig. II.5, la polaridad del voltaje de entrada v_i se muestra en la fig. II.6.

El resultado es la polaridad que se muestra en el diodo, proveniente del equivalente en cortocircuito que aparece en la figura contigua. La salida está en este caso conectada directamente a la entrada, con el resultado de que para el periodo $0 \rightarrow T/2$, $v_o = v_i$.

En el periodo $T/2 \rightarrow T$, la polaridad de la entrada v_i se

muestra en la fig. II.7 y la polaridad resultante en el diodo ideal produce un estado "de corte" con un equivalente en circuito abierto. El resultado es la ausencia de una trayectoria para el flujo de carga y $v_o = iR = (0)R = 0$ V.

para el periodo $T/2 \rightarrow T$. Con fines comparativos, la entrada v_i y la salida v_o se analizarán en la fig. II.8.

La señal de salida tiene una área positiva neta sobre el eje con respecto a un periodo completo, así como un valor promedio determinado por:

$$\text{promedio (valor de c-d)} = 0.318 V \quad \text{Ec. II.1.}$$

El proceso de la separación de una mitad de la señal para establecer un nivel de c-d recibe con toda propiedad el nombre de rectificación de media onda.

El término "rectificación" proviene del uso del término "rectificador" para diodos que se emplean en fuentes de poder para el proceso de conversión c-a/c-d.

El efecto de la utilización de un diodo de silicio con $V = 0.7 \text{ V}$ se demuestra en la fig. II.9 para la región de polarización directa. La entrada debe ser, en este caso al menos de 0.7 V antes de que el diodo conduzca, lo que ocasiona un nivel de salida cero hasta que ocurre la transición. Cuando conduce, la diferencia entre v_i y v_o es fija e igual a $V = 0.7 \text{ V}$ y $v_o = v_i - V$ como muestra

la figura. El efecto neto es una reducción del área sobre el eje, lo cual reduce naturalmente el nivel de voltaje de c-d resultante.

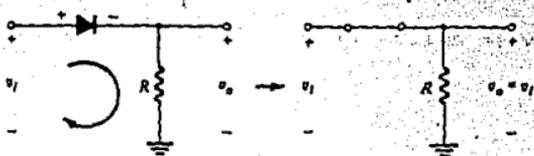


Fig. II.6.- Región de conducción ($0 > T/2$).

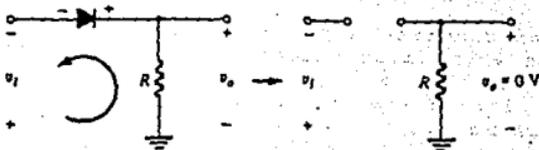


Fig. II.7 Región de no conducción ($T/2 > T$).

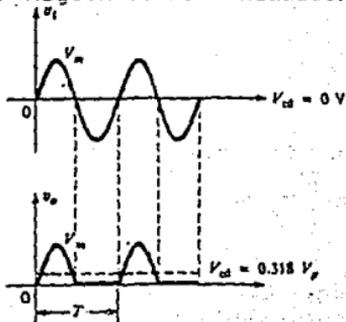


Fig. II.8.- Señal rectificada de media onda.

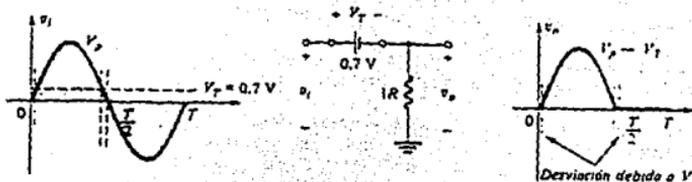


Fig. 11.9.- Efecto de V_p sobre la señal rectificadada de media onda.

Si V_p es mucho mayor que V_p la diferencia puede ignorarse y se aplica la ec. II.1. Esto es:

$$V_{c-d} = 0.318 V_p \quad \text{Ec. II.2.}$$

Si V_p esta relativamente cerca de V_p , una buena aproximación consiste simplemente en utilizar la Ec. II.1, pero con un valor pico reducido por el voltaje de quiebre. La diferencia en el nivel de c-d ocasionada por no considerar las áreas periféricas a la derecha y a la izquierda es por lo normal bastante pequeña como para causar consecuencias que deban tomarse en cuenta. Por tanto;

$$V_{c-d} \approx 0.318 (V_p - V_p) \quad \text{Ec. II.3.}$$

Rectificación de Onda Completa.- El nivel de c-d obtenido a partir de la entrada senoidal puede mejorarse en un 100% empleando un proceso denominado rectificación de onda completa.

La red más familiar para efectuar dicha función, aparece en la fig. II.10, con sus cuatro diodos en una configuración puente. Durante el periodo $t = 0$ a $T/2$ la polaridad de la entrada se muestra en la fig. II.11.

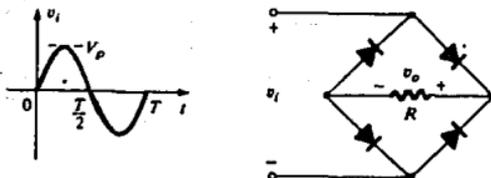


Fig. II.10.- Rectificador Puente de Onda Completa.

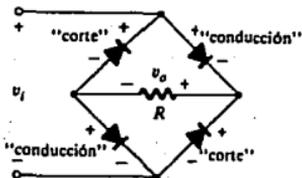


Fig. II.11.- Red de la Figura Anterior, para el período $0 \leq t < T/2$ del voltaje de entrada V .

También en la fig. II.11, se muestran las polaridades resultantes en los diodos ideales para descubrir que D_1 y D_3 conducen, en tanto que D_2 y D_4 se encuentran en estado de

"corte". El resultado neto es la configuración de la fig. II.12, con la polaridad y la corriente en R indicadas. Como los diodos son ideales, el voltaje de carga es $v_o = v_i$ como se muestra en la misma figura.

En la región negativa de la entrada, los diodos que conducen son D_2 y D_4 , lo que produce la configuración de la

fig. II.13. El resultado importante es que la polaridad en el resistor de carga R es la misma que en la fig. II.11, estableciendo un segundo pulso positivo, como se ilustra en la fig. II.13. Durante un ciclo completo los voltajes de entrada y de salida aparecerán como se presenta en la fig. II.14.

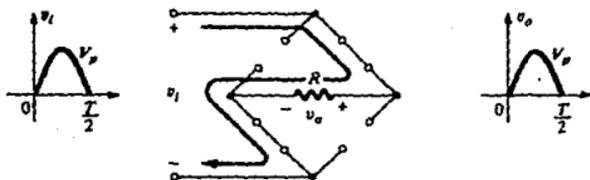


Fig. II.12.

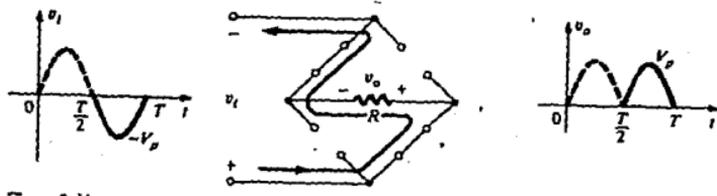


Fig. II.13.

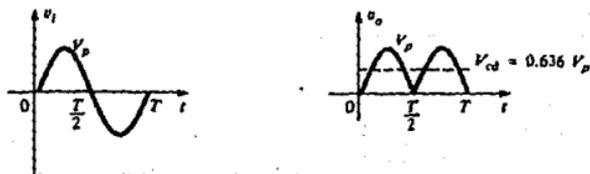


Fig. II.14.

Puesto que el área sobre el eje para un ciclo completo es en este caso el doble de la obtenida para el sistema de media onda, el nivel de c-d también se ha duplicado y

$$\text{promedio (valor de c-d)} = 0.636 V_p \quad \text{Ec. II.4.}$$

El efecto de V_p también se ha duplicado, como se indica

en la fig. II.15 para diodos de silicio durante la fase de conducción positiva. Sin embargo, si $V_p \gg 2V$, entonces

$$V_{c-d} \approx 0.625 V_p \quad \text{Ec. II.5.}$$

y si V_p es cercano a $2V$, entonces

$$V_{c-d} \approx 0.636 (V_p - 2V) \quad \text{Ec. II.6.}$$

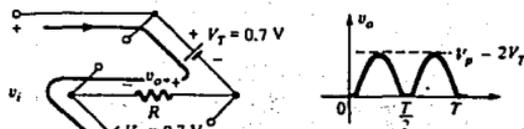


Fig. II.15.

El VPI (Voltaje de Pico Inverso), requerido de cada diodo (ideal), puede determinarse en la fig. II.16 obtenida en el pico de la región positiva de la señal de entrada.

Para el circuito que se indica, el voltaje pico en R es V_p y, se tiene

$$VPI = \frac{V_p}{2}$$

Ec. II.7.

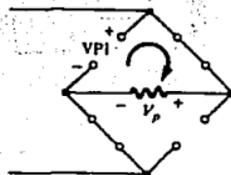


Fig. II.16.

Un segundo rectificador común de onda completa aparece en la fig. II.17 con sólo dos diodos, pero requiere un transformador con derivación central, para establecer la señal de entrada entre cada sección del secundario del transformador. Durante la parte positiva de v_i aplicado al

al primario del transformador, la red será como se indica en la fig. II.18.

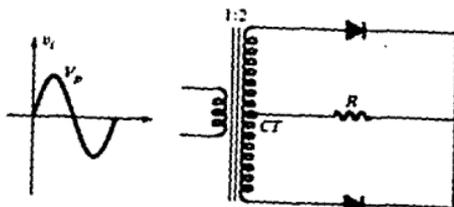


Fig. II.17.

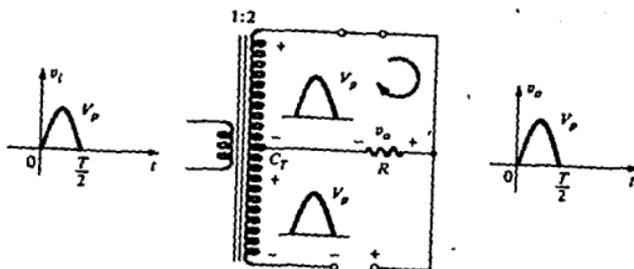


Fig. II.18.

D_1 asume el equivalente en cortocircuito y D_2 el equivalente en circuito abierto, de acuerdo con los voltajes en el secundario y las direcciones de las corrientes resultantes. El voltaje de salida es como se indica en la fig. II.18. Durante la parte negativa de la entrada, la red aparece como se muestra en la fig. II.19, invirtiendo los papeles de los diodos, pero manteniendo la misma polaridad para el voltaje en el resistor de carga R . El efecto neto es la misma salida que la que aparece en la fig. II.14 con los mismos niveles de c-d.

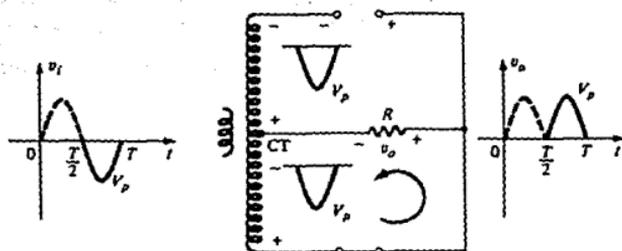


Fig. II.19.

La red de la fig. II.20, ayudará a determinar el VPI correspondiente a cada diodo para este rectificador de onda completa. Al incluir el voltaje pico para el voltaje secundario y establecer V_p mediante la malla contigua se obtendrá:

$$VPI = V_{\text{secundario}} + V_R = V_p + V_p$$

$$VPI = 2V_p$$

Ec. II.8.

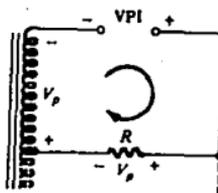


Fig. II.20.

Recortadores.- Existe una variedad de redes de diodos denominadas "recortadores", que tienen la capacidad para "recortar" una parte de la señal de entrada, sin distorsionar la parte restante de la forma de onda alterna.

El rectificador de media onda es un ejemplo de la forma más sencilla de recortador de diodo (un resistor y un diodo). Dependiendo de la orientación del diodo, se "recorta" la región positiva o negativa de la señal de entrada. Son dos las categorías generales de los recortadores: En serie y en paralelo. La configuración en serie se define como aquella en la que el diodo está en serie con la carga, en tanto que la variedad paralelo, tiene el diodo en una rama paralela a la carga.

Recortadores en serie.- La respuesta de la configuración en serie de la fig. II.21a, para una diversidad de formas de ondas alternas se presenta en la fig. II.21b. Aunque se presentó primero como un rectificador de media onda (para formas de onda senoidales), no hay límites en relación con el tipo de señales que pueden aplicarse a un recortador.

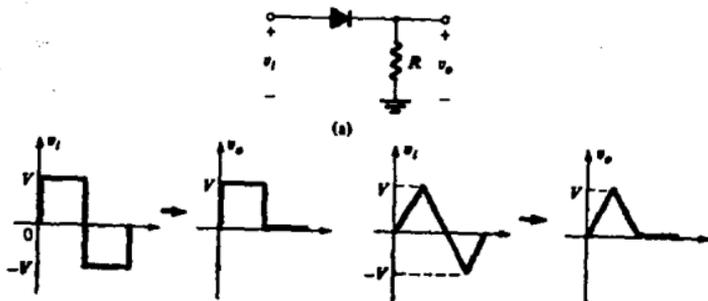


Fig. II.21.- Recortador diodo en serie.

La adición de una fuente de c-d, tal como la que se muestra en la fig. II.22 puede tener un pronunciado efecto en la salida de un recortador.

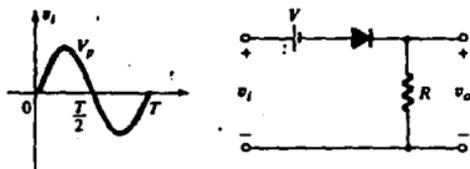


Fig. II.22.

No hay un procedimiento general para analizar redes como las del tipo de la fig. II.22, pero sí unas cuantas ideas que recordar cuando se busque una solución:

1.- Se bosqueja mentalmente la respuesta de la red con base en la dirección del diodo y los niveles de voltaje aplicados. En la red de la fig. II.22, la dirección del diodo sugiere que la señal v debe ser positiva para ponerlo en conducción. La alimentación de c-d requiere además que el voltaje v es mayor que V volts para que el diodo conduzca.

La región negativa de la señal de entrada "forza" al diodo hacia el estado "de corte", apoyado además por la alimentación de c-d. En general, por tanto, se puede estar seguro por completo, que el diodo está en circuito abierto (estado "de corte"), en la región negativa de la señal de entrada.

2.- Se determina el voltaje aplicado (voltaje de transición) que causará un cambio en el estado del diodo.

Para el diodo ideal se empleará la condición $i_d = 0$ ó bien $v_d = 0$, para determinar el nivel de v_i para producir una transición.

La aplicación de la condición $i_d = 0$ a $v_d = 0$ en la fig. II.22, dará como resultado la configuración de la fig. II.23, donde se admite que el nivel de v_i que causará una transición de estado es

$$v_i = V \quad \text{Ec. II.9.}$$

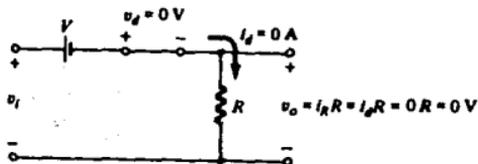


Fig. II.23.

Para una entrada de voltaje mayor que V volts, el diodo se encuentra en el estado de cortocircuito, en tanto para voltajes menores que V volts, está en circuito abierto o estado "de corte".

3.- Se debe tener cuidado siempre al definir las terminales y la polaridad de v_o . Cuando el diodo está

en el estado de cortocircuito, tal como se muestra en la fig. II.24, el voltaje de salida v_o es el

mismo en el punto (a) al (b) como se señala en la figura, y aplicando la Ley de Voltajes de Kirchhoff, se tiene

$$v_o = v_i - V \quad \text{Ec. II.10.}$$

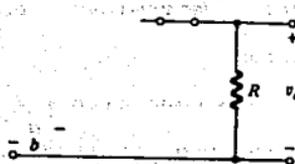


Fig. II.24

4.- Puede resultar útil dibujar la señal de entrada arriba de la señal de salida como se muestra en la fig. II.25 y determinar la salida a los valores instantáneos de la entrada.

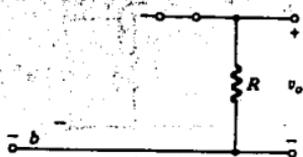


Fig. II.25

En consecuencia, es posible que el voltaje de salida pueda dibujarse a partir de los datos resultantes de v_i .

Debe recordarse que un valor instantáneo de v_i a la entrada puede considerarse como una alimentación de c-d de ese valor y determinarse el valor correspondiente de c-d (el valor instantáneo) de la salida. Es posible aplicar el mismo procedimiento a cualquier número de puntos del voltaje de entrada hasta que se dispone de un número suficiente de puntos de salida para dibujar la curva continua para v_o .

Recortadores en paralelo.- La red de la fig. II.26, es la más simple de las configuraciones de diodo en paralelo con la salida para las mismas entradas de la fig. II.21.

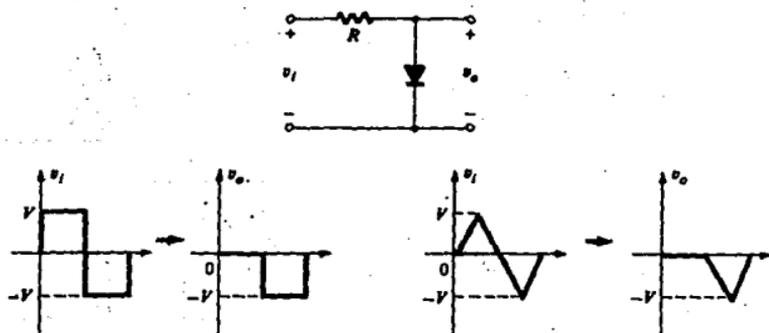


Fig. II.26

En la fig. II.27, se presentan diversos recortadores en serie y en paralelo con la salida resultante para la entrada senoidal. En particular, adviértase la respuesta de la última configuración, con su habilidad para recortar una sección positiva y negativa de acuerdo con la magnitud de las fuentes de c-d.

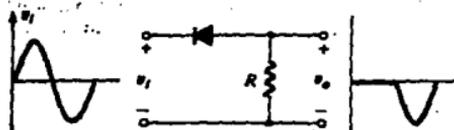
Fig. II.27.

Compuertas AND/OR.— La red de la fig. II.28 es una compuerta OR con lógica positiva. Esto es, al nivel de 10V en la fig. II.28, se asigna un "1" lógico por el álgebra de Boole, en tanto que la entrada de 0V se asigna un "0" lógico. Una compuerta OR es tal que el nivel de voltaje de salida será un "1", si cualquiera o ambas entradas son un "1". La salida es un "0", si ambas entradas se encuentran en el nivel "0".

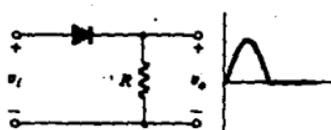
El análisis de las compuertas AND/OR, se facilita usando el equivalente aproximado para el diodo en vez del ideal, ya que se puede estipular que el voltaje en el diodo debe ser 0.7V para el Silicio ó 0.3 para el Germanio; positivos para el diodo de Silicio a fin de llevarlo al estado de "conducción".

RECORTADORES DIODO EN SERIE SIMPLES

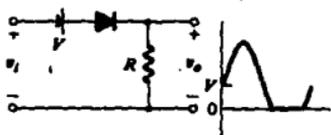
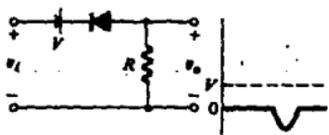
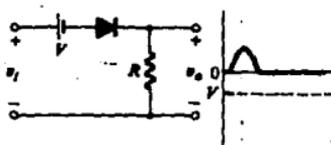
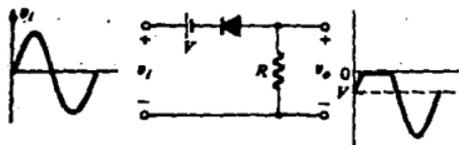
POSITIVO



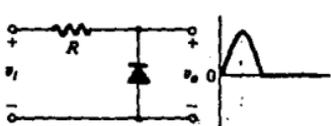
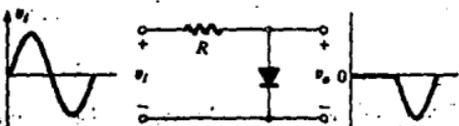
NEGATIVO



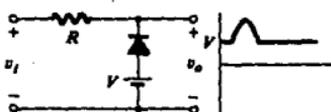
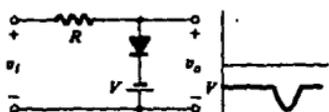
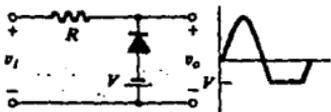
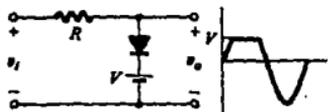
RECORTADORES DIODO EN SERIE CON FUENTE



RECORTADORES DIODO EN PARALELO SIMPLES



RECORTADORES EN PARALELO CON FUENTE



En general, el mejor enfoque consiste simplemente en establecer un sentido de "seguridad" en relación con el estado de los diodos observando la dirección y la "presión" establecidas por los potenciales aplicados. El análisis comprobará o negará entonces, las suposiciones iniciales.

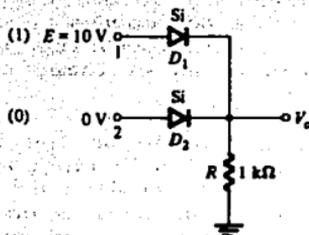


Fig. II.28.- Compuerta OR de lógica positiva.

II.4.- El SCR y el TRIAC, su operación y aplicaciones como rectificadores controlados y controladores de voltaje.

En la industria hay numerosas operaciones, las cuales requieren que se entregue una cantidad de potencia eléctrica variable y controlada. La iluminación, el control de velocidad de un motor, la soldadura eléctrica y el calentamiento eléctrico; son las cuatro operaciones más comunes.

Siempre es posible controlar la cantidad de potencia eléctrica que se entrega a una carga si se utiliza un transformador variable para proporcionar un voltaje de salida variable. Sin embargo, para grandes potencias, los transformadores variables son físicamente grandes y costosos, además de necesitar un mantenimiento frecuente; estos tres factores hacen que los transformadores variables sean poco utilizados.

Otro método para controlar la potencia eléctrica que se entrega a una carga, es intercalar un reóstato en serie con la carga, para así controlar y limitar la corriente. Nueva mente, para grandes potencias, los reóstatos resultan de gran tamaño, costosos, necesitan mantenimiento y además desperdician una cantidad apreciable de energía.

Los reostatos no son la alternativa deseable frente a los transformadores variables en el control de potencia industrial. Desde 1960, está disponible un dispositivo electrónico, el cual no adolece de las fallas mencionadas.

El SCR es pequeño y relativamente barato, no necesita mantenimiento y su consumo de potencia es muy pequeño.

Algunos SCR modernos pueden controlar corrientes del orden de varios cientos de Amperes en circuitos que operan a voltajes tan elevados como 1000Volts. Por estas razones, los SCR son muy importantes en el campo del control industrial moderno.

a).- Teoría y Operación de los SCR.- Un rectificador controlado de silicio (SCR Silicon Controlled Rectifier), es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar corrientes relativamente grandes de una carga. La fig. II.29 muestra el símbolo esquemático de un SCR, junto con los nombres y letras de identificación de sus terminales.

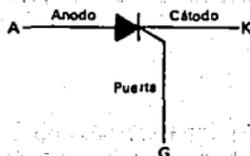


Fig. II.29.- Símbolo esquemático y nombres de las terminales de un SCR.

Un SCR actúa de una manera muy similar a un interruptor. Cuando está CONDUCIENDO presenta un camino de baja resistencia para el flujo de corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa como un interruptor cerrado. Cuando está BLOQUEADO, no puede fluir corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa como un interruptor abierto. Debido a que es un dispositivo de estado sólido, la conmutación de un SCR es muy rápida.

El valor promedio de la corriente que fluye por la carga, puede controlarse colocando un SCR en serie con la carga. Esta disposición se muestra en la fig. II.30. (La fuente de alimentación, generalmente es de una fuente de c-a de 60Hz, pero puede ser una fuente de c-d en circuitos especiales).

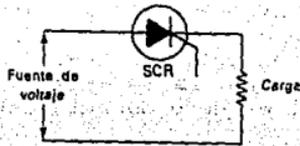


Fig. II.30.- Relación circuital entre la fuente de voltaje, un SCR y la carga.

Si la fuente de alimentación es de c-a, el SCR permanece una cierta porción del periodo en el estado de CONDUCCION y el resto del periodo en el estado BLOQUEADO. En una fuente de c-a de 60Hz, el periodo es 16.67 mseg. Son estos 16.67mseg los que deben repetirse entre el estado de CONDUCCION y el estado BLOQUEADO. La cantidad de tiempo que permanece en cada estado se controla por medio de la puerta.

Si el SCR permanece en el estado de CONDUCCION durante una pequeña porción del periodo, la magnitud promedio de la corriente por la carga es pequeña. Esto es debido a que la corriente puede fluir de la fuente a la carga y a través del SCR solamente durante un tiempo pequeño. Si la señal de puerta se cambia de tal manera que el SCR permanece en CONDUCCION durante una gran porción del periodo, entonces la magnitud promedio de la corriente será grande.

Esto es debido a que ahora la corriente puede fluir desde la fuente a la carga y a través del SCR durante un tiempo relativamente grande. En esta forma, la corriente por la carga puede variarse ajustando la magnitud de la porción del periodo en el cual el SCR está en CONDUCCION.

Como su nombre lo sugiere, el SCR es un rectificador, de modo que solamente permite el paso de corriente durante el semiciclo positivo de la fuente de c-a. El semiciclo positivo es el semiciclo en el cual el ánodo del SCR es más positivo que el cátodo. Esto significa que el SCR de la fig. II.30 no puede estar en CONDUCCION por más de medio ciclo.

Durante el otro medio ciclo, la polaridad de la fuente es negativa, y esta polaridad negativa hace que el SCR quede inversamente polarizado, lo cual impide que circule cualquier corriente hacia la carga.

La figura II.31 muestra las formas de onda en un circuito de control con SCR, para dos ángulos de disparo distintos.

Interpretemos primero la Fig. II.31a. Cuando el ciclo de c-a comienza su alternancia positiva, el SCR está bloqueado.

Por tanto, el voltaje instantáneo a través de sus terminales ánodo y cátodo, es igual al voltaje de la fuente.

Esto es justamente lo que sucedería si se colocara un interruptor abierto en lugar de SCR. El SCR está consumiendo la totalidad del voltaje de la fuente, el voltaje a través de la carga (V_c) es cero durante este tiempo.

carga

El extremo izquierdo de las formas de onda de la figura II.31a ilustra este hecho. Más adelante, a la derecha del eje horizontal, la fig. II.31a, muestra que el voltaje de ánodo a cátodo cae a cero después de cerca de un tercio del semiciclo positivo; este es el punto correspondiente a 60° .

Cuando el voltaje de ánodo a cátodo cae a cero, el SCR ha sido "cebado" o ya paso al estado de conducción. Por tanto, en este caso, el ángulo de disparo es 60° durante los siguientes 120° el SCR actúa como interruptor cerrado sin voltaje a través de sus terminales. El ángulo de conducción es 120° . El ángulo de disparo y el ángulo de conducción siempre totalizan 180° .

La forma de onda del voltaje en la carga en la fig. II.31a, muestra que cuando el SCR es cebado, el voltaje de la fuente se aplica a la carga. El voltaje de la carga sigue al voltaje de la fuente por el resto del semiciclo positivo, hasta cuando el SCR se bloquea de nuevo. El bloqueo del SCR ocurre cuando el voltaje de la fuente pasa por cero.

En general, estas formas de onda muestran que antes de cebado el SCR, la totalidad del voltaje de la fuente cae en terminales del SCR y la carga recibe cero voltaje.

Después de cebado el SCR, la totalidad del voltaje de la fuente cae en la carga, y el SCR consume cero voltaje. El SCR actúa como interruptor de acción rápida.

La fig. II.31b, muestra las mismas formas de onda para un ángulo de disparo diferente. En estas formas de onda, el ángulo de disparo es del orden de 135° y al ángulo de conducción del orden de 45° . La carga recibe el voltaje de la fuente durante un tiempo mucho más corto comparado con el de la fig. II.31a. Como resultado, la magnitud del promedio de la corriente resultante es más pequeña.

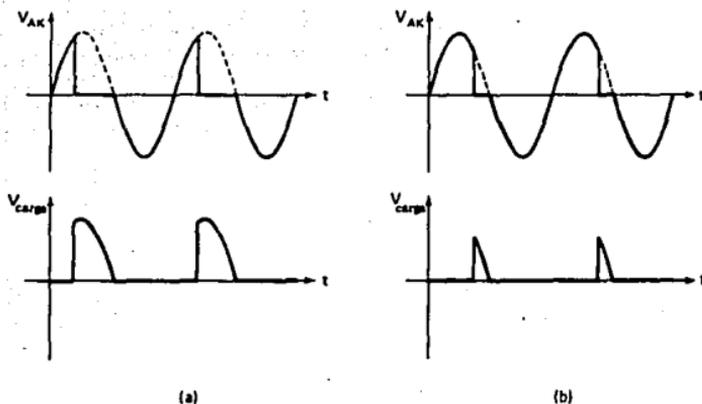


Fig. II.31a y b.- Formas de onda ideales del voltaje en terminales del SCR y voltaje en la carga. (a) Para un ángulo de disparo de cerca de 60° , y un ángulo de conducción de 120° . (b) Para un ángulo de disparo de cerca de 135° , y un ángulo de conducción de 45° .

Dentro de la familia de los dispositivos pnpn, el SCR es el de mayor interés hoy en día. Se utilizó por primera vez en 1956 en los Bell Telephonic Laboratories. Unas cuantas de las aplicaciones para SCR incluyen los controles de relevadores, los circuitos de retraso de tiempo, las fuentes de poder reguladas, los interruptores estáticos, los controles de motores, muestreadores (choppers), inversores, ciclo-convertidores, cargadores de baterías, circuitos de protección, controles de calefacción y controles de fase.

En los últimos años los SCR se han diseñado para controlar potencias tan altas como 10 MW, con valores nominales individuales tan elevados como 2000 A a 1800 V.

Su intervalo de frecuencia de aplicación se ha extendido también a cerca de 50kHz, permitiendo algunas aplicaciones de alta frecuencia, tales como calentamiento por inducción y limpieza ultrasónica.

b). Teoría de operación de los TRIAC.

El comportamiento de los TRIAC es semejante al de los SCR, con la excepción de que pueden conducir en cualquiera de las dos direcciones. Estos forman parte de la familia de los tiristores. El término tiristor incluye todos los dispositivos semiconductores los cuales presentan un funcionamiento inherente, como dispositivo de corte y conducción, en oposición a aquellos que presentan un cambio gradual en la conducción.

Todos los tiristores son dispositivos de conmutación regenerativos, y no pueden operar en forma lineal. De este modo: un transistor no es un tiristor porque aun cuando puede operar en corte y conducción, ésta no es su naturaleza inherente. Es posible para un transistor operar linealmente.

Los TRIAC operan de manera idéntica. Otros tiristores no pueden llevarse al estado de conducción, pero pasan a este estado cuando el voltaje aplicado alcanza un cierto valor de ruptura. Ejemplos de este tipo de tiristor son los diodos de cuatro capas y los DIAC. Los tiristores pequeños los cuales no conmutan la corriente principal, generalmente se denominan dispositivos de disparo. Estos dispositivos son muy útiles en circuitos de disparo de puerta de los tiristores que conmutan grandes cargas, tales como los TRIAC.

Un TRIAC es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar el valor promedio de la corriente que fluye a una carga. Un TRIAC es diferente de un SCR en que puede conducir corriente en ambas direcciones cuando es llevado a conducción. El símbolo esquemático de un TRIAC se muestra en la fig. II.32a junto con los nombres y abreviaturas de sus terminales. Cuando el TRIAC es bloqueado, no puede fluir corriente entre sus terminales principales independientemente de la polaridad de la fuente externa aplicada. Por tanto, el TRIAC actúa como un interruptor abierto.

Cuando el TRIAC es llevado a conducción presenta una resistencia muy baja al paso de la corriente en el camino de un terminal principal al otro, donde el sentido del flujo depende de la polaridad de la fuente externa aplicada. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1.

Cuando el voltaje es más positivo en MT1, la corriente fluye en sentido inverso. En cualquier caso el TRIAC actúa como un interruptor cerrado.

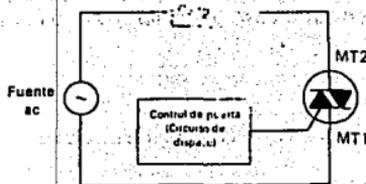
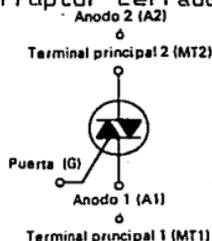


Fig. II.32(a) ^(a) Símbolo esquemático y ^(b) nombre de los terminales de un TRIAC. (b) Circuito con TRIAC donde se muestra donde se conecta la fuente de voltaje, la carga y el TRIAC.

Las relaciones circuitales entre la fuente de voltaje, el TRIAC y la carga se ilustran en la fig. II.32b. El TRIAC está conectado en serie con la carga al igual que un SCR.

El valor promedio de la corriente que se entrega a la carga puede afectarse variando la cantidad de tiempo por ciclo que el TRIAC permanece en estado de conducción. Si permanece en el estado de conducción durante una pequeña porción del tiempo de ciclo, el promedio de la corriente que fluye durante muchos ciclos será bajo. Si permanece en el estado de conducción durante una gran porción del tiempo de ciclo, entonces el promedio de la corriente será alto.

Un TRIAC no está limitado a 180° de conducción por ciclo. Con el adecuado arreglo de disparo, puede conducir por la totalidad de los 360° por ciclo. Entonces proporciona control de potencia de onda completa en lugar del control de potencia de media onda posible con un SCR.

Los TRIAC tienen las mismas ventajas que tienen los SCR y los transistores sobre los interruptores mecánicos. No tienen el rebote de contacto, no se produce arco en contactos parcialmente abiertos, y pueden operarse mucho más rápido que los interruptores mecánicos, por tanto permiten un control de corriente más preciso.

Una aplicación fundamental del TRIAC se presenta en la fig. II.33. En este caso, controla la potencia de c-a a la carga por medio de la conmutación conducción-corte, durante las regiones negativas y positivas de la señal senoidal de entrada. La acción de este circuito durante la parte positiva de la señal de entrada es muy semejante a la que se utiliza para el diodo Shockley.

La ventaja de esta configuración es que durante la parte negativa de la señal de entrada se producirá el mismo tipo de respuesta, puesto que tanto el DIAC como el TRIAC pueden dispararse en dirección inversa.

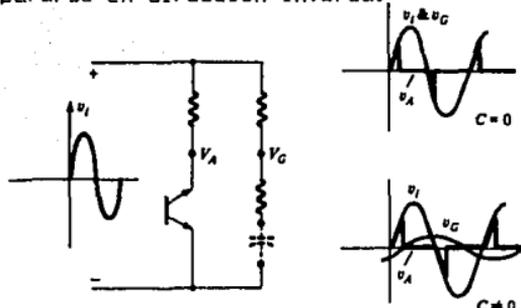


Fig. II.33 Aplicación del TRIAC: Control de fase (potencia).

TRANSISTORES / APLICACIONES.

III.1.- Funcionamiento del FET.

El nombre de Transistor de Efecto de Campo (FET) proviene del hecho de la corriente que fluye entre dos de las terminales del dispositivo, este se controla mediante un campo eléctrico, que a su vez se establece mediante un voltaje aplicado a la tercera terminal.

A los FET se les llama también transistores unipolares o monopolares, ya que la corriente es conducida mediante portadores de carga (electrones o huecos) que fluyen a través de un tipo de semiconductor (tipo N en los FET de canal N y tipo P en los FET de canal P). Esto contrasta con los transistores bipolares en donde la corriente pasa a través de los materiales semiconductores de tipo n y de tipo p en serie.

Los MOSFET juegan un papel dominante en el diseño de los Circuitos Integrados Digitales. Ambos tipos de transistores (FET y MOSFET), y en especial el MOSFET son más fáciles de fabricar que los TBJ (Transistor Bipolar de Juntura). Los μP y los circuitos lógicos y de memoria, fabricados utilizando integración de muy grande escala (VLSI), técnicas, que más se emplean, son para transistores de MOS.

Los JFET son útiles en el diseño de circuitos amplificadores especiales, específicamente los de muy alta impedancia de entrada. Los JFET pueden también combinarse con los transistores bipolares, para obtener circuitos lineales de alto rendimiento (se llaman circuito BIFET). La estructura de un JFET que utiliza una unión de semiconductor-metal (Schottky), se utiliza con arseniuro de galio para formar el MOSFET, un dispositivo adecuado para usarse en circuitos amplificadores y lógicos en la región de GHz. El JFET se utiliza también como un interruptor analógico y en una variedad de otras aplicaciones de los circuitos analógicos.

Existen dos tipos de JFET: El dispositivo de canal N y el de canal P. La fig. III.1 muestra la estructura básica del JFET de canal N el cual consta de una placa de semiconductor de material P difundido en ambos lados.

La región N se llama el canal, mientras que las regiones de tipo P se conectan eléctricamente entre sí y forman la compuerta. Los contactos metálicos se elaboran en ambos extremos del canal, con las terminales llamadas fuente (S) y drenaje (D). En forma similar, un contacto metálico se elabora para la región de tipo P para proporcionar la terminal de la compuerta (G). Siempre se supondrá que las regiones de la compuerta se encuentran conectadas eléctricamente entre sí.

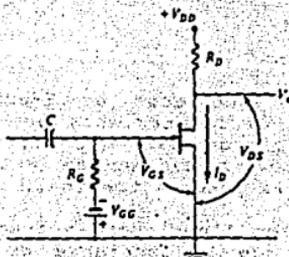


Fig. III.1. Estructura básica del JFET de canal N.

La fig. III.2. muestra el símbolo del circuito para el JFET de canal N. Nótese que la línea de la compuerta tiene una punta de flecha cuya dirección indica el tipo de dispositivo (esto es, JFET de canal N o de canal P). Para el dispositivo de canal N se consideran los puntos de la flecha hacia el canal N o sea, en el sentido directo de la unión de compuerta a canal. Aunque los JFET son por lo general simétricos, (esto es, el drenaje y la fuente son intercambiables), es conveniente en el diseño y en el análisis de los circuitos de FET, indicar cuál terminal es la fuente. Por esta razón se distinguirá la fuente dibujando la línea de la compuerta más cercana a él que al drenaje.

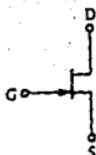


Fig. III.2. Símbolo de circuito para el JFET de canal

En la fig. III.1 puede verse que el JFET tiene una unión P-N, la unión de compuerta a canal. En casi todas las aplicaciones, esta unión tendrá polarización inversa y en consecuencia solamente fluirá una pequeña corriente de fuga en la terminal de la compuerta. Esto significa también que la impedancia de entrada que aparece hacia la compuerta será muy alta.

Aunque existe sólo una unión P-N se verá que la operación del JFET será dependiente del establecimiento de diferentes valores de polarización inversa en los dos extremos de esta unión. Por esta razón en ocasiones se siente la tentación de hablar de la unión de compuerta a drenaje y de la unión de compuerta a fuente.

III.2.- Polarización del FET.

El primer paso en el diseño de un amplificador de JFET es el establecimiento de un punto de operación estable y predecible de c-d. Este punto de operación debe encontrarse dentro de la región activa (región de estricción) y permitir suficiente variación de la señal sin que el dispositivo entre en la región de triodo o de la región de corte.

Un punto de operación estable es casi independiente de las variaciones en los parámetros de un dispositivo V_p e I_{DSS} . Estos parámetros varían con la temperatura; más importante, varían en forma considerable entre las diferentes unidades que pertenecen al mismo tipo de dispositivo. Es usual consultar la hoja de datos técnicos de un JFET y ver una amplia gama especificada para V_p e I_{DSS} .

Un buen diseño de polarización es el que asegura que I_D y V_{GS} se encontrarán siempre dentro de su valor nominal independiente del valor de V_p e I_{DSS} . En otras palabras, se desea encontrar un arreglo de polarización para el cual el valor de I_D (y en consecuencia V_{GS}) no cambie operativamente si se reemplaza el FET en particular por otro del mismo tipo.

El procedimiento para polarizar el JFET es la aplicación de un voltaje constante de c-d entre la compuerta y la fuente; sin embargo, da como resultado un comportamiento muy poco satisfactorio.

La polarización de c-d de un dispositivo JFET requiere establecer el voltaje compuerta-fuente lo cual produce la corriente de drenaje de c-a deseada. En un JFET la corriente de drenaje está limitada por la corriente de saturación, I_{DSS} . Un MOSFET de vaciamiento puede polarizarse por abajo o

por encima de I_{DSS} . Un MOSFET de acrecentamiento requiere polarización de un voltaje compuerta-fuente superior que el

valor de umbral para que el dispositivo conduzca. Como el JFET tiene una impedancia tan alta cuando se mira hacia la compuerta (ya sea una unión P-N polarizada inversamente en un JFET o un aislamiento mediante una capa de dióxido de silicio en un MOSFET de acrecentamiento) el voltaje de c-d de la compuerta fijado por un divisor de voltaje o un voltaje fijo de batería no es afectado o cargado por el JFET. La polarización fija de c-d se obtiene empleando una batería para ajustar el voltaje de polarización inverso de compuerta-fuente. La batería V_{GS} se utiliza para fijar el

voltaje de polarización inverso V_{GS} sin que se produzca corriente a través de R_G o la terminal de la compuerta.

Puesto que la compuerta-fuente está polarizada en forma inversa, no hay corriente a través de esa unión. No pasa corriente c-d por el capacitor C , de modo que no se produce corriente a través del resistor R_G . La batería proporciona

un voltaje V_{GS} para polarizar el JFET de canal N, pero no se consume ninguna corriente resultante desde la batería V_{GS} .

El resistor R_G se incluye para permitir que cualquier señal de c-a aplicada a través del capacitor C se desarrolle en R_G . En tanto que cualquier señal de c-a se desarrollará en R_G , la caída de voltaje de c-d a través de R_G es

$$V_{GS} = I_{DSS} R_G = 0 \text{ Volts} \quad \text{Ec. 3.1.}$$

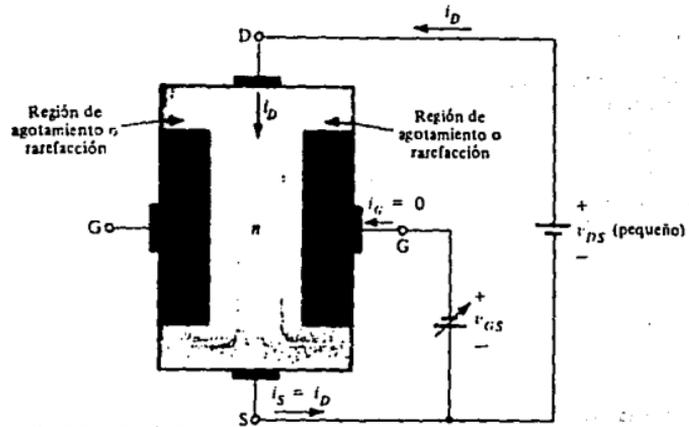


Fig. III.3. Circuito JFET que utiliza polarización fija.

El voltaje compuerta-fuente V_{GS} es entonces

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_{GG} - 0 = V_{GG} \quad \text{Ec. 3.2.}$$

La corriente drenaje-fuente I_D , se fija en consecuencia por el voltaje compuerta-fuente, de acuerdo a cómo determina la ecuación de Shockley,

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.3.}$$

Esta corriente produce entonces una caída de voltaje a través de la resistencia de

$$V_{RD} = I_D R_D \quad \text{Ec. 3.4.}$$

con el voltaje de drenaje

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D \quad \text{Ec. 3.5.}$$

III.3.- El Amplificador Básico con FET.

Para comprender la base para la operación del JFET como amplificador, se considera el circuito de la fig. III.37. En él se muestra la polarización inversa de compuerta a fuente establecida por una batería por separado, el cual no es un buen arreglo de polarización, pero la intención es enfocar la atención en los conceptos relativos. Superpuesta al voltaje de polarización V_{GS} se tiene una señal v_{gs} ; de esta manera el voltaje instantáneo total de compuerta a fuente se obtiene mediante:

$$v_{GS} = V_{GS} + v_{gs} \quad \text{Ec. 3.6.}$$

Suponiendo que el FET permanecerá en estricción todas las veces, lo que se realiza manteniendo a v_D más alto que v_G al menos por $|V_P|$, esto es,

$$v_D \geq v_G + |V_P| \quad \text{Ec. 3.7.}$$

se deduce entonces que:

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.8.}$$

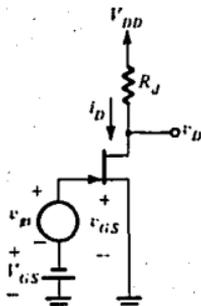


Fig. III.4.- Circuito para establecer la base para la operación del JFET como amplificador.

Sustituyendo para v_{GS} de la ec. 3.6 en la ec. 3.8 se obtiene

$$\begin{aligned}
 i_D &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} - \frac{v_{gs}}{V_P} \right)^2 \\
 &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 - 2 I_{DSS} \frac{V_{GS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \frac{v_{gs}}{V_P} + \\
 &+ I_{DSS} \left(\frac{v_{gs}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.9.}
 \end{aligned}$$

Poniendo $v_{gs} = 0$ en la ec. 3.9. se obtiene $i_D = I_{DSS}$, que es la corriente de polarización de c-d,

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.10.}$$

Sustituyendo en la ec. 3.9. da como resultado:

$$\begin{aligned}
 i_D &= I_{DSS} + 2 I_{DSS} \frac{V_{GS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \frac{v_{gs}}{V_P} + \\
 &+ I_{DSS} \left(\frac{v_{gs}}{V_P} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.11.}
 \end{aligned}$$

Si nos restringimos a señales pequeñas que satisfagan la condición:

$$\frac{v_{gs}}{V_P} \ll 1 \quad \text{Ec. 3.12.}$$

puede desprejarse el último término de la ec. 3.11. y se obtiene:

$$i_D \sim I_{DSS} + 2 I_{DSS} \frac{V_{GS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \frac{v_{gs}}{V_P} \quad \text{Ec. 3.13.}$$

de esta forma la corriente total de drenaje consta de dos componentes: La polarización de c-d I_D y una componente de señal i_d dada por

$$i_d = 2 I_{DSS} \frac{V_{GS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \frac{v_{gs}}{V_P} \quad \text{Ec. 3.14.}$$

Así, la corriente de la señal se relaciona linealmente con el voltaje de señal v_s , que es un requisito en un

amplificador lineal. Esta relación lineal se basa en la premisa de que la señal v_s es mucho más pequeña que $|V_P|$,

que se conoce como aproximación de señal pequeña. Nótese que si la suposición de la señal pequeña no es válida el término que relaciona a v_s en la ec. 3.11. tiene que ser tomado en

cuenta. Esto obviamente da por resultado que la corriente i_d tenga componentes armónicamente relacionados con la señal de entrada. Esta distorsión no-lineal es indeseable y debe minimizarse en el diseño de los amplificadores lineales.

III.4.- Funcionamiento del TBJ.

La fig. III.5 muestra una estructura ficticia para un TBJ, aunque los transistores reales no se parecen a éste la estructura servirá para mostrar la esencia de la operación del transistor. Las estructuras prácticas de los transistores se describen en la tecnología de fabricación como se muestra en la fig. III.5, el TBJ consta de tres regiones semiconductoras: La región del emisor (tipo n). A este dispositivo se le llama transistor npn. Otro transistor, un doble para el npn, como se muestra en la fig. 3.6, tiene un emisor tipo p, una base tipo n, y un colector tipo p; y apropiadamente se le llama transistor pnp.

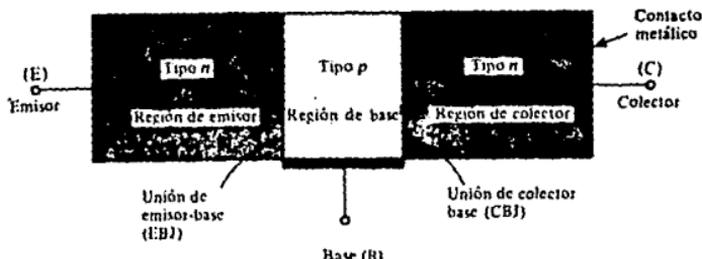


Fig. III.5.- Estructura ficticia (simplificada) del transistor npn.

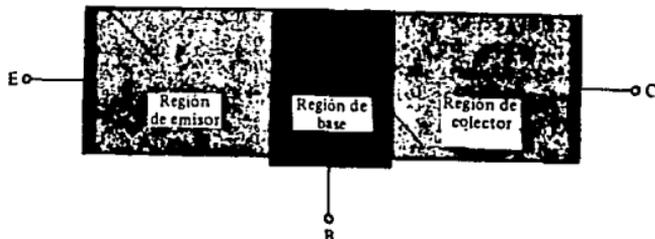


Fig. III.6.- Estructura ficticia (simplificada) del transistor pnp.

Un transistor de unión consiste en un cristal de silicio (o germanio), en el que una capa de silicio tipo n está colocada entre dos capas de silicio tipo p. Un transistor también puede estar constituido por dos capas de material tipo n que encierran una capa de semiconductor tipo p. En el primer caso, el transistor se define como transistor p-n-p, y en el segundo como n-p-n. El conjunto semiconductor es extremadamente pequeño y está herméticamente protegido contra la humedad por una caja de plástico o de metal.

Los dos tipos de transistores están representados en la fig. III.7a. En la fig. III.7b se indican las representaciones esquemáticas empleadas para el caso de que los transistores se empleen como elementos de un circuito.

Las tres partes del transistor se conocen con los nombres de emisor, base y colector. La flecha del emisor indica la dirección de la corriente cuando la unión emisor-base está polarizada en sentido directo. En todos los casos, es decir, para el emisor, la base o el colector - las corrientes I_E , I_B e I_C , respectivamente, se considerarán

positivas cuando vayan hacia el interior del transistor. Los símbolos V_{EB} , V_{CB} , y V_{CE} representan las tensiones

emisor-base, colector-base y colector-emisor respectivamente. (En forma más específica, V_{EB} representa la caída de potencial desde el emisor a la base).

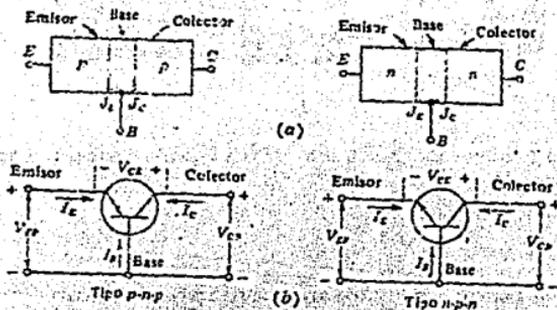


Fig. III.7 (a). Un transistor p-n-p y uno n-p-n. La unión del emisor (colector) es J_e (J_c). (b). Circuito de los dos tipos de transistores.

III.5.- Polarización del TBJ.

Los transistores se emplean en una amplia variedad de aplicaciones y de diversas maneras. Sería difícil o tal vez imposible aprender cada área de aplicación, en lugar de eso se estudia la operación más fundamental del circuito, de modo que se sepa lo suficiente para reservar estos conocimientos, para aplicaciones diferentes en mayor o menor grado.

Para utilizar estos dispositivos en la amplificación de voltaje o corriente, o como elementos de control (encendido o apagado), se requiere primero polarizar el dispositivo. La razón usual de esta polarización es encender el dispositivo, y en particular, ponerlo a operar en la región de su característica en la que funciona con mayor linealidad.

Aunque el propósito de la red o circuito de polarización consiste en provocar que el dispositivo opere en esta región deseada de operación lineal (la cual definen en forma más apropiada los fabricantes de cada tipo de dispositivo), los componentes de polarización siguen siendo parte del circuito total de aplicación: Amplificador, formador de ondas, circuito lógico, etc. Se puede tratar el circuito completo y considerar todos los aspectos de su operación de una sola vez, pero sería más complejo y confuso.

La polarización de c-d es una operación estática porque se relaciona con el ajuste a un nivel fijo (estacionario) de la corriente (a través del dispositivo), con una caída de voltaje fija deseada en el dispositivo. La información necesaria acerca del dispositivo puede obtenerse a partir de sus características estáticas.

Puesto que la intención de la polarización es alcanzar cierta condición de corriente y voltaje, llamada punto de operación (o punto Q), se brinda alguna atención a la selección de este punto en la característica del dispositivo. La fig. III.8, muestra una característica de dispositivo general con cuatro puntos de operación indicados. El circuito de polarización puede diseñarse para fijar la operación del dispositivo en cualquiera de estos u otros puntos dentro de la región de operación. Ésta es el área de la corriente o voltaje dentro de los límites máximos correspondientes al dispositivo particular. Estos valores nominales máximos se indican sobre la característica de la fig. III.8, mediante una línea horizontal para la corriente máxima $I_{\text{máx}}$, y una línea vertical para el voltaje máximo $V_{\text{máx}}$.

La consideración adicional de la potencia máxima (producto del voltaje y la corriente) debe tomarse en cuenta al definir la región de operación de un dispositivo particular, como ilustra la línea denotada P en la fig.

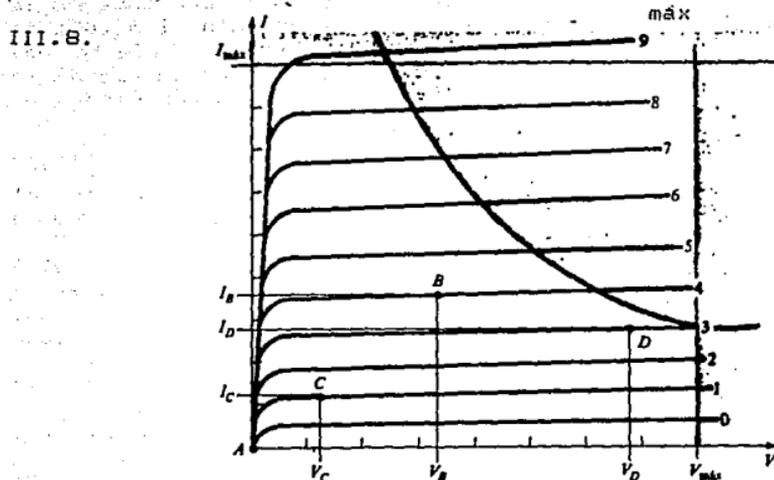


Fig. III.7 Diversos puntos de operación sobre las características estáticas del dispositivo.

El dispositivo TBJ podría polarizarse para operar fuera de estos puntos límite máximos, pero el resultado de tal operación causaría ya sea el acortamiento de la vida de servicio del dispositivo, o bien su destrucción. Si se concentra en la región de operación segura, es posible elegir muchas áreas o puntos de operación diferentes. El punto o área exacta depende a menudo del uso que se dará al circuito. No obstante, es posible considerar algunas diferencias entre la operación en puntos diferentes de la fig. III.8 para presentar algunas ideas básicas en cuanto al punto de operación, y por ello, al circuito de polarización.

Si no se utilizara la polarización, el dispositivo estaría al principio totalmente cortado (desactivado), lo cual produciría la corriente del punto A, esto es, corriente cero a través del dispositivo (y voltaje cero a través del mismo). Es necesario polarizar el dispositivo que pueda responder o cambiar sus valores de corriente y voltaje en todo el intervalo de una señal de entrada. En tanto que el punto A no resultara apropiado, el punto B proporciona esta operación deseada. Si se aplica una señal al circuito, además del nivel de polarización, el dispositivo variará sus valores de corriente y voltaje a partir del punto de operación B, lo que permite que el dispositivo reaccione (y posiblemente amplifique), tanto la parte positiva como la parte negativa de la señal de entrada.

Si, como podría suceder, la señal de entrada es pequeña, el voltaje y la corriente del dispositivo variarán, pero no lo suficiente como para llevarlo al nivel de corte o saturación. El corte es la condición en la cual el dispositivo es el más pequeño posible con la corriente en la trayectoria del dispositivo que alcanza un valor límite o de saturación dependiendo del circuito externo. El efecto que suele desearse de amplificador ocurre dentro de la región de operación del dispositivo, esto es, entre la saturación y el corte.

El punto C permitiría también cierta variación positiva y negativa estando el dispositivo aún en operación, pero el voltaje de salida no podría reducirse mucho ya que el punto de polarización C, está a un voltaje menor que el punto B.

El punto C está en una región de operación en el que el nivel de corriente en el dispositivo es menor y la ganancia del mismo no es lineal, es decir, el espaciamiento de una curva a la siguiente es desigual. Esta falta de linealidad demuestra que el nivel de ganancia del dispositivo es más pequeño cuando se polariza en menor medida sobre la característica y más grande cuando la polarización es mayor.

Resulta preferible operar donde la ganancia del dispositivo es más constante (o lineal), de tal modo que la cantidad de amplificación en toda la excursión de la señal de entrada es la misma.

El punto B es una región de espaciamento más lineal y, por consiguiente, su operación tiene un mayor grado de linealidad, como se indica en la fig. III.B.

El punto D fija el punto de operación del dispositivo cerca del valor de voltaje máximo. La excursión del voltaje de salida en la dirección positiva está de este modo limitada si no se excede el voltaje máximo. En consecuencia, el punto B aparece como el mejor punto de operación en términos de la ganancia lineal o de la excursión de voltaje y corriente más grande posible. Esta es casi siempre la condición que se desea en los amplificadores de pequeña señal, pero no necesariamente para los amplificadores de potencia.

Este análisis se concentrará en la polarización del dispositivo para la operación de amplificación de señales pequeñas. Debe considerarse otro muy importante factor de la polarización, habiendo seleccionado y polarizado un TBJ en un punto de operación deseado también debe tomarse en cuenta en efecto de la temperatura. Ésta provoca cambios en las características del dispositivo tales como la ganancia de corriente y la corriente de fuga del transistor. Las temperaturas más altas producen más corriente en el dispositivo que a la temperatura ambiente, por lo que se desajusta la condición de operación impuesta por el circuito de polarización.

A causa de esto, es necesario que el circuito de polarización brinde también un grado de estabilidad de temperatura al circuito, de manera que las variaciones de la misma en el dispositivo produzcan un cambio mínimo en su punto de operación. Este mantenimiento del punto de operación puede especificarse mediante un factor de estabilidad S , que indica la cantidad de cambio en la corriente del punto de operación debida a la temperatura. Resulta deseable un circuito altamente estable y la estabilidad de algunos circuitos de polarización básicos será comparada.

Es posible especificar la operación del TBJ en un grado suficientemente bueno mediante los parámetros del dispositivo, y las técnicas matemáticas pueden emplearse para determinar su polarización, no obstante la característica del transistor seguirá proporcionando una imagen conveniente para la comprensión de la operación del dispositivo.

Para el TBJ que se polarizará en su región de operación lineal o activa debe cumplirse lo siguiente:

1.- La unión de base a emisor debe estar polarizada directamente (voltaje de la región p más positivo) con un voltaje resultante directa entre la base y el emisor de aproximadamente 0.6 a 0.7 V.

2.- La unión de base a colector debe estar polarizada inversamente (región n más positiva), estando el voltaje de polarización inversa en cualquier valor dentro de los límites máximos del dispositivo.

[Nótese que en la polarización directa el voltaje en la unión p-n es p-positivo, en tanto que en la polarización inversa es opuesto (inverso) con n-positiva. El énfasis que se hace sobre la letra inicial debe brindar un medio que ayude a memorizar la polarización del voltaje necesaria.]

La operación en las regiones de corte, de saturación y lineal de la característica del TBJ se obtienen de acuerdo con lo siguiente:

- 1.- Operación en la región lineal:
Base-colector con polarización directa.
Base colector con polarización inversa.
- 2.- Operación en la región de corte:
Base-emisor con polarización inversa.
- 3.- Operación en la región de saturación:
Base-emisor con polarización directa.
Base-colector con polarización directa.

III.6.- El Amplificador Básico con TBJ.

Con el funcionamiento lineal, es natural que el diseño del circuito de polarización se haga operar precisamente en las regiones lineales de las curvas características. Una red de polarización de c-c que toma en consideración lo anterior se ilustra en la fig. III.9a. Al aplicar la LVK, a las mallas formadas por la base y emisor, y a las formadas por el colector y el emisor, se obtiene:

$$v_{BE} = V_{BB} - R_{BB} i_B \quad \text{Ec. 3.15.}$$

$$v_{CE} = V_{CC} - R_{CC} i_C \quad \text{Ec. 3.16.}$$

Al representar gráficamente la ec.3.15 como la línea de carga de c-c, superpuesta a la curva característica base-emisor, y al graficar la ec.3.16 sobre las curvas características colector-emisor, se encontrarán los puntos de operación de c-c

$$(I_B, V_{BE} \approx 0.5 V, I_C, V_{CE})$$

como se muestra en la fig. III.9b

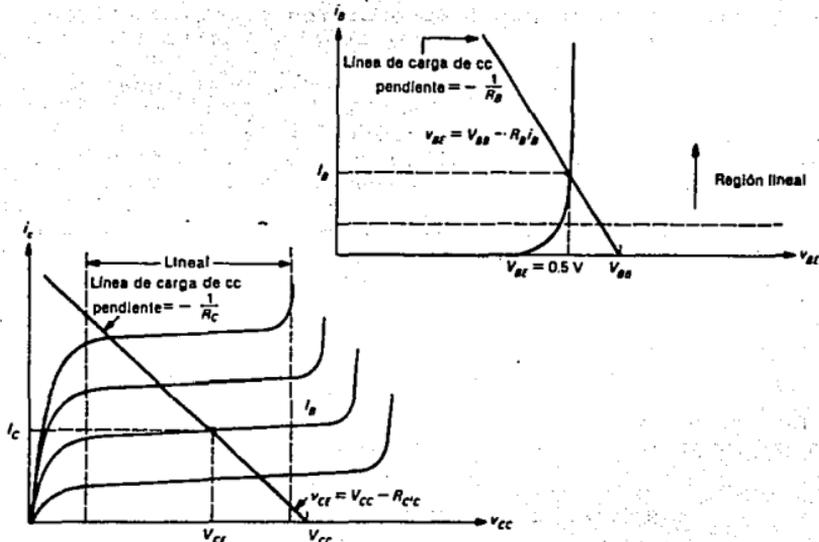


Fig. III.9 Análisis de la línea de carga de c-c en un amplificador TBJ.

Ahora, incluyase una fuente de señal de c-a y una carga (véase fig. 3.10a).

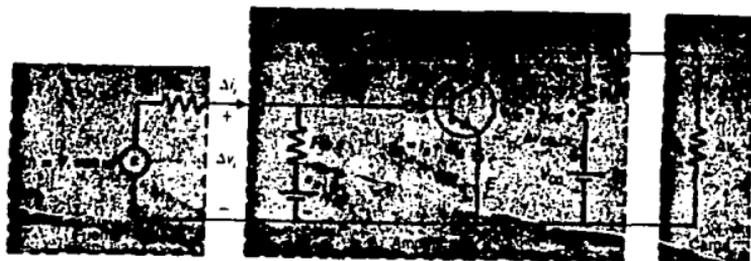


Fig. III.10 Análisis de señal pequeña de c-a en un amplificador TBJ.

De nuevo, supóngase que el valor $v(t)$ es lo suficientemente pequeño para garantizar una operación lineal. En este caso, cada uno de los voltajes y corrientes en el circuito tendrán por superposición cierta cantidad de c-c debida a V_{BB} y V_{CC} y de una cantidad delta (δ) de c-a ocasionada por la fuente sinusoidal $v(t)$. Al suprimir la fuente de c-a, se obtiene el circuito de la fig. III.9a. El circuito de c-a se consigue al colocar en cortocircuito los capacitores y, al anular las dos fuentes de c-c, V_{BB} y V_{CC} como se aprecia en la fig. III.10b. De este resultado puede verse que las cantidades de c-a δv_{CE} y δi_C están relacionadas por

$$\delta v_{CE} = - \left(R_C \parallel R_L \right) \delta i_C \quad \text{Ec. 3.17.}$$

Así, las variaciones en la señal de c-a siguen a una línea de carga de c-a con una pendiente de

$$R_{c-a} = - 1 / R_C \parallel R_L \quad \text{Ec. 3.18.}$$

III.7.- El Transistor como Conmutador.

En cualquier sistema industrial, los circuitos de control reciben y procesan información sobre las condiciones en el sistema. Esta información representa hechos tales como: Posiciones mecánicas de partes móviles, temperaturas en varios lugares, presiones existentes en tubos, ductos y cámaras; caudales; fuerzas ejercidas sobre dispositivos de detección; velocidades de desplazamiento, etc. El circuito de control debe tomar toda esta información empírica y combinarla con la que le suministra el operador. La información suministrada por éste, usualmente proviene de un conjunto de interruptores y/o potenciómetros. Esta información representa la respuesta deseada del sistema, es decir, el resultado esperado.

FALTA PAGINA

No.

58

Basandose en la información suministrada por el operador y los datos tomados del sistema, el circuito de control, toma decisiones. Estas son la próxima acción que debe ejecutar el sistema, ya sea arrancar o parar un motor, aumentar o disminuir la velocidad de un movimiento mecánico, abrir o cerrar una electroválvula, o aún, para el sistema completamente a causa de una condición peligrosa.

Obviamente, la decisión que toma el sistema de control no es una elaboración propia. Solamente es el reflejo de los deseos del diseñador, quien previendo todas las posibles condiciones de entrada, ha programado o elaborado la salida apropiada del sistema. Sin embargo, como el circuito de control opera como lo haría su diseñador, en iguales condiciones, es con frecuencia llamado circuito de toma de decisiones o simplemente: Circuito lógico.

El circuito de control, eléctrico de un sistema industrial puede dividirse en tres partes distintas a saber:

- 1.- Sección de entrada.
- 2.- Sección lógica.
- 3.- Sección de salida.

La sección de entrada, algunas veces llamada sección de adquisición de datos, está formada por los dispositivos encargados de recoger la información proveniente del operador y del sistema mismo. Algunos de los dispositivos usados comúnmente como entradas son: Botones pulsadores, interruptores de fin de carrera, interruptores de presión y fotoceldas.

La sección lógica, algunas veces llamada sección de tomas de decisiones, es la parte del circuito que actúa de acuerdo con la información suministrada por la sección de entrada, toma decisiones con base a dicha información y envía órdenes a la sección de salida.

Los circuitos de la sección lógica son generalmente contruidos con relés magnéticos, circuitos transistorizados discretos, o circuitos integrados. Los dispositivos neumáticos también pueden ser usados para implementar circuitos lógicos pero son menos frecuentes que los dispositivos electrónicos y electromagnéticos. Aún así, los principios fundamentales de los circuitos lógicos son únicos y universales y no interesa qué dispositivo se use para implementarlos.

La sección de salida algunas veces llamada sección actuadora esta formada por los dispositivos que toman las señales de salida de la sección lógica y las convierten o amolifican a formas utilizables.

Los más comunes son: Arrancadores de motores y contactores, solenoides y lámparas indicadores. La fig. III.11 ilustra la relación entre estas tres partes de un circuito de control.

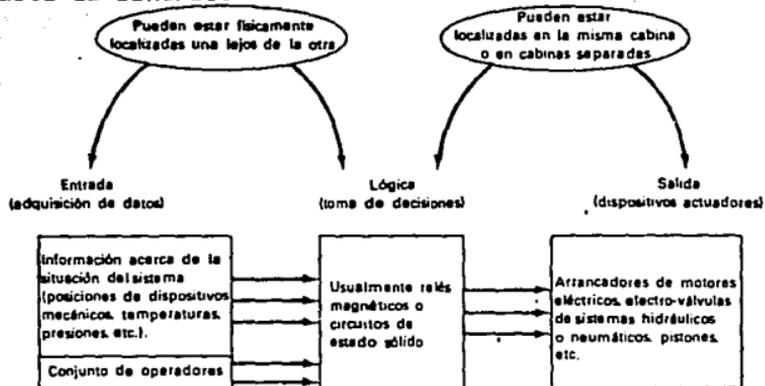


Fig. III.11. Relación entre las tres partes de un sistema de control industrial.

TEMA IV.- EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

IV.1.- El modelo Ideal del Amplificador Operacional.

Un Amplificador Operacional (AO), es un amplificador modular de etapas múltiples, con entrada diferencial, que tiene casi la mayoría de las características del "mítico amplificador ideal". Las propiedades asociadas con un amplificador ideal son las siguientes:

- 1.- Ganancia infinita de voltaje ($A \rightarrow \infty$).
- 2.- Impedancia infinita de entrada ($Z_{ent} \rightarrow \infty$).
- 3.- Impedancia de salida que tiende a cero ($Z_{sal} \rightarrow 0$).
- 4.- Voltaje de salida $V_{sal} = 0$ cuando los voltajes de entrada $V_1 = V_2$.
- 5.- Ancho de banda infinito (no hay retraso de la señal a través del amplificador).

En la práctica, no es posible lograr ninguna de esas operaciones, pero se pueden obtener con la aproximación suficiente para muchas aplicaciones. Por ejemplo, si se recurre a la retroalimentación para limitar a 10 la ganancia del circuito amplificador, una ganancia del amplificador (sin retroalimentación) de 1000 se acerca a infinito lo suficiente, para fines prácticos.

La primera etapa de un amplificador operacional, es un amplificador diferencial. El amplificador diferencial, proporciona una alta ganancia a señales diferenciales y baja ganancia con señales aplicadas simultáneamente a ambas entradas, conocidas como señales en modo común (estas señales son las de igual fase y amplitud aplicadas simultáneamente a ambas entradas). El amplificador diferencial, presenta también una alta impedancia a cualquier señal de entrada que se le aplique. La etapa de entrada de un amplificador operacional es la más importante, porque es ahí donde se establece la impedancia de entrada y se minimizan la respuesta en modo común y los voltajes de desajuste.

(Los voltajes de desajuste son pequeñas señales no deseadas generadas internamente por el amplificador, y que producen algún voltaje de salida cuando se aplique cero voltaje a las entradas. Se deben a la igualación imperfecta de los voltajes emisor-base de los transistores de entrada).

La fig. IV.1 muestra la representación de un amplificador operacional típico.

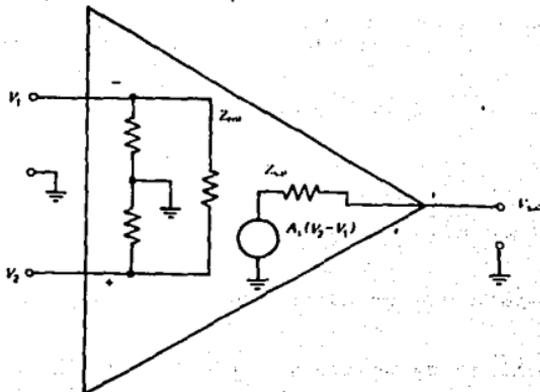


Fig. IV.1.- Representación del amplificador operacional.

A la etapa de entrada, siguen una o más etapas intermedias, para cambiar a cero el nivel del voltaje estático del punto de operación a la salida, y proporcionar ganancia tanto de voltaje como de corriente. Se requiere una ganancia de voltaje adicional para obtener una alta ganancia general de voltaje, y la ganancia de corriente es necesaria para suministrar corriente impulsora a la etapa de salida, sin cargar la etapa de entrada. En las etapas de amplificación intermedias se usan configuraciones tanto asimétricas como diferenciales.

La etapa de salida debe presentar una baja impedancia de salida y proporcionar corriente suficiente para impulsar la carga esperada. Debe tener también una impedancia de entrada lo suficientemente alta para no cargar la última etapa de amplificación intermedia. La etapa de salida es normalmente un emisor seguidor o una configuración complementaria. La fig. IV.2 muestra las terminales de un amplificador operacional. Estas terminales son las siguientes:

1.- $+V$, $-V$: Terminales para los voltajes de la fuente de alimentación.

2.- Compensación de frecuencia : Estas terminales (llamadas a veces de avance, de retraso o de régimen de atenuación), sirven para impedir la oscilación del amplificador operacional cuando no hay compensación interna en el amplificador.

3.- Salida : Donde aparece el voltaje amplificado.

4.- Entrada inversora : Si la entrada no inversora está puesta a tierra y se aplica una señal a la entrada inversora, la salida estará 180° fuera de fase con respecto a la señal de entrada.

5.- Entrada no inversora : Si la entrada está puesta a tierra y se aplica una señal a la entrada no inversora, la salida estará en fase con la señal de entrada.

Algunas de las especificaciones más importantes para los amplificadores operacionales se dan a continuación:

1.- Ganancia en circuito abierto (A_{ol}) : La ganancia del amplificador sin retroalimentación. Usualmente es de varios miles. Se le llama también ganancia de voltaje de señal grande.

2.- Voltaje de desajuste de entrada (V_{os}) : Pequeños voltajes no deseados, generados internamente por el amplificador, que dan lugar a que aparezca un voltaje de salida cuando ambas entradas están conectadas a cero volts. Se deben a falta de igualación de los voltajes emisor-base de los transistores de entrada. El V_{os} es, por lo general, de pocos milivolts.

3.- Corriente de polarización (I_B) : La corriente necesaria para impulsar la etapa de entrada del amplificador operacional; es la corriente de base que se debe suministrar al transistor de entrada.

4.- Desajuste de entrada (I_{os}) : La diferencia en la corriente de polarización requerida por los dos transistores de entrada del amplificador operacional. Su causa es la igualación imperfecta de las betas (β) de los transistores de entrada. En la fig. IV.3. si I_B es la corriente requerida

para impulsar el transistor de entrada inversora e I_{B2} es la corriente necesaria para impulsar el transistor de entrada no inversora, $I_{B1} = I_{B2} - I_{os}$. La corriente de polarización en una entrada varía a medida que varía el voltaje de entrada, de manera que el desajuste variará también. La I_{os} está normalmente entre pocos y varios centenares de nanoampéres.

5.- Resistencia de entrada : Es la resistencia del amplificador a una señal de entrada (R_{ent}). Por lo general, es de más de 1 M Ω ; pero puede llegar a varios centenares de M Ω . Puede ser diferencial, entre las dos terminales de entrada, o de modo común, de las dos entradas a tierra. Por lo general, la hoja de especificaciones no indica de cuál se trata. Dice simplemente R_{ent} .

6.- Resistencia de salida : Es la resistencia interna del amplificador que encontraría un voltaje aplicado a sus salidas. La R_{sal} es por lo general, inferior a unos cuantos cientos de Ohms.

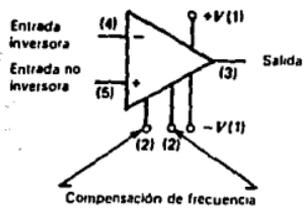


Fig. IV.2.- Terminales de un amplificador operacional.

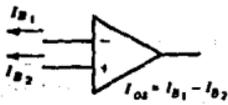


Fig. IV.3.- Definición del desajuste de la corriente de la entrada.

7.- Razon de rechazo de modo común : La posibilidad de rechazar (en vez de amplificar), las señales aplicadas simultáneamente a ambas entradas.

8.- Razon de rechazo de alimentación en relación con la fuente : La variación del voltaje de salida ante una variación de 1 V en la fuente de alimentación (+V y -V juntas), se indica generalmente en $\mu\text{V/V}$.

9.- Capacitancia de entrada (C_{in}) : Capacitancia de las terminales de entrada a tierra.

10.- Corriente de alimentación : La corriente de operación que toma el AO.

11.- Consumo de potencia : La potencia de operación disipada por el AO.

12.- Rapidez de cambio (S) : La pendiente máxima de cambio del voltaje de salida, dada en Volts/useg.

13.- Respuesta transitoria : La respuesta de un AO a un voltaje escalón de entrada. El tiempo de levantamiento y el sobregiro del voltaje de salida se dan para una variación específica del voltaje de entrada.

14.- Condiciones máximas absolutas de funcionamiento : Incluyen especificaciones como estas:

- Disipación máxima de potencia.
- Límites de la temperatura de operación.
- Voltaje máximo de alimentación.
- Voltaje máximo diferencial de entrada (entre las terminales inversora y no-inversora).
- Voltaje máximo de entrada en modo común.
- Límites de temperatura de almacenamiento.

Si se exceden estas especificaciones máximas, el AO se dañará.

Algunos fabricantes de AO incluyen en sus especificaciones varias curvas de muchos parámetros del amplificador. Entre ellas se puede figurar el V_{sal} (máximo) contra la R_L , el V_{sal} (máximo) contra el voltaje de alimentación, el V_{os} contra la temperatura y la I_B contra la temperatura. Es indispensable leer las especificaciones de un AO para utilizarlo debidamente.

Los parámetros críticos tales como el V_{os} y la A_{ol} dependen por lo general de las temperaturas máxima y mínima de operación y de la temperatura ambiente.

IV.2.- Aplicaciones Básicas: Inversor, No-inversor, Sumador, Derivador, Integrador, Sustractor y Comparador.

a). Circuito Amplificador Inversor.- Fig. IV.4. tiene conectada a tierra la terminal no-inversora (\ominus). Una resistencia R_1 conecta la señal de entrada a la entrada inversora. Se conecta una resistencia de realimentación R_f de la salida hacia la entrada inversora.

Al principio puede parecer que hay una inconsistencia en las marcas de polaridad. Se debe recordar que las marcas (\ominus) y (\oplus) en el AD solamente designan cuál terminal es la entrada inversora (I) y cuál es la entrada no-inversora (NI).

La polaridad de V_{ent} se determina por la polaridad del voltaje de entrada del circuito V_{ent} . La polaridad de V_{sal} es la inversa de la polaridad de V_{ent} . En consecuencia, este circuito da una inversión de 180° de fase a la señal. Se han colocado las notaciones de polaridad en V_{ent} y V_{sal} en forma convencional para mostrar las direcciones relativas de la corriente. Si el AD es ideal, la magnitud de V_{ent} es 0, asimismo, su resistencia de entrada r_{ent} es extremadamente

alta (un circuito abierto). Por lo que la corriente de entrada al AD es cero. Por lo tanto, el punto de suma A, está idealmente al potencial de tierra. El voltaje a través de $(R_1 + R_f)$ es $V_{ent} - V_{sal}$ y fluye una corriente I de la terminal de entrada a la de salida y dentro del AD.

Puesto que $V_A = 0$, entonces

$$V_{sal} = -IR_f \quad \text{y} \quad V_{ent} = IR_1$$

si se dividen estas dos ecuaciones, se obtiene la ecuación para la ganancia del amplificador inversor:

$$A_v = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = -\frac{IR_f}{IR_1}$$

por lo tanto;

$$A_v = -\frac{R_f}{R_1} \quad \text{Ec. 4.1.}$$

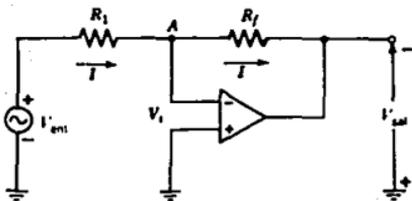


Fig. IV.4. - el amplificador inversor.

5. Circuito Amplificador no-inversor.

En la fig. IV.5 se muestra el circuito para el amplificador no-inversor. Una inspección del circuito muestra que la polaridad de V_{sal} es la misma que la de V_{ent} , esto es, V_{sal} está en fase con V_{ent} . La dirección de la corriente I a través de R_1 y R_f . Se pondrán marcas de polaridad en R_1 y en R_f . El voltaje de entrada al amplificador operacional V_i es cero. Si se expresa V_i como la diferencia entre los dos voltajes de entrada V_{ent} e IR_1 , se tiene

$$V_i = V_{ent} - IR_1 = 0$$

o también como

$$V_{ent} = IR_1$$

el voltaje de salida es

$$V_{sal} = I(R_1 + R_f)$$

dividiendo las dos ecuaciones se obtiene la ganancia A_v

$$A_v = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{I(R_1 + R_f)}{IR_1}$$

luego se tiene, entonces

$$A_v = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{R_1 + R_f}{R_1}$$

por lo tanto se tiene que:

$$A_v = 1 + R_f / R_i \quad \text{Ec. 4.2.}$$

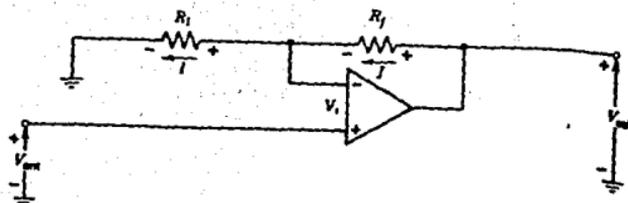


Fig. IV.5.- El amplificador no-inversor.

c). El circuito sumador.- En la fig. IV.6. se muestra el circuito del sumador. Las conexiones al amplificador muestran que hay inversión de fase en el amplificador. En el amplificador ideal, V_i es cero. Puesto que la entrada no inversora (+) está conectada directamente a tierra y puesto que V_i es cero, el voltaje del punto S, el punto de suma, a tierra debe ser 0V.

Por lo tanto, el punto S está efectivamente al potencial de tierra. Se llama al punto S tierra virtual para describir esta condición. La corriente de R_1 es producida por V_1 solamente. La corriente en R_1 no es afectada por V_2 , R_2 , V_3 ó R_3 . La salida V_{sal} es solamente la suma de los voltajes de salida producidos por cada uno de V_1 , V_2 y V_3 , en forma independiente.

Se puede escribir inmediatamente.

$$V_{sal_1} = - [R_f / R_1] V_1$$

$$V_{sal_2} = - [R_f / R_2] V_2$$

$$V_{sal} = - \left[\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 \right]$$

Por el teorema de superposición el voltaje de salida es la suma de los voltajes de salida producidos por los voltajes individuales de entrada.

$$V_{sal} = V_{sal1} + V_{sal2} + V_{sal3}$$

luego:

$$\frac{V_{sal}}{R_f} = - \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} - \frac{V_3}{R_3}$$

se resuelve para V_{sal} se tiene;

$$V_{sal} = - R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right] \quad \text{Ec. 4.3.}$$

o también

$$V_{sal} = - \left[\left(\frac{R_f}{R_1} \right) V_1 + \left(\frac{R_f}{R_2} \right) V_2 + \left(\frac{R_f}{R_3} \right) V_3 \right]$$

La expresión anterior (Ec.4.4), se conoce como ecuación del cálculo del voltaje de salida de un AD sumador.

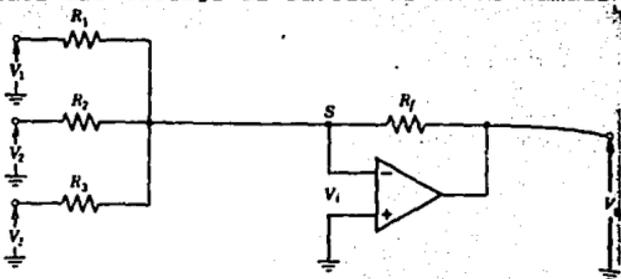


Fig. IV.6.- Circuito sumador.

Una aplicación de este circuito es su uso como mezclador de audio. Se utilizan tres microfones como las entradas a V_1 , V_2 y V_3 . La salida combinada es $-V_{sal}$.

Una aplicación es para un circuito de control. Tres señales de control que varían de manera continua se alimentan en V_1 , V_2 y V_3 .

Cada entrada de control se multiplica por un factor diferente y la combinación de las señales ponderadas en la salida.

Si las tres resistencias en la entrada son iguales:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

la salida se convierte en:

$$V_{sal} = -R_f / R (V_1 + V_2 + V_3) \quad \text{Ec. 4.5.}$$

y si R_f también es igual a R ,

$$V_{sal} = - (V_1 + V_2 + V_3) \quad \text{Ec. 4.6.}$$

si este circuito tiene n entradas y todas las resistencias tienen el valor R .

$$V_{sal} = -R_f / R (V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad \text{Ec. 4.7.}$$

si cada resistencia de entrada tiene el valor R/n y, si con n entradas,

$$R_f = R/n$$

la ec. 4.7 se convierte en:

$$V_{sal} = - (R/n) / R (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

$$V_{sal} = -V_1 + V_2 + \dots + V_n / n \quad \text{Ec. 4.8.}$$

El circuito representado por la ec. 4.8 se llama un promediador, puesto que el voltaje de salida es el valor promedio de los voltajes de entrada.

d). Circuito amplificador diferencial.- La fig. IV.7, muestra el circuito amplificador diferencial. Si se utiliza el teorema de superposición, se encuentra que;

$$V_{sal} = V_{sal}^{1} + V_{sal}^{2}$$

donde V_{sal}^{1} es la salida producida por V_1 y V_{sal}^{2} es la salida producida por V_2

$$V_{sal}^{1} = A V_{ent} = (R_f / R_1) V_1$$

relacionando se tiene;

$$V_{sal}^{2} = A V_{ent} = [(1 + R_f / R_1) V_2]$$

luego;

$$V_{sal} = V_{sal}^{1} + V_{sal}^{2} = - (R_f / R_1) V_1 + [(1 + R_f / R_1) V_2]$$

$$V_{sal} = [(1 + R_f / R_1) V_2] - (R_f / R_1) V_1 \quad \text{Ec.4.9.}$$

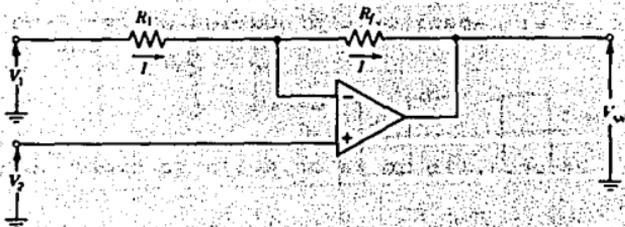


Fig. IV.7.- Circuito amplificador diferencial.

e). Circuito amplificador integrador.- En la fig. IV.8, se muestra el circuito amplificador integrador. La corriente i en la resistencia R es:

$$i = v / R$$

el voltaje a través del capacitor es v_{sal} . Así que, sustituyendo se tiene;

$$-v_{sal} = \frac{1}{C} \int (v_{ent} / R) dt$$

pór lo tanto se tiene que;

$$v_{sal} = - \frac{1}{RC} \int v_{ent} dt \quad \text{Ec. 4.10.}$$

Se antepone el signo (-), ya que se trata de un amplificador operacional inversor.

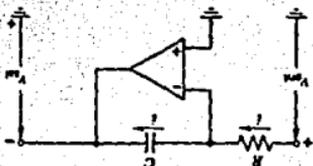


Fig. IV.8.- Circuito amplificador integrador.

f). Circuito amplificador derivador.- En la fig. IV.9, se observa que el voltaje de salida del circuito es;

$$v_{sal} = - R i \quad \text{Ec. 4.11a.}$$

la corriente en el capacitor C producida por v_{ent} es

$$i = C (dv_{ent} / dt) \quad \text{Ec. 4.11b.}$$

sustituyendo la ec.4.11b en la ec.4.11a se tiene que;

$$v_{sal} = - RC (dv_{ent} / dt) \quad \text{Ec.4.12.}$$

en la ec.4.12 muestra que la salida del circuito es la derivada de la señal de entrada. En consecuencia, el circuito se llama circuito amplificador derivador.

éste es muy sensible a pulsos cortos de ruido y, como resultado, no es circuito preferente para utilizarse en muchas aplicaciones.

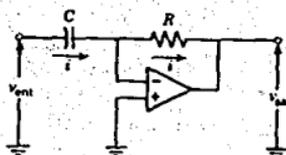


Fig. IV.9.- Circuito amplificador derivador.

g). Circuito amplificador comparador.- El circuito mostrado en la fig. 4.10, se utiliza como un circuito amplificador comparador. El AO se utiliza en malla abierta.

Una señal de entrada muy pequeña lleva a la salida a saturación. Por lo tanto, la salida existe en cualquiera de los dos modos: $+V_{sal, SAT}$ ó $-V_{sal, SAT}$. En la figura IV.11

se muestran formas de onda comunes de los voltajes de entrada y salida. Si se introduce un voltaje de c-c en la entrada no-inversora, como en la fig. IV.11, los puntos de conmutación de la forma de onda en la salida cambian como se muestran en la fig. IV.11.

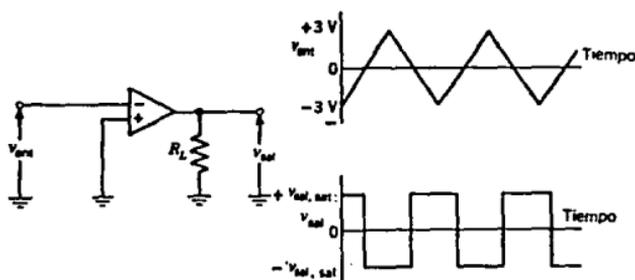


Fig. IV.10.- Circuito amplificador comparador.
(a).Circuito. (b). Formas de onda.

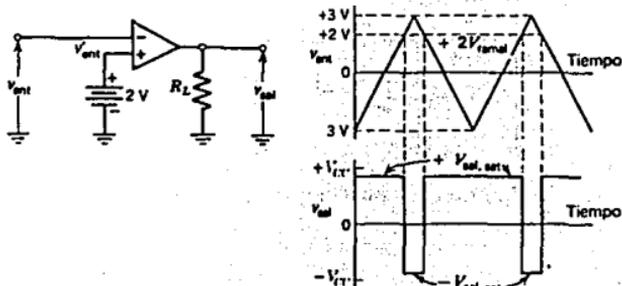


Fig. IV.11.- Circuito y formas de onda para el comparador con un voltaje en la terminal no-inversora.

IV.3.- Sistemas de Control y de Medición con Amplificadores Operacionales.

Los sistemas analizadores son tipos especiales de sistemas de medida generalmente orientados a obtener información acerca de las partes componentes (ingredientes constituyentes) de una sustancia, un proceso, un parámetro o un fenómeno.

Ejemplos de sistemas de análisis químico son aquellos que se usan para determinar la riqueza relativa de los constituyentes de una mezcla, en determinar la presencia o ausencia de un constituyente específico en una mezcla o en examinar propiedades de una mezcla o de uno o más de sus ingredientes. La mezcla para ser sólida, líquida o gaseosa.

Ejemplos de sistemas de análisis físico son aquellos usados en determinar la energía relativa dentro de un número de estrechas bandas de frecuencia en una onda compleja, en mostrar la distribución estadística de la amplitud de pulsos de corriente observados durante un intervalo de tiempo, o en identificar la distribución de la amplitud de energía emitida o absorbida en diversas direcciones.

Así, los sistemas de análisis químico considerados pueden describirse de manera general como compuestos por visualizadores de la salida de un dispositivo sensor que responde a una característica física o química de la sustancia analizada de manera que la información deseada puede ser obtenida directamente o a través de otras informaciones interrelacionadas.

Los sistemas de análisis físico son sistemas de medida en los que un número de medidas interrelacionadas son visualizadas en una única unidad de visualización (por ejemplo el sistema de análisis estructural) o en los que componentes específicos de la salida de un transductor son visualizados separadamente (por ejemplo un sistema de análisis de vibraciones).

Los datos adquiridos por un sistema de medida o de análisis requieren frecuentemente de diversas operaciones en ellos que faciliten la determinación de la información requerida (la elaboración de datos).

Puede ser precisa la utilización de amplificadores, utilizados para hacer la amplitud de fondo de escala de la salida del transductor compatible con la capacidad de un determinado sistema de visualización. También pueden ser precisos filtros usados para rechazar ruido de la señal de ruido o para eliminar componentes indeseables de alta (filtros pasabajas) o baja (filtros pasaaltas) frecuencia, o componentes de frecuencias comprendidas fuera de una determinada banda (filtros pasabanda). Para crear señales «si-no» provenientes de la función de comparación de la amplitud de la señal con un nivel de referencia pueden utilizarse discriminadores de amplitud. Los discriminadores de frecuencia (convertidores c-a a c-c) convierten variaciones de frecuencia en variaciones de amplitud. Los rectificadores convierten variaciones de amplitud de señales alternas en variaciones de amplitud de señales continuas.

También pueden utilizarse redes de polarización para visualizar únicamente una porción de la señal dentro de unos niveles predefinidos.

La información puede ser almacenada en la memoria de los computadores o grabada en cintas magnéticas para su posterior procesamiento o lectura (almacenamiento de datos). Los datos analógicos pueden ser digitalizados (convertidores analógicos-digitales). Los datos digitales pueden ser convertidos a la forma analógica (convertidores digitales-analógicos).

El proceso de datos digitales, como los datos de un sistema de telemetría PCM o los datos analógicos digitalizados, es usualmente ejecutado por computadores. La accesibilidad a los computadores, en un amplio rango de costos, capacidad y complejidad facilita la elaboración de datos hasta el extremo de convertirse en sistemas atractivos para los diseñadores y usuarios de sistemas, incluso de complejidad reducida, de análisis y sensores.

La trama compuesta de datos de entrada consiste usualmente de un número de datos secuenciales. Cada trama de datos comienza con una palabra de sincronización y una o más palabras identificadoras, seguidas de las palabras de datos.

Cada palabra es un grupo de bits representante de una medida analógica digitalizada, del conteo de sucesos, o un conjunto de estados o indicaciones de modo. Es deseable mantener la longitud (número de bits en cada palabra) de todas las palabras de datos iguales.

La trama de datos es almacenada usualmente en una banda magnética. En algunos sistemas el proceso de los datos se produce de manera retardada de esta forma mientras los datos son almacenados, el computador puede ejecutar otras funciones. La banda magnética es leída por el computador en el momento apropiado (proceso de datos almacenados). Si durante el proceso acaeciera un error o por alguna razón se precisara procesar la información, nuevamente la consistencia magnética de la información garantiza su accesibilidad. Los datos son presentados al computador a través de la unidad de entrada de datos permitiendo su manipulación y monitoreo en dispositivos de visualización. Si la distancia entre la unidad de entrada de datos y el computador es relativamente grande, es preciso considerar unidades terminales de acondicionamiento de señales. Los computadores realizan diferentes tipos de proceso en los datos, además de la visualización secuencial de los datos deconmutados. Algunos ejemplos de procesado son:

1.- La conversión del equivalente decimal correspondiente a la palabra digital procedente de la línea de transmisión transductor-computador en un equivalente decimal representativo del valor de la magnitud medida, expresada en unidades de ingeniería en base a un registro de calibración (conversión a unidades de ingeniería).

2.- La limitación de la visualización de cada medida a los momentos en los que el cambio del valor de dicha magnitud, comparado con sus valores previos, es significativo (por ejemplo excede de una tolerancia especificada). Esta técnica de supresión de datos facilita la evaluación de la información por el observador, en sistemas de multimedida, provocando además un registro de datos menor.

3.- Comparando cada valor de información con unos límites superior e inferior predeterminados y activando una alarma cuando se excede de dichos límites (alarma por prueba de límites). La alarma puede venir dada por la visualización de un carácter especial (por ejemplo, un asterisco), al lado del dato visualizado. También puede venir dado por el parpadeo de una luz indicadora o un tono audible.

4.- Acumulación de los sucesivos valores de la misma magnitud durante un período de tiempo especificado, para determinar el valor medio, visualizando este valor (análisis de valores medios).

5.- Acumulación de sucesivos valores de una misma magnitud durante un periodo de tiempo especificado, determinando el valor mayor de todos visualizando este valor máximo (barridos de picos).

6.- Realizando determinadas operaciones matemáticas a partir de una o más magnitudes, visualizando el resultado (datos derivados por computación), como el cálculo y visualización de la potencia eléctrica a partir de las magnitudes medidas de tensión y corriente eléctrica.

7.- Comparando variaciones de una magnitud medida, sobre un intervalo especificado, con los datos almacenados en el computador representativos de un "modelo" de estas variaciones, visualizando el resultado de dicha comparación.

El propósito de los sistemas de medida y análisis es el de facilitar al usuario información (datos). En sistemas de control que usan a un operador humano como parte del bucle de control manualmente (por ejemplo aumentar una temperatura, disminuir una presión, parar un flujo, llenar un tanque, cambiar de velocidad). En los sistemas de control automático, las salidas de los dispositivos sensores y de análisis se usan para efectuar una función de control sin la intervención del operador humano. Los primeros son denominados sistemas de control en bucle abierto y los últimos sistemas de control en bucle cerrado. Los sistemas de control automático más comúnmente utilizados son sistemas en bucle cerrado con realimentación. Un bucle de realimentación incluye un camino de señal directo, un camino de señal de realimentación y un punto de suma de señales que forman juntos un circuito cerrado.

Una magnitud específica de un sistema controlado (proceso) desea ser mantenida a un valor determinado. Esta magnitud controlada (variable controlada) es medida a partir de un sistema sensor, usualmente un transductor (transmisor). La salida del dispositivo sensor, acondicionada o no de alguna manera, es aplicada a un elemento de comparación o punto de suma (punto de establecimiento) en un dispositivo de regulación (controlador). En este punto, la señal realimentada procedente del dispositivo sensor (señal realimentada) es comparada con una señal de referencia (señal de valor establecido). Si las dos señales tienen la misma longitud, o están dentro de una tolerancia relativamente estrecha (banda de comparación), no acontece acción alguna. Si las dos señales difieren en un valor mayor que el tolerado, una señal de regulación se envía al dispositivo de control (elemento de control final).

Esta señal provoca en el dispositivo de control un cambio de magnitud o condición (magnitud manipulada) (variable manipulada) en el sistema controlado. La acción de control permanece activa hasta que la magnitud controlada adopta su nivel apropiado, correspondiente a que la señal realimentada iguale a la señal de valor establecido.

Un ejemplo de un sistema de control realimentado es el de control de velocidad de un ingenio de combustión interna.

Si la velocidad angular (velocidad de rotación) del eje de salida del ingenio es la magnitud a controlar, como elemento sensor puede usarse un tacómetro acoplado al eje.

La salida del tacómetro acoplado se compara con una salida de referencia. Diferencias entre las dos señales provocan que una válvula de aplicación admita más o menos combustible al ingenio manteniendo de esta manera la velocidad angular del eje de salida al valor deseado.

Existen varios tipos de acción de control. El más simple es el control "todonada", usado en el control de temperatura de hornos domesticos. Cuando la temperatura asciende y de nuevo alcanza el punto de inicio, el horno se desconecta. Este tipo de control provoca típicamente notables cambios de temperatura, sobretodo si la banda de comparación del controlador es ancha. Cuando interesa que la temperatura de un dispositivo de calefacción se mantenga de una manera más exigente a un valor constante, como ocurre en determinadas aplicaciones industriales, puede usarse un control proporcional. Esta acción de control mantiene una relación lineal continua entre la salida y la entrada del controlador. Una pequeña variación en la temperatura respecto del valor deseado, detectado por un transductor de temperatura, causa una pequeña acción reguladora para corregir la temperatura al nivel deseado. Una variación grande causa una acción reguladora grande. De esta forma la temperatura se controla de una manera más precisa que con el control por todo o nada.

Tipos adicionales de acción de control son el control derivativo, en donde la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la entrada y el control integral, en donde la velocidad de cambio de salida es proporcional a la entrada. El valor establecido puede ser actuado normal, automáticamente o en concordancia con un programa.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

V.1.- Sistemas de Numeración: Decimal, Binario y hexadecimal.

Un sistema de número de base, o raíz, r es un sistema que utiliza símbolos diferentes para r dígitos. Los números son representados por una hilera de símbolos ó dígitos. Para determinar la cantidad que representa el número, es necesario multiplicar cada uno de los dígitos por una potencia entera r , y entonces formar la suma de todos los dígitos ponderados.

La conversión del decimal a su representación equivalente en el sistema de raíz r se lleva a cabo separando el número en sus partes enteras y fraccionarias y convirtiendo cada una de las partes separadamente. La conversión de un entero decimal a uno de representación de base r se hace por divisiones sucesivas por r y la acumulación de los residuos. La conversión de una fracción decimal a base r se logra por multiplicaciones sucesivas por r y acumulación de los dígitos enteros que se obtienen de esa manera.

La conversión de binaria, octal y la representación hexadecimal, juegan una parte importante en los computadores digitales. La conversión de binario a octal se logra facilmente partiendo el número binario en grupos de tres bits cada uno. El dígito octal correspondiente se le asigna entonces a cada grupo de bits y la hilera de dígitos así obtenida da el equivalente octal del número binario. Puesto que un número binario consta de una hilera de unos y ceros, el registro de 16 bits puede utilizarse para almacenar cualquier número binario desde 0 hasta $2E16$.

a). Representación decimal.- El sistema de números binarios es el sistema mas natural para un computador, pero los usuarios están acostumbrados al sistema decimal. Una manera de resolver este conflicto es convertir todos los números decimales de entrada en números binarios, dejar el computador para que realice todas las operaciones aritméticas en binario y posteriormente convertir los resultados binarios de nuevo a decimal para la utilización y comprensión por el usuario. Sin embargo, es también posible que el computador realice operaciones aritméticas directamente con números decimales, siempre y cuando, que ellos sean colocados en los registros en forma codificada.

Los números decimales entran al computador usualmente como caracteres alfanuméricos codificados en binario. Estos códigos, introducidos posteriormente, pueden contener desde 6 hasta 8 bits para cada dígito decimal.

Quando se utilizan los números decimales para los cálculos aritméticos internos, estos se convierten a código binario con 4 bits por dígito. Un código binario es un grupo de n bits, que supone hasta 2 elevado a la n potencia, combinaciones diferentes de unos y ceros, con cada uno de las combinaciones representando un elemento del conjunto que está siendo codificado. Es importante entender la diferencia entre la conversión de los números decimales a binario y la codificación binaria de los números decimales.

b). Representación alfanumérica.- Muchas aplicaciones de computadores digitales requieren el manejo de datos que constan no solamente de números, sino también de letras del alfabeto y ciertos caracteres especiales. Un conjunto de caracteres alfanuméricos es un conjunto de elementos que incluye los 10 dígitos decimales, las 26 letras del alfabeto y un número de caracteres especiales, tales como, %, +, @, =. Un conjunto como estos contiene entre 32 y 64 elementos (si solamente se incluyen las letras mayúsculas) o entre 64 y 128 (si se incluyen tanto las letras mayúsculas como las letras minúsculas). En el primer caso el código binario requerirá de 6 bits y en el segundo caso 7 bits. El código numérico alfanumérico estándar es el ASCII (American Standard Code for Information Interchange) o (Código Americano Nacional Estándar para el Intercambio de Información), que utiliza 7 bits para codificar 128 caracteres. Note que los dígitos decimales en ASCII pueden convertirse a BCD retirando los 3 bits del orden superior, 011. Los códigos binarios juegan una parte importante en las operaciones del computador digital. Los códigos deben estar en binario porque los registros pueden retener únicamente información binaria. Se debe tener en cuenta que los códigos binarios cambian meramente los símbolos no el significado de los elementos discretos que ellos representan. La operación especificada por computadores digitales puede tomar en consideración el significado de los bits almacenados en los registros para que las operaciones sean realizadas en los operandos del mismo tipo. Al inspeccionar los bits del registro en un computador digital al azar, es probable que se encuentre que representa algún tipo de información codificada en vez de un número binario.

Los códigos binarios pueden formularse para cualquier conjunto de elementos discretos: Los colores del espectro, las notas musicales y las piezas de un juego de ajedrez y sus posiciones en el tablero. Los códigos binarios también son utilizados para formular instrucciones que especifican información de control para el computador.

V.2.- Aritmética Binaria.

En la mayoría de los sistemas digitales, desde el circuito de control más sencillo, hasta el calculador más complejo se utilizan operaciones aritméticas.

Las leyes que rigen las operaciones en el sistema de base 2, son paralelas a las del sistema de base 10.

a). Suma aritmética binaria.- La suma aritmética de dos bits resulta muy sencilla, porque éstos sólo pueden tomar el valor 0 v 1 lógicos. La tabla de la suma en el sistema de base 2 es:

| Sumandos | | Suma binaria | | Acarreo |
|----------|---|--------------|---|---------|
| b | a | S | C | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | |

Tabla 5.1.- Suma en el sistema binario.

La suma binaria toma el valor uno, cuando uno sólo de los sumandos tiene dicho valor; cuando ambos sumandos tienen el valor uno, la suma es cero y se produce un acarreo. De lo dicho se deduce que la suma aritmética de dos bits es una función lógica de dos variables de entrada y dos de salida, que son la suma binaria S y el acarreo C.

b). Resta binaria.- La resta de dos números binarios es equivalente a una suma algebraica. Por ejemplo, restar el número positivo b del número positivo a, es equivalente a sumar el número "a" al número "-b". Por tanto, si los números negativos se representan adecuadamente, la resta puede ser convertida en una suma y realizada mediante un circuito sumador.

La representación de los números negativos, es un convenio que ha sido utilizado en todos los sistemas de numeración para la representación de los números negativos es el de emplear una cifra en el extremo izquierdo del número correspondiente para representar el signo. En el sistema binario dicha cifra, llamada bit de signo, es 0 si el número es positivo y 1 si éste es negativo.

En este sistema denominado de valor absoluto y signo, porque los números negativos se representan mediante su valor absoluto y el signo, se utilizan n bits para indicar los números binarios de $n-1$ bit. Este método de representación de los números negativos implica que, para la realización de la resta es necesario utilizar un circuito restador distinto del circuito sumador, y por tanto, una mayor complejidad del circuito lógico capaz de realizar ambas operaciones. Por esto, el convenio de disponer de un bit de signo se combina con el de representar un número negativo de n bits ($n-1$ bit de información, más un bit de signo), mediante el complemento a 2 y complemento a -1 .

Mediante la adopción de estos dos convenios, la operación de la resta se convierte en suma y, por tanto, mediante un único circuito sumador se realizan ambas operaciones lo cual simplifica la realización física de la unidad aritmética. El complemento a 2 de un número a de n bits se obtiene, restando el número de 2 elevado a la n potencia (en binario, 1 seguido de n ceros) lo cual es equivalente, a complementarlo, es decir, cambia, los 1 por 0 y viceversa, y sumarle la unidad.

c). Multiplicación binaria.-- La multiplicación de dos números binarios de un bit a y b cumple la tabla de verdad indicada en la tabla 5.2 que coincide con el producto lógico, es decir;

$$P = a \cdot b$$

tal como se representa gráficamente en la fig. V.1.

| a | b | P |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Tabla 5.2.



Fig. V.1.

El algoritmo de multiplicación utilizado en el sistema binario natural coincide con el del sistema decimal. Se multiplica el multiplicando por el bit menos significativo del multiplicador. Al resultado obtenido se le suma aritméticamente el producto, desplazado una posición del segundo bit del multiplicador por el multiplicando, y así sucesivamente.

Se tratará de realizar este algoritmo de forma iterativa utilizando compuertas Y para realizar cada uno de los productos parciales y sumadores totales para realizar las sumas parciales. Se aclarará lo expuesto con números de 4 bits:

$B = b_3 b_2 b_1 b_0$ Multiplicando

$A = a_3 a_2 a_1 a_0$ Multiplicador

La multiplicación de A por B se realiza mediante 4 compuertas Y, tal como se indica en la fig. V.2, obteniéndose el primer producto parcial P_1 .

Este producto P_1 hay que sumarlo con el segundo producto parcial $a_1 \cdot B$, desplazado un bit. Para ello se puede utilizar 4 sumadores totales y otras cuatro compuertas Y tal como se muestra en la fig. V.3.

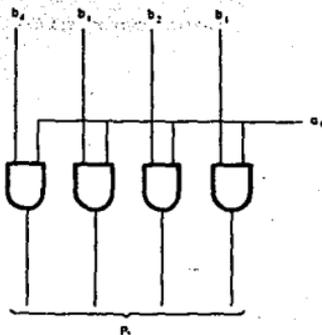


Fig. V.2.

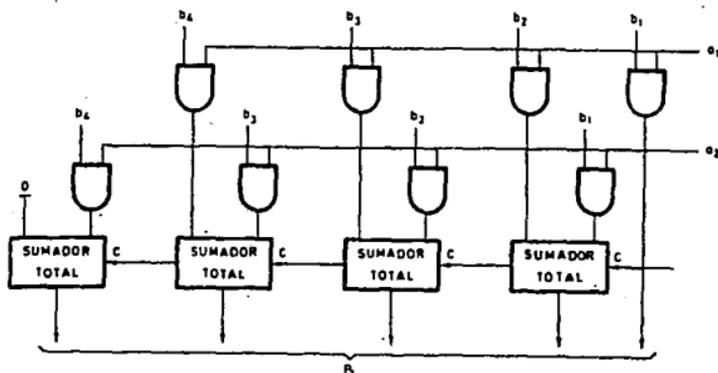


Fig. V.3.

V.3.- Elementos del Algebra de Boole.

Un álgebra de Boole, es toda clase o conjunto de elementos que pueden tomar dos valores perfectamente diferenciados, que se designarán por "0" y "1" y que están relacionados por dos operaciones binarias denominadas suma (+) y producto (.) lógicos que cumplen los siguientes postulados:

a). Ambas operaciones son conmutativas, es decir, "a" y "b" son elementos del álgebra, se verifica:

$$a + b = b + a ; a \cdot b = b \cdot a$$

b). Dentro del álgebra, existen dos elementos neutros, el 0 y el 1, que cumplen la propiedad de identidad con respecto a cada una de dichas operaciones:

$$0 + a = a ; 1 \cdot a = a$$

c). Cada operación es distributiva con respecto a la otra:

$$a(b + c) = a \cdot b + a \cdot c ; a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$$

d). Para cada elemento, "a", del álgebra, existe un elemento "a", tal que:

$$a + a = 1 ; a \cdot a = 0$$

Este postulado define realmente una nueva operación fundamental que es la inversión o complementación de una variable.

La variable "a" se encuentra siempre en un estado binario al de "a", la primera ecuación, expresa la imposibilidad de que "a" y "a" tomen el valor lógico 0, al mismo tiempo, y la segunda ecuación indica que nunca pueden tener el valor lógico 1 al mismo tiempo.

Puede elegirse como postulado un grupo distinto del adoptado con tal de que se cumpla la condición de que ninguno pueda ser deducido de cualquiera de los demás.

Esto es, que el Álgebra de Boole es un ente matemático, en realidad, físicamente son varios los conjuntos que poseen dos operaciones binarias que cumplen los postulados desarrollados. Ejemplos de estos conjuntos son el álgebra de las proposiciones o juicios formales y el álgebra de la conmutación, formada también por elementos que pueden tomar dos estados perfectamente diferenciados. Estos elementos son los circuitos lógicos. Los primeros circuitos de conmutación o lógicos utilizados han sido los contactos y, aunque poco a poco han sido desplazados por los circuitos electrónicos, pueden ser empleados para memorizar más fácilmente las Leyes del Álgebra de Boole. La operación suma se asimila a la conexión en paralelo de contactos y la operación producto a la conexión en serie, el inverso de un contacto es otro cuyo estado es siempre el opuesto al primero, es decir, está cerrado cuando aquél está abierto y viceversa. El elemento 0 es un contacto que está siempre abierto y el elemento 1 está siempre cerrado. Además se considera una función de transmisión entre los dos terminales de un circuito de contactos, que toma el valor 1, cuando existe un camino para la circulación de corriente entre ellos y el valor 0 al no existir dicho camino (circuito abierto).

A continuación, se analizarán los teoremas fundamentales del Álgebra de Boole. Basándose en los postulados anteriores se deducen los teoremas siguientes. La tabla de verdad de una expresión algebraica binaria representa los valores que dicha expresión puede tomar para cada combinación de estados de las variables que forman parte de la misma. Dos expresiones algebraicas que tienen la misma tabla de verdad son equivalentes.

Teorema 1.- Cada identidad deducida de los anteriores postulados del Álgebra de Boole, permanece válida si la operación (\cdot) y $(+)$ y los elementos 0 y 1 se intercambian entre sí. Este principio, llamado de dualidad, se deduce inmediatamente de la simetría de los cuatro postulados con respecto a ambas operaciones y a ambos elementos neutros.

Teorema 2.- Para cada elemento "a" de un Álgebra de Boole, se verifica:

$$a + 1 = 1 \quad \vee \quad a \cdot 0 = 0$$

Teorema 3.- Para cada elemento del Algebra de Boole se verifica:

$$a + a = a \quad \text{y} \quad a \cdot a = a$$

Teorema 4.- Para cada par de elementos de un Algebra de Boole a y b , se verifica:

$$a + ab = a \quad \text{y} \quad a(a + b) = a$$

Teorema 5.- En Algebra de Boole, las operaciones suma y producto son asociativas.

$$a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$$

$$a(bc) = (ab)c = abc$$

Teorema 6.- Para todo elemento del Algebra de Boole se verifica:

$$\overline{\overline{a}} = a$$

Teorema 7.- En toda Algebra de Boole se verifica:

$$a). \overline{a + b + c + d + \dots} = \overline{a} \cdot \overline{b} \cdot \overline{c} \cdot \overline{d} \cdot \dots$$

$$b). \overline{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot \dots} = \overline{a} + \overline{b} + \overline{c} + \overline{d} \cdot \dots$$

V.4.- Funciones Booleanas y Compuertas Lógicas.

Una función de un Algebra de Boole es una variable binaria cuyo valor es igual al de una expresión algebraica en la que se relacionan entre sí las variables binarias por medio de las operaciones básicas: Producto lógico, suma lógica e inversión.

Se representa una función lógica por la expresión $f = f(a, b, c, \dots)$

El valor lógico de f depende de las variables a, b, c, \dots

Se llama termino canónico de una función lógica a todo producto o suma en la cual aparecen todas las variables en su forma directa o inversa. El primero de ellos se le llama producto canónico (minter) y el segundo suma canónica (maxter).

Teorema: Toda función de un Algebra de Boole se expresa en la siguiente forma:

$$f(a, b, c, \dots) = f(1, b, c, \dots) + a f(0, b, c, \dots)$$

$$f(a,b,c,\dots) = [a + f(0,b,c,\dots)][a + f(1,b,c,\dots)]$$

A continuación, se definirán las Funciones de Boole más importantes, desde el punto de vista de los circuitos combinatoriales, y son:

a). Función OR.- Esta función es conocida como suma lógica, reunión, alternación y es una función que se realiza entre dos variables lógicas, denotada como $A + B$ la cual existe, cuando existe alguna de las variables de entrada o ambas. La forma usual de definirla es mediante su tabla de verdad la cual es una forma de representación de una función lógica, en la que se indica el valor 1 ó 0, que toma la función para cada una de las combinaciones posibles de las cuales depende.

Esto es, si se tienen dos variables A y B , se define la función OR denotada por $A + B$, como una función cuya tabla de verdad es:

| A | B | A+B |
|---|---|-----|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |

Tabla 5.3.- Tabla de verdad de la función OR.

b). Función AND.- Esta función es conocida con los nombres de función "Y", producto lógico, conjunto o intersección. Se observa que la función existe sólo cuando las dos variables A y B existen al mismo tiempo. Su tabla de verdad está dada por:

| A | B | A.B |
|---|---|-----|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

Tabla 5.4.- Tabla de verdad para la función AND.

Al observar la tabla, se advierte que la multiplicación AND es exactamente la misma que la multiplicación ordinaria. Siempre que A y B sean 0, su producto es 0; cuando A y B son 1, su producto es 1.

c). **Función Negación.**— La función negación se denomina complemento, función NO, inversor y es denotada por A' (se lee NO -A). Tal que su salida es el valor contrario a A. La tabla de verdad para la función negación es:

| A | A' |
|---|------|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

Tabla 5.5.— Tabla de verdad de la función negación.

d). **Función NOR.**— La función NOR también llamada "o negada", es una función que se denota $(A + B)'$ y cuya tabla de verdad está dada por:

| A | B | $A+B$ | $(A+B)'$ |
|---|---|-------|----------|
| 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 5.6.— Tabla de verdad para la función NOR.

Se observa que la compuerta NOR es la negación de la compuerta OR, la cual puede ser realizada con interruptores eléctricos.

e). **Función NAND.**— Se observa que la función NAND es la negación de la función AND.

Esta función lógica está definida por la tabla de verdad siguiente:

| AND | | NAND | |
|-----|---|-------------|----------------|
| A | B | $A \cdot B$ | $(A \cdot B)'$ |
| 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 5.7.— Tabla de verdad para la función NAND.

f). **Función OR-EXCLUSIVA (XOR).**— Esta función se denota por $A \oplus B$, y existe cuando A existe o B existe, pero no ambas.

La tabla de verdad para esta función es:

| A | B | A+B |
|---|---|-----|
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |

Tabla 5.8.- Tabla de verdad para la función OR-EXCLUSIVA (XOR).

g). Función NOR-EXCLUSIVA.- La función NOR-EXCLUSIVA opera completamente al contrario que el (XOR). La tabla de verdad para esta esta función es:

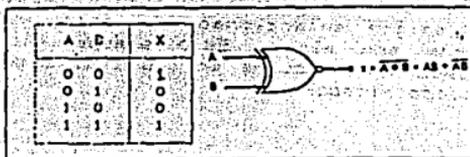


Tabla 5.9.- Tabla de verdad para la función NOR-EXCLUSIVA.

Debe estar claro que la salida del circuito NOR-EXCLUSIVO, es la inversa exacta del circuito (XOR). El símbolo de la compuerta NOR-EXCLUSIVA se obtiene simplemente agregando un pequeño círculo de la salida (XOR).

La compuerta NOR-EXCLUSIVA, se resume como sigue: Sólo tiene dos entradas y su salida es:

$$X = AB + A'B' = (A + B)'$$

Su salida es ALTA sólo cuando las dos entradas están en el mismo nivel.

V.5.- Decodificadores..

Un decodificador tiene tantas salidas cuantas combinaciones de entradas binarias sean posibles.

Los decodificadores de CI pueden utilizar compuertas NAND o NOR en vez de compuertas AND.

En este caso, las salidas son los complementos de los valores enumerados en la tabla de verdad.

La combinación de minterm de las variables de entrada, se distingue entonces por la salida cuyo valor es 0, mientras que todas las demás salidas son iguales a 1.

Es conveniente algunas veces incluir una entrada de habilitación con un decodificador para controlar la operación del circuito.

Un decodificador es un circuito lógico que convierte un código binario de entrada de n bits, en m líneas de salida, tal que cada una de estas líneas de salida sea activada sólo para una posible combinación de entradas. La fig. V.4, muestra el diagrama general del decodificador con n entradas y m salidas. Ya que cada una de las n

entradas puede ser 0 bien 1, 2^n posibles combinaciones o códigos de entrada. Para cada una de estas combinaciones de entrada sólo una de las m salidas será alta, activa; todas las otras serán bajas. Muchos decodificadores están diseñados para producir salidas bajas activas, donde solamente la salida seleccionada es baja, en tanto que todas las otras son altas. Esto siempre lo indica la presencia de pequeños círculos en las líneas de salida del programa del decodificador.

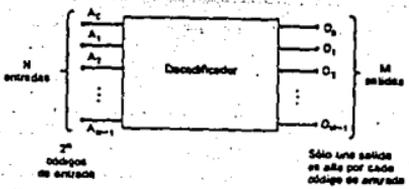


Fig. V.4.- Diagrama general del decodificador.

Algunos decodificadores no utilizan los 2^n posibles códigos de entrada, sino sólo unos cuantos. Por ejemplo, un decodificador de BCD a decimal tiene un código de entrada de 4 bits y 10 líneas de salida que corresponden a 10 grupos de código BCD, del 0000 al 1001. Los decodificadores de este tipo a menudo se diseñan de tal modo que si alguno de los códigos no utilizados se aplican a la entrada, ninguna de las salidas sea activada.

V.6.- Flip-Flop's.

Hay 2 tipos de circuitos secuenciales y su clasificación depende de las señales de tiempo. Un circuito secuencial síncrono, emplea elementos de almacenamiento denominados Flip-Flop's, que se permiten que cambien sus valores binarios, solamente en instantes discretos de tiempo. Un circuito secuencial asíncrono es un sistema cuyas salidas dependen del orden en el cual sus variables de entrada cambian y pueden afectarse en cualquier instante de tiempo. Los sistemas asíncronos de tipo compuerta son básicamente circuitos de combinación con rutas de realimentación. Debido a la realimentación entre las compuertas lógicas el sistema puede, algunas veces, volverse inestable. Los problemas de inestabilidad encontrados en sistemas asíncronos imponen muchas dificultades y por esta razón rara vez son utilizados en el diseño de computadores digitales.

Los sistemas de lógica secuencial síncrona utilizan compuertas lógicas y dispositivos de almacenamiento con Flip-Flop. La sincronización se logra por un dispositivo de tiempo denominado, un generador de pulsos de reloj.

Los pulsos de reloj del generador son distribuidos a través del sistema, de tal manera que los Flip-Flop's, son afectados solamente con la llegada con el pulso de sincronización. Los circuitos secuenciales síncronos de reloj no manifiestan problemas de inestabilidad y su sincronización de tiempo se puede desdoblar fácilmente en pasos independientes discretos, cada uno de los cuales puede considerarse separadamente.

Un Flip-Flop es una celda binaria capaz de almacenar un bit de información, tiene dos salidas, una para el valor normal y otra para el valor complementado del bit almacenado en él. Un Flip-Flop mantiene un estado binario hasta que sea dirigido por un pulso de reloj que conmuta los estados. La diferencia entre los diversos tipos de Flip-Flop's está en el número de entradas que posea y en la manera en la cual las entradas afectan el estado binario. Los tipos más comunes de Flip-Flop's se analizan a continuación.

a). Flip-Flop tipo RS.- El Flip-Flop RS con reloj, que se muestra en la fig. V.5, consiste de una celda básica y dos compuertas adicionales NAND. Las salidas de la compuerta 3 y 4 permanecen en "1" siempre y cuando el pulso de reloj (CP) esté en "0", independiente de los valores de las entradas RS. Cuando el pulso de reloj va a "1" la información de las entradas SR se permite que alcance la celda en las compuertas 1 y 2. El estado SET se alcanza con $S=1$, $R=0$ y $CP=1$. Para cambiar al estado aclarado, las entradas deben ser $S=0$, $R=1$ y $CP=1$. Con $S=0$ y $R=0$, un $CP=1$ no afecta el estado del Flip-Flop. Si SR no puede ser 1 durante la ocurrencia de un pulso de reloj debido a que el estado siguiente del Flip-Flop es indeterminado.

El símbolo gráfico del Flip-Flop RS se muestra en la fig. V.6. Tiene 3 entradas: S, R y CP. La entrada CP se marca con un triángulo, éste es un símbolo para un indicador dinámico y denota el hecho de que el circuito responde a una entrada de transición de 0 a 1. A las salidas del Flip-Flop se les da un nombre variable tal como Q o cualquier otra designación con una letra conveniente. El triángulo rectángulo es un símbolo gráfico para un indicador de polaridad. El designa la salida complementada del Flip-Flop la cual es en este caso Q'.

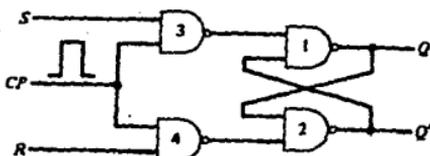
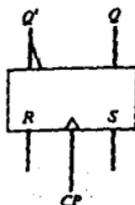


Fig. V.5.- Diagrama lógico de un Flip-Flop RS con reloj.



| S | R | Q(t+1) | Comentario |
|---|---|--------|--------------|
| 0 | 0 | Q(t) | No cambia |
| 0 | 1 | 0 | Aclarar |
| 1 | 0 | 1 | Set |
| 1 | 1 | ? | No permitido |

Fig. V.6.- Flip-Flop RS. Símbolo gráfico y tabla característica.

La tabla característica mostrada en la fig. V.6, resume la operación del Flip-Flop RS en forma tabular. Q(t) es el estado binario del Flip-Flop en un instante dado de tiempo (conocido como el estado presente). Las columnas SR dan los valores binarios de las entradas. Q(t+1) es el estado del Flip-Flop después que ha ocurrido un pulso de reloj (conocido como el estado siguiente). Si S=R=0, un pulso no produce cambio de estado, esto es, Q(t+1)=Q(t). Si S=0 y R=1, el Flip-Flop llega al estado 0 (el estado aclarado).

Si S=1 y R=0 el Flip-Flop llega al estado 1 (el estado SET). Un Flip-Flop RS no debe ser pulsado cuando S=R=1 puesto que produce un estado siguiente indeterminado.

b). Flip-Flop tipo D.- El Flip-Flop D (dato) es una modificación ligera del Flip-Flop RS. Un Flip-Flop RS, se convierte a un Flip-Flop D insertando un inversor entre S y R, y asignándole el símbolo D a la entrada S. La entrada D es muestreada durante la ocurrencia de un pulso de reloj y si éste es 1, el Flip-Flop alcanza el estado 1 (debido a que $S=1$ y $R=0$). Si él es 0, el pulso cambia al estado del Flip-Flop a 0 (debido a que $S=0$ y $R=1$). El símbolo gráfico y la tabla característica del Flip-Flop D se muestran en la fig. V.7. Nótese que no existe condición de entrada que deje el estado del Flip-Flop sin cambiar. Aunque un Flip-Flop D, tiene la ventaja de tener solamente una entrada (excluyendo CP), tiene la desventaja de que su tabla característica no tiene una condición de "no cambio", $Q(t+1)=Q(t)$. El "no cambio" puede lograrse bien deshabilitando los pulsos de reloj con una compuerta externa AND o alimentando la entrada de nuevo hacia la salida de tal manera que los pulsos de reloj mantengan el estado del Flip-Flop sin modificar.

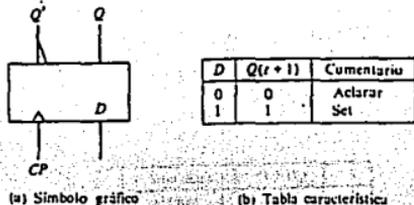


Fig. V.7.- Flip-Flop tipo D. Símbolo gráfico y tabla característica.

c). Flip-Flop's tipo(s) JK y T.- Un Flip-Flop JK es un refinamiento de un Flip-Flop RS en la condición intermedia del tipo RS está definida en el tipo JK. Las entradas J y K se comportan como un conjunto de entradas S y R para hacer el SET y el aclaramiento del Flip-Flop, respectivamente. Cuando las entradas J y R son iguales a 1, un pulso de reloj conmuta las salidas del Flip-Flop a su estado complementario, $Q(t+1) = Q'(t)$. El símbolo gráfico y tabla característica del Flip-Flop JK se muestran en la fig. V.8.

Nótese que la entrada J es equivalente a la condición SET, mientras que la entrada K produce la condición de aclaramiento. Además hay condiciones de "no cambio" y complementarias en este tipo de Flip-Flop.

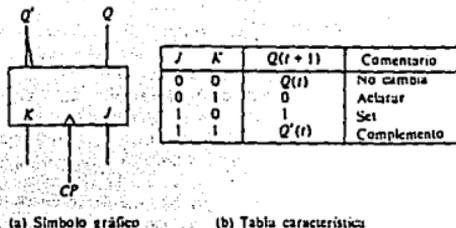


Fig. V.8.- Flip-Flop tipo JK. Símbolo gráfico y tabla característica.

Otro tipo de Flip-Flop es el denominado T (toggle). Este Flip-Flop mostrado en la fig. V.9, se obtiene de un tipo JK cuando las entradas J y K se conectan juntas. El Flip-Flop T, por consiguiente, tiene solamente dos condiciones. Cuando $T=0$ ($J=K=0$), un pulso de reloj no cambia el estado del Flip-Flop. Cuando $T=1$ ($J=K=1$), un pulso de reloj complementa el estado del Flip-Flop.

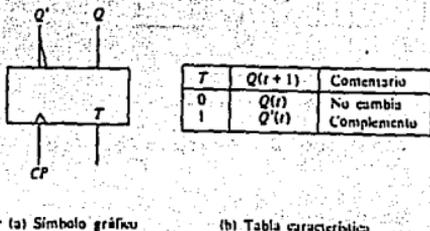


Fig. V.9.- Flip-Flop tipo T. Símbolo gráfico y tabla característica.

V.7.- Registros de corrimiento y Contadores.

Como es de esperar, la mayoría de las aplicaciones del circuito secuencial requiere el almacenamiento de más de un bit binario de información.

En general, la capacidad de almacenamiento de información de un circuito secuencial se refleja en el número de Flip-Flop's que contiene. Por lo tanto, un circuito secuencial típico contendrá varios Flip-Flop's.

En los registros de corrimiento y contadores, la correspondencia de uno a uno entre el número de Flip-Flop's y la capacidad de almacenamiento de información es especialmente evidente.

En una computadora digital, las instrucciones se almacenan casi siempre en ubicaciones secuenciales de la memoria. Para controlar la secuencia del programa, la computadora utiliza un contador de instrucciones. Al principio del programa (PC), los contenidos del contador se ajustan a la dirección de la primera instrucción. Conforme se ejecuta cada instrucción, el contador se incrementa en 1, cambiando así la dirección a la de la siguiente instrucción.

Aunque los contadores se pueden diseñar utilizando cualquier tipo de Flip-Flop, el que se entiende más fácilmente es el funcionamiento de un contador de Flip-Flop de disparo. En la fig. V.10, se ilustra un contador de módulo 16. El término módulo 16, significa que el contador cuanta de 0 a 15 y, luego, se regresa a 0. En algunas ocasiones, la mayoría de los contadores tendrán que restaurarse a cero o fijarse a un valor inicial específico.

Además de contar, el contador almacena también el conteo corriente, dentro de los intervalos comprendidos entre los pulsos de entrada. En general, se conoce como registro cualquier conjunto de Flip-Flop's usados para almacenar los bits relacionados de información. De donde, un contador puede denominarse registro de conteo. A menudo, se emplea un registro para ensamblar y almacenar información que llega de una fuente en serie.

Los contadores son sistemas secuenciales con una entrada de impulsos, cuyo estado interno en cada instante representa el número de impulsos que se han aplicado a aquéllas. El número de estados internos ha de ser igual al máximo número de impulsos que se desean contar, más uno que será el estado inicial, el cual indicará la ausencia de impulsos. Para la realización de los contadores se utilizan los elementos biestables sincronizados por flancos que poseen dos estados internos.

Los parámetros más importantes de los contadores son los siguientes:

1.- Frecuencia máxima de los impulsos que pueden contar.- Depende de la tecnología utilizada en la realización de los biestables y las puertas lógicas que constituyen el contador. Dicha tecnología fija el tiempo de conmutación de aquéllos y el tiempo de propagación de éstas.

Estos parámetros han tenido una gran evolución y para conocer en cada momento los valores reales, es necesario recurrir a los manuales de los fabricantes.

2.- Código de contaje.- El código binario de contaje de impulsos puede ser cualquiera de los muchos existentes. Los más utilizados son el binario natural y el decimal codificado en binario natural (BCD natural).

Cuando la capacidad de integración de los fabricantes sólo había alcanzado el nivel de puerta o biestable era necesario realizar el diseño de los contadores mediante interconexiones de los citados elementos.

El desarrollo de las técnicas de integración ha permitido la fabricación de circuitos integrados monolíticos complejos que contienen contadores que realizan el conteo.

3.- Capacidad de conteo.- Es el mayor número de impulsos que han de ser contados por el sistema. Este parámetro fija el número de elementos biestables que se han de utilizar. Si se llama n al número de impulsos que se han de contar, el número de biestables necesarios m , ha de cumplir la relación:

$$2^{m-1} < n \leq 2^m$$

4.- Modo de operación.- Los contadores síncronos o asíncronos según su modo de operación que corresponda a un sistema secuencial síncrono o síncrono asíncronizado, respectivamente.

Los contadores síncronos son aquellos en los que todas las variables de estado cambian simultáneamente, para lo cual se aplican los impulsos de conteo a la entrada T de todos los biestables. La máxima frecuencia de operación de estos contadores es igual a la de los biestables utilizados en su relación. Los contadores asíncronos son aquellos en los que las variables de estado interno no cambian simultáneamente. Los impulsos que se desean contar no se aplican a la entrada T de todos los biestables sino, en general, sólo a la del primero, y la entrada T de los demás biestables es gobernada por las salidas de los que les preceden. Por tanto, para cambiar de un estado interno a otro no adyacente cuando se aplica un impulso al contador, éste pasa por una serie de estados intermedios. Las principales diferencias entre los contadores síncronos y asíncronos son las siguientes:

a). La máxima frecuencia de operación de los contadores síncronos es superior a la de los asíncronos porque, antes de aplicar a la entrada de estos un nuevo impulso, es necesario que todos los biestables hayan cambiado de estado.

b). Los contadores asíncronos son menos complejos que lo síncronos, porque el número de puertas que se utilizan para controlar las entradas de los biestables es menor.

c). Los contadores asíncronos presentan el problema de la aparición de impulsos aleatorios en la decodificación de sus estados.

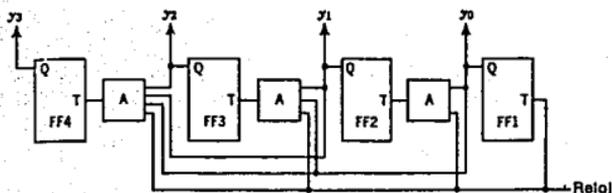


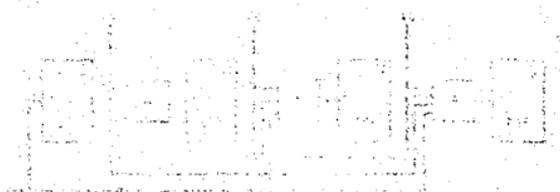
Fig. V.10.- Circuito Flip-flop de disparo.

V.8.- Memorias.

Una ventaja importante de los sistemas digitales sobre los analógicos es la capacidad de almacenar fácilmente, grandes cantidades de información digital por períodos de tiempo cortos o largos. Esta capacidad de memoria es la que hace de los sistemas digitales tan versátiles y adaptables a muchas situaciones. Por ejemplo, en una computadora digital la memoria central interna almacena instrucciones que indican a la computadora qué hacer en todas las circunstancias posibles, de tal manera que la computadora haga su trabajo con una mínima cantidad de intervención humana.

Los registros de los Flip-Flop's son elementos de memoria de alta velocidad que se usan extensamente en las operaciones internas de una computadora digital, donde la información digital se desplaza en forma continua de una localidad a otra. Adelantos de la tecnología LSI y VLSI han hecho posible obtener grandes números de bistables en un sólo integrado dispuestos en diversos formatos de arreglo de memoria. Estas memorias son los dispositivos especializados más veloces de que se dispone y su costo ha venido disminuyendo continuamente a medida que se mejora la tecnología de los LSI.

El análisis de los diferentes tipos de memoria(s) que son utilizados en un sistema digital, se hará en el capítulo ó, correspondiente a Sistemas Electrónicos, en el inciso específico a μP . Estos tipos son: RAM, ROM y PLA (analizados en sus diferentes configuraciones).



VI.1.- Microprocesadores, su Arquitectura: CPU, Memoria, Canales de Datos y de Control y de Direccionamiento de memoria, puertos y registros.

La introducción del μP , ha significado una verdadera revolución en el campo del diseño industrial, y es de preveer un mayor impacto todavía en el desarrollo de nuevos sistemas más potentes y la reducción de costos de fabricación debido a la rápida evolución tecnológica en este campo. El μP aparece en la cuarta generación de ordenadores, marcada por la utilización de tecnologías de alta escala de integración (LSI), que ha hecho posible el desarrollo de los Circuitos Integrados (CI), que componen un sistema μ Computador, a saber:

- 1.- μP (autómatas programables complejos).
- 2.- Memorias de semiconductores de gran capacidad y bajo costo.
- 3.- Circuitos de soporte (interfases, controladores, etc) compactos y versátiles.

La utilización de sistemas basados en μP , desplaza a la lógica cableada y a sistemas programables más complejos hacia otros márgenes de utilización, a la vez que posibilita la introducción de la electrónica en general, y la informática en particular, en nuevos campos de aplicación. Respecto a la sustitución de sistemas de lógica cableada por μ Computadoras, éste presenta las siguientes ventajas:

- 1.- El μP puede reemplazar un número elevado de circuitos integrados, lo cual representa ventajas en cuanto a facilidad y modularidad del diseño, reducción de costos, aumento de fiabilidad por el menor número de elementos e interconexiones y disminución del consumo.
- 2.- El sistema resultante es más flexible, por lo que permite más opciones y/o modificaciones a la vez que posibilita futuras expansiones del sistema.
- 3.- Se puede trabajar con estructuras de información más desarrolladas, las operaciones aritméticas y lógicas pueden ser más complejas y sobre palabras de longitud variable, y se aumenta la capacidad de decisión del sistema.
- 4.- Se posibilita el soporte de un sistema de entrada y salida potente en cuanto a número y diversificación de accesos.
- 5.- Se simplifica la diagnosis de fallas, las reparaciones y el mantenimiento.
- 6.- Permite concebir sistemas de una forma modular y estructurado.

7.- Se reduce el período de desarrollo y comercialización del equipo.

La operación adecuada de un μP , requiere que se presenten ciertas señales de control y tiempo para lograr funciones específicas, y que otras señales de control sean medidas para determinar el estado del μP . Un conjunto típico de líneas de control disponibles en la mayoría de los μP se muestra en la fig. VI.1. Para complementar el diagrama, se muestra también el bus de datos, el bus de direcciones y la terminal de entrada de fuente de poder a la unidad. Las necesidades de potencia de un μP particular se especifican por el nivel de voltaje y consumo de poder que debe suministrarse para operar el CI.

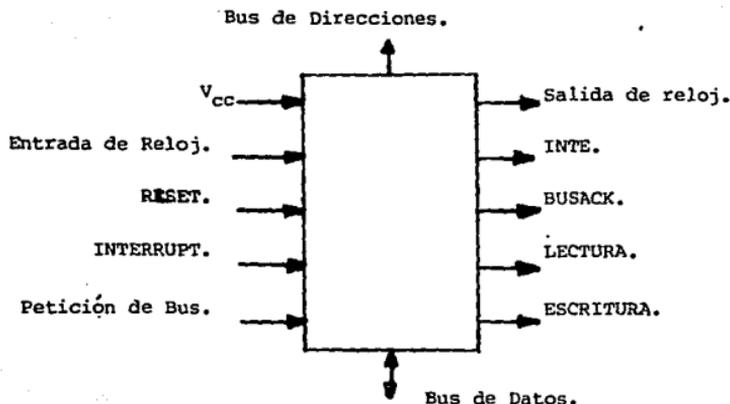


Fig. VI.1.- Conjunto típico de señales de control de un μP .

El terminal de entrada del reloj es usado por el μC para generar pulsos de reloj multifase y producir secuencias de tiempo y control para las funciones internas. Algunos μP requieren un generador externo de pulsos de reloj para producir los pulsos. En este caso el reloj de salida lo produce el generador de reloj, en vez del μP en sí, pero requieren un cristal externo o circuito para controlar la frecuencia del reloj. Los pulsos de reloj son usados por los módulos externos para sincronizar sus operaciones con las operaciones del μP .

El terminal de puesta a cero o RESET, se usa para reposicionar o iniciar el μP después de haber activado la potencia o en cualquier momento en que el usuario quiera comenzar el proceso desde el principio. El efecto de la señal de puesta a cero es iniciar el μP , forzando una dirección hacia el contador del programa.

El programa comienza la ejecución con la primera instrucción en esa dirección.

La manera más simple de iniciar una puesta a cero es borrar el contador del programa y comenzar el programa desde la dirección cero. Algunos μP responden a la señal de puesta a cero transfiriendo el contenido de un lugar de memoria específico al contador del programa.

La requisición de interrupción INTERRUPT al procesador, viene de un módulo de interconexión para informar al μP que esté listo para transferir la información. Cuando el μP recibe una requisición de interrupción, suspende la ejecución del programa corriente y se bifurca a un programa que sirve de módulo de interconexión. Al completar la rutina de servicio, el computador regresa al programa previo. La facilidad de interrupción se incluye para producir un cambio en la secuencia del programa como resultado de las condiciones externas.

El terminal de entrada de requisición de bus BUS REQUEST, es una solicitud al μP para suspender su operación, y llevar todos los buses a su estado de mayor impedancia. Una vez reconocida la solicitud, el μP responde habilitando una línea de salida de control de garantía de bus. Así, cuando un dispositivo externo desea transferir la información directamente a la memoria, éste solicita que el μP abandone el control del bus común. Una vez que el bus sea inhabilitado por el μP , el dispositivo que originó la solicitud, toma control sobre el bus de direcciones y datos para conducir las transferencias de memoria sin la intervención del μP , esta característica se le llama Acceso Directo de Memoria (DMA).

Lectura y escritura, son líneas de control que informan el componente seleccionado por el bus de direcciones de la dirección de transferencia esperada en el bus de datos. La línea de lectura informa a la unidad seleccionada que el bus de datos está en el modo de entrada y que el procesador aceptará datos del bus de datos. La línea de escritura indica que el μP está en el modo de salida, y que los datos válidos están disponibles en el bus de datos. Cuando los buses están inhabilitados, las dos líneas de control estarán en el estado de alta impedancia; así la unidad externa que controla los buses puede especificar las operaciones de lectura y escritura. Existen otras posibilidades para el control de los buses. El bus de direcciones puede ser controlado con una línea adicional para indicar si la dirección es para una palabra de memoria o para una unidad de interconexión. Otra posibilidad es combinar las líneas de control de lectura y escritura en una línea que se denomina R/W. Cuando esta línea es "1" lógico indica la operación lectura, y "0" lógico cuando se trata de escritura. Una segunda línea es necesaria para controlar cuándo una dirección válida está en el bus de direcciones de manera que los componentes externos respondan a la línea R/W solamente cuando se solicita una dirección válida.

La Unidad Central de Proceso (CPU), es el sistema principal de un μ Computador, ya que es el elemento capaz de interpretar las instrucciones y coordinar su ejecución. La UPC está constituida por tres subsistemas funcionales que son:

1.- Unidad Lógica-Aritmética (ALU) : Es el elemento calculador del sistema capaz de realizar operaciones lógicas (AND, OR, XOR, etc.) y aritméticas (suma, resta, etc.).

2.- Unidad de Control (UC) : Es el elemento controlador del flujo de información (instrucciones y datos), en el sistema. Las funciones de la Unidad de Control son:

- a). Búsqueda de instrucciones en memoria.
- b). Decodificación, interpretación y ejecución de las instrucciones.
- c). Control de la secuencia de ejecución.
- d). Reconocimiento de señales de control externas; entre ellas interrupciones, petición de acceso directo a memoria, órdenes de paro, espera, inicialización, etc.

3.- Generador de reloj. Estos tres subsistemas, están total o parcialmente integrados en un sólo circuito LSI, que se denomina μ P.

Según el tipo de μ P utilizado, se precisará de más o menos arquitectura o "hardware" externo para formar una UPC completa. La tendencia de los modernos μ P es la de integrar todas las funciones de la UPC en un sólo CI. La estructura interna de la UPC, presenta variaciones notables al considerar distintos μ P, por lo que es difícil definir una estructura, no excesivamente simplificada, que se acerque a las distintas alternativas que se han desarrollado. Además de la unidad de cálculo, sistema decodificador de instrucciones y circuitos temporizadores, se encuentran en la UPC un conjunto de registros internos, en cantidad y con prestaciones variables según la UPC considerada:

a). MAR : Registro de direcciones. Contiene la dirección de la palabra de memoria (o acceso de E/S) seleccionado para una transferencia.

b). PC : Contador de programa. Contiene la dirección de la instrucción en curso.

c). IR : Registro de instrucción. Memoriza el código de la operación de la instrucción que se está ejecutando.

d). MDR : Registro de datos de entrada y salida de la UPC.

e). AC : Acumulador. Es el registro base en operaciones aritméticas y lógicas. En general, es también registro fuente y destino de transferencias con memoria y sistema de E/S. Existen máquinas con más de un acumulador.

f). SR : Registro de estado. Está formado por un conjunto de biestables distribuidos por la UPC y que se pueden tratar de una forma conjunta y/o individualmente.

Indican condiciones aritméticas (acarreo, desbordamiento, resultado cero, condiciones de comparación, paridad, etc.) y de estado (máscaras de interrupción, peticiones pendientes, etc.).

g). SP : Puntero de "stack". Utilizado para la gestión del "stack" (pila LIFO), en máquinas que permiten esta estructura.

h). Registros de utilización general. Son registros internos, accesibles por programa, para el almacenamiento temporal, punteros de memoria, registros de índice, etc.

i). Registros auxiliares para uso interno de la UPC (almacenamiento temporal) y no accesibles al programador.

Todo sistema con μP precisa de memoria para:

- 1.- Almacenar las instrucciones que forman el programa.
- 2.- Almacenar datos y resultados intermedios.

La memoria está organizada en palabras, cada una con una única dirección. La longitud de palabra, en general, es la misma que la del μP y bus de datos. Los sistemas basados en μP deben ser compactos y baratos, por lo que la organización de memoria en cuanto a eficiencia, cobra una vital importancia. Las aplicaciones de los μP son típicamente de carácter dedicado, es decir el programa es fijo y está grabado en memorias no volátiles y de acceso sólo para lectura.

Las memorias de semiconductores de acceso aleatorio se fabrican utilizando diversas tecnologías (TTL, STTL, PMOS, NMOS, CMOS, I²L, ECL, etc.), con características distintas en tiempos de acceso, posibilidades de integración y consumo. Las memorias de sólo lectura (ROM) se utilizan en μC para almacenar programas, tablas y constantes. Existen también los circuitos de memoria construidos aplicando la tecnología de circuitos integrados de muy grande escala (VSLI). Esta tecnología permite la fabricación, sobre un sólo μ circuito de silicio, de circuitos de complejidad mayor que el equivalente de 1000 compuertas lógicas. Los μP dieron un nuevo ímpetu al desarrollo de los circuitos VSLI: Ellos requieren de memoria en la que pueda residir un programa, y debido a que la memoria se puede realizar con μ circuitos que tengan una estructura altamente regular, en el bloque funcional más adecuado para la implementación con los VSLI.

Las estimaciones actuales indican que para 1993, el mercado de los circuitos de μP y de memoria alcanzarán casi 3.5 billones de dólares por año.

Un sistema de cómputo, requiere un sistema de memoria para almacenar datos e instrucciones de programa. Además dentro de un sistema de computación dado, existen por lo general diferentes tipos de memoria que utilizan una variedad de tecnologías y que tienen diversos tiempos de acceso.

a). Memoria de Acceso Aleatorio (RAM).- La memoria principal es usualmente la memoria accesible con mayor rapidez y la misma de donde la mayoría, a veces todas, las instrucciones en los programas son ejecutadas. La memoria principal es por lo general del tipo de acceso directo. Una memoria de acceso directo (RAM) es aquella en la que el tiempo que se requiere para almacenar (escribir) información y para recuperar (leer) información, es independiente de la localización física (dentro de la memoria) en donde se almacena la información.

La construcción de una RAM de m palabras por n bits por palabra, consiste de $m \times n$ celdas de almacenamiento binario y la lógica asociada para seleccionar las palabras individuales. La celda de almacenamiento binario es el bloque básico de construcción de una unidad de memoria. La celda binaria tiene 3 entradas (Entrada, Selección y Lectura/Escritura) y una salida (Salida). La entrada de selección habilita la celda para lectura o escritura. Las entradas de lectura/escritura determinan la operación de la celda cuando esta es seleccionada. Un "1" lógico en la entrada de lectura/escritura, forma un camino al terminal de salida. La información en el terminal de entrada se transfiere cuando el control de lectura/escritura es "0" lógico.

Las memorias de CI tienen algunas veces una sola línea para el control de lectura/escritura. Un estado binario en la sola línea especifica una operación de lectura y el otro estado una de escritura. Además, se incluyen una o más líneas de habilitación para suministrar medios de seleccionar el CI y para expandir varias pastillas a una unidad de memoria con un gran número de palabras.

Las RAM son volátiles, es decir, la información almacenada se pierde si falla la alimentación del sistema. Si es preciso salvar la información en caso de fallo de tensión se deberá disponer de un sistema de baterías para alimentación de la RAM. En este caso las RAM de tecnología CMOS, son especialmente útiles por su bajo consumo. Existen dos tipos de memoria RAM de acceso aleatorio:

1.- RAM estáticas: La información se almacena en un bistable, de forma que el contenido se mantiene mientras haya alimentación.

2.- RAM dinámicas: La información se mantiene en forma de carga en la capacidad puerta-sustrato de un transistor MOS. Esta carga se disipa con el tiempo (del orden de milisegundos), por lo que es necesario un "refresco" periódico consistente en un ciclo de lectura/escritura en cada bit de memoria, realizado de forma paralela con todos los bits de una misma columna a la vez.

La principal desventaja de las memorias dinámicas, es la necesidad de disponer de un circuito de refresco externo, en general complejo. Esta desventaja va desapareciendo al irse desarrollando CI de memoria dinamica con circuitos de control de refresco incorporado. Las ventajas de la memoria dinámica, es que permiten una mayor densidad de integración, al precisar menos transistores por célula elemental de memoria, por lo que son más baratas que las RAM estáticas de la misma capacidad y consumen menos potencia.

b). Memoria de Solo Lectura (ROM).- Las memorias ROM, permiten leer a las mismas velocidades de las memorias de lectura/escritura, pero restringen la operación de lectura. Estrictamente hablando, se intenta que las ROM se escriban sólo una vez, al tiempo de su fabricación. Sin embargo, existe un tipo de ROM que se puede escribir (programar) en el campo por el propio usuario. Estas ROM programables (o PROM), pueden programarse una vez tan sólo.

Existe aún un tipo de ROM que puede borrarse y reprogramarse tantas veces como se desee. Se le conoce como ROM programable/borrable (EPROM), y es decididamente el tipo más versátil de ROM. Las EPROM son en la actualidad muy populares en sistemas de μP en los que se usan para almacenar el programa del sistema operativo del μP . Las ROM se utilizan también en una variedad de operaciones que requieren la consulta de tablas, como es encontrar los valores de funciones trigonométricas.

Una ROM es esencialmente un dispositivo (o acumulador) de memoria, en el cual se almacena un conjunto fijo de información binaria. La información binaria debe especificarse por el usuario y luego enclavarse en la unidad para formar el patrón de interconexión requerido. Las ROM vienen con enlaces internos especiales que pueden estar fusionados o abiertos. La interconexión deseada para una aplicación particular requiere que ciertos enlaces estén fusionados para formar los caminos del circuito necesarios. Una vez que se establezca un patrón para una ROM, éste permanecerá fijo aunque se haga un corte de corriente y luego se reestablezca. El bloque de memoria de ROM consiste específicamente de n líneas de entrada y de m líneas de salida. Cada combinación de bits de las variables de entrada se llama una dirección. Cada combinación de bits de salida se denomina palabra.

El número de bits por palabra es igual al número de líneas de salida m . Una dirección es esencialmente un número binario que denota uno de los términos mínimos de n variables.

Internamente, la ROM es un circuito combinacional con compuertas AND conectadas como decodificador y un número de compuertas OR igual al número de salidas de la unidad. La ROM es una configuración de dos niveles en forma de suma de términos mínimos. No tiene que ser una configuración AND-OR, pero puede ser cualquier otra posible configuración de términos mínimos de dos niveles. Las ROM tienen muchas aplicaciones importantes en el diseño de sistemas de computadoras digitales. Su uso para la configuración de circuitos combinatoriales complejos es justamente una de esas aplicaciones.

Las necesidades de comunicación en un sistema μC aparecen a tres niveles distintos:

1.- Comunicación entre elementos constituyentes de un CI.- Este sistema de comunicación constituye los buses internos, de estructura más o menos distinta para cada UPC considerada.

2.- Comunicación entre los distintos subsistemas del μC , UPC y Entrada/Salida.- El conjunto de las vías para este tipo de comunicación forman los buses externos, en general de carácter síncrono.

3.- Comunicación con periféricos.- Esta comunicación, es a nivel de Sistema Entrada/Salida con periférico. El conjunto de líneas de transmisión forman los buses periféricos, en general de carácter asíncrono.

La información desde o hacia la UPC, y otros subsistemas puede ser de tres tipos: Direcciones, datos y control; por lo que funcionalmente se denominan tres tipos de buses en el μC , aunque no estén físicamente siempre separados, ya que pueden estar multiolexados en el tiempo sobre líneas comunes. De manera operativa, los buses se pueden clasificar en:

1.- Bus de direcciones: Son líneas de la UPC a memoria y sistema de Entrada/Salida, que sirven para enviar la dirección del elemento seleccionado para una transferencia.

Estas líneas serán siempre gobernadas por la UPC, salvo en el caso de transferencias por Acceso Directo a Memoria (DMA). Pueden compartir total o parcialmente las líneas físicas con el bus de datos.

2.- Bus de datos: Son líneas bidireccionales (o dos buses unidireccionales independientes) para el envío de información (instrucciones y datos), entre subsistemas. Su anchura, en general, es la longitud de palabra del μP .

3.- Bus de control: Son líneas de entrada o salida de la UPC, de órdenes o de información de estado, que permiten coordinar la operación de todo el sistema. Este bus presenta variaciones notables de un μP a otro. Existen dos tendencias en cuanto a su realización física:

a). Dar más señales de control elementales, que pueden estar codificadas, y que deben ser interpretadas temporalmente respecto al estado en que se producen en cada ciclo de máquina. Esta estructura se observa principalmente en μP de las primeras generaciones.

b). Dar un conjunto de señales completo y de multiplexado a las de memorias y periféricos, y para que respondan de una forma pasiva, por lo que no son precisos circuitos especializados para la decodificación de las señales de control.

Un registro, es un conjunto de elementos de información relacionados entre sí, que se tratan como unidad; o bien un dispositivo capaz de almacenar una cantidad específica de datos. Los registros de un computador digital pueden ser clasificados del tipo operacional o de almacenamiento de información en sus Flip-Flop's, y además tiene compuertas combinatoriales capaces de realizar tareas de procesamiento de datos. Un registro de almacenamiento se usa solamente para guardar temporalmente la información binaria y ésta no puede ser alterada cuando se transfiere hacia adentro y hacia afuera del registro. Además, un sistema digital se define por los registros que contiene y las operaciones que hace con la información binaria almacenada en ellos, el número de operaciones diferentes de un sistema dado es finito. La complejidad para el diseño es una secuencia de operaciones para lograr la tarea necesaria de procesamiento de datos. Esta abarca la formulación de las funciones de control o el desarrollo del μ programa. Un sistema digital puede ser construido por medio de los circuitos MSI, tales como: Registros, decodificadores, ALU, memoria y multiplexores. Algunos sistemas digitales son adecuados por el diseño LSI con componentes tales como la UPC, el secuenciador de μ programa y la unidad de memoria. Estos sistemas pueden ser μ programados para adecuarse a especificaciones requeridas y el método del μ programa opera a nivel de transferencia entre registros y debe especificar cada operación en el sistema.

El sistema de Entrada/Salida permite la comunicación del μC con el mundo exterior. Debido al tipo de aplicaciones en las que son utilizados los μP , la capacidad y eficiencia en el tratamiento del sistema E/S es una de las características principales de un sistema μC .

Se denomina interfase al sistema "hardware-software", que permite la comunicación con un periférico determinado; es decir, el conjunto de circuitos (hardware) y programas (software) que se utilizan para establecer la comunicación.

La forma concreta de realizar una interfase, dependerá de las alternativas que se consideren. En principio dentro del balance "hardware-software", se deberá potenciar el "software" ya que, en general, el incremento en costo de memoria es inferior al incremento del "hardware" preciso para realizar la misma función, además de la mayor flexibilidad que permite el "software". En otros casos, esta afirmación no estará justificada ya que el costo de programación puede ser decisivo. Por otra parte, las tareas de Entrada/Salida pueden consumir excesivo tiempo de máquina, por lo que se puede utilizar circuitería externa, compleja y especializada, a fin de posibilitar la ejecución de estas tareas u otras de proceso que no se podrían ejecutar si el μP tuviese que hacerse cargo de toda la gestión y control de las operaciones de transferencia.

Una pastilla de interconexión es un componente LSI que provee el enlace de interconexión entre un μP y un dispositivo E/S. Cuando está en el modo de salida de datos, la interconexión recibe los bits del bus de datos al ritmo y modo de transferencia del μP , y la transmite a un dispositivo externo al ritmo y modo de transferencia del dispositivo. La interconexión se comporta de manera similar en el modo de entrada de datos, excepto que la dirección de transferencia está en la dirección opuesta. Una interconexión consiste de un número de registros, lógica de selección y circuitos de control que configuran las transferencias requeridas. La lógica de interconexión se incluye a menudo dentro de una pastilla RAM o ROM, para proporcionar un componente LSI que incluya condiciones de memoria e interconexión dentro de un CI. La mayoría de los componentes LSI pueden ser programados para acomodar una variedad de combinaciones de modos de operación. El μP por medio de instrucciones de programa, transfiere un byte a un registro de control dentro de la unidad de interconexión. Esta información de control coloca la interconexión en uno de los modos posibles disponibles para un dispositivo particular, al cual está unida.

Cambiando el byte de control es posible cambiar las características de la interconexión. Por esta razón las unidades de interconexión LSI se llaman programables. Las instrucciones que transfieren la información de control a una interconexión programable son incluidas en un programa de μC , y pueden iniciar la interconexión para un modo particular de operación.

Los fabricantes de μP complementan sus productos con un conjunto de pastillas de interconexión adecuadas para la comunicación entre el μP y una variedad de dispositivos de Entrada/Salida normalizados. Los componentes de interconexión se diseñan usualmente para operar con un bus del sistema μP particular sin ninguna lógica adicional diferente de la decodificación de direcciones. Hay una variedad de componentes de interconexión de uso comercial y cada uno puede ser clasificado en una de las siguientes cuatro categorías:

1.- Una interconexión periférica en paralelo, transfiere datos entre el μP y el(los) dispositivo(s) periférico(s).

2.- Una interconexión de comunicación en serie, convierte los datos en paralelo del μP a datos en serie para la transmisión y convierte los datos en serie entrantes a datos en paralelo para ser recibidos por el μP .

3.- Una interconexión dedicada especial es construida para comunicarse con un dispositivo particular de E/S o puede ser programada para operar con un dispositivo particular.

4.- Una interconexión de Acceso Directo de Memoria (DMA), se usa para transferir datos directamente entre un dispositivo externo y la memoria. Los separadores del bus en el μP , son inhabilitados y pasan al estado de alta impedancia durante la transferencia DMA.

VI.2 Funcionamiento General de los μP y sus Aplicaciones en los Sistemas Industriales de Producción, Control de Máquinas-Herramienta.

En la selección de un μP , dado que el problema está definido, las diferencias más notorias estarán en la arquitectura. La aplicación (potencia, tamaño del circuito, etc.), y los niveles necesarios de funcionamiento exigen casi siempre cierta(s) arquitectura(s); y no se olvide que la selección de diferentes tipos de μP afectará en gran medida al tipo de diseño. Un μP con una familia de CI de apoyo compatible representa una tarea de diseño relativamente sencilla en comparación con un μP de rebanada de bits programado. debe recordarse esto cada vez que se escoja una arquitectura en particular.

Los sistemas basados en μP ofrecen una gran flexibilidad para adaptar los sistemas de fabricación a la demanda del mercado continuamente cambiante y para optimizar estos sistemas cuando la producción aumenta.

Cuando la proliferación de aplicaciones en los últimos años es asombrosa.

Actualmente se ha cubierto un amplio espectro que parece no tener límites, que abarca las telecomunicaciones, la industria, productos de consumo, el comercio, la instrumentación y los ordenadores. Dentro de este espectro de aplicaciones se pueden citar sistemas tan variados como el control de procesos, control numérico, procesos de palabras, controladores de comunicación, terminales inteligentes, sistemas de venta, juegos electrónicos, juguetería, calculadoras de bolsillo, instrumentos autocalibrados, control de automóviles etc...

Los μC han expandido las capacidades de los productos tradicionales y han creado mercados completamente nuevos.

Los diseñadores de equipos industriales prefieren μP porque pueden ser adaptados a tareas que anteriormente sólo podían ser resueltas con mini-computadores. Los diseñadores de equipos de comunicaciones son entusiastas de los μP porque su flexibilidad les permite resolver los problemas que presentan los cambios continuos en las especificaciones de los MODEM Y multiplexores.

Los diseñadores de instrumentos de medida están utilizando los μP como componentes base para producir una familia de instrumentos "inteligentes" que pueden, no sólo medir datos, sino además reaccionar en función de estos datos. Los fabricantes de μC ven también en los μP los componentes ideales para interconectarlos a otros módulos de tecnología TTL. La disponibilidad en el mercado de μP potentes y de bajo costo está empujando la transición hacia una distribución eficiente de la potencia-control. Están apareciendo sistemas jerárquicos de ordenadores de las fabricas. Los μP realizan tareas dedicadas bajo el control de los minis, y estos complejos sistemas de minis y μP se conectan a grandes ordenadores centrales. Así también, el μP está haciendo posible que los fabricantes de equipos de control de procesos se orienten hacia la fabricación de ordenadores. En el mundo industrial están influyendo poderosamente en la decisión-dilema (compramos o hacemos), que se plantea al diseñador de un nuevo sistema. La importancia de los μP en la industria podría resumirse diciendo que en los próximos años que no hayan incorporado μP en sus nuevos productos estarán dedicados a una aplicación muy especial o habrán dejado de ser competitivas en el mercado.

La aplicación del μP en un proceso industrial, es en sí, la automatización de los procesos que realizan dentro de la industria, llevándose a cabo con mayor rapidez y precisión. En la actualidad casi todos los procesos son desarrollados por un μP , ya que su uso representa grandes ventajas a la industria como son:

Dentro de los cuatro campos en los que se prevee el mayor consumo de μC de 32 bits: automatización industrial, aplicaciones científicas, automatización de gestiones y telecomunicaciones.

Existen unos sectores concretos en los que se implantará rápidamente, de cuatro maneras generalizadas y son:

- 1.- Robótica y visión artificial.
- 2.- CAD/CAM/CIM.
- 3.- Sustitución de μC por sistemas de redes multiusuario.
- 4.- Reconocimiento del lenguaje natural.
- 5.- Centrales telefónicas avanzadas.

Los incisos anteriores, se basan en las siguientes características:

- 1.- Rapidez en sus procesos.
- 2.- Flujo de información.
- 3.- Precisión en los cálculos.

Dentro de las aplicaciones de tipo industrial, más comunes, se pueden destacar las siguientes:

1.- Industria Metalúrgica.- La compañía Varitel Inc. de California, ha construido sistemas controlados por μP para el trabajo de metales (trenes de laminación, grandes prensas y plegadoras de metal). Hasta ahora, las grandes prensas necesitaban un control numérico con un diseño especializado, debido a las grandes diferencias que existen en los tamaños y los tipos de las piezas que éstas máquinas deben producir. Se estima que si en vez de hacer el control de éstas por lógica cableada se emplea un μP , el tiempo de diseño se puede reducir en un 70%. Para programar el IMP-16 utilizado por la compañía Varitel Inc., el operador ejecuta el mecanizado gobernando los controles manualmente. Dos convertidores A/D (uno lineal y el otro angular) miden los desplazamientos de la herramienta y esta información se graba en una cassetta para editar y recibir los datos de control. Cuando se ha conseguido que la información almacenada en la cassetta sea adecuada, se transfiere a la memoria RAM del μP IMP-16. La capacidad de la memoria RAM en este caso, es de 256*16 bits para cubrir ampliamente la precisión de 12 bits que tienen los convertidores A/D.

En prensas o máquinas complicadas que requieren un gran número de entradas y salidas, existe el problema de la velocidad, en estos casos se están empleando μP monolíticos bipolares de 16 bits, con el tiempo de ejecución a las instrucciones de 150nseg.

2.- Control Numérico de Máquinas-Herramienta.- Los μP presentan un excelente potencial para integrarse en máquinas-herramienta autónomas.

Reducen considerablemente el número de circuitos necesarios para el control y dan una flexibilidad que hasta ahora tan sólo se conseguía con los minicomputadores.

Se están empleando con éxito en las máquinas de control, punto a punto para la perforación de placas de circuito impreso, inserción de componentes y alambrado de paneles. El costo de la unidad de control completa es de 240,000 pesetas, incluyendo el control de motores para la translación en dos ejes X-Y y la fuente de alimentación programables. Este costo es inferior al precio del controlador más barato realizado con lógica cableada.

3.- Procesos de Soldadura.- En procesos de soldadura frecuentemente aparece un alto número de fallos, y la tasa de rechazo elevada. Debido a esto, la automatización del control de un proceso de soldadura es especialmente importante. Cuando no se dispone de control automático, se observan de una pieza a otra, grandes variaciones de calidad en la soldadura. Por otra parte, los operarios, al aplicar su criterio individual en el ajuste de los parámetros del proceso, influyen en que estas diferencias sean imprevisibles y posteriormente, no queda registro de una información que permita corregir las diferencias.

El μ P Intel 8008 se ha utilizado para automatizar el control de máquinas de soldar en talleres. Inicialmente, el proceso de control de hizo en malla abierta, pero no se consiguió asegurar una calidad uniforme. El μ P mide la temperatura con un sensor o termopar que no está en contacto con la pieza a soldar. Regula la temperatura de fusión por control de un motor paso a paso, que a su vez regula la potencia eléctrica en la bobina de calentamiento por inducción.

En este proceso se consigue realizar una soldadura en forma de anillo entre dos piezas. Una de ellas es una barra cilíndrica que se coloca en el orificio de la otra pieza a soldar. En la juntura se colocan anillos de compuesto soldante, se posiciona una bobina de inducción que calienta las piezas hasta la temperatura de fusión, todos estos dispositivos están encerrados dentro de una cámara de vacío. El control del proceso requiere necesariamente medir la temperatura en la juntura a soldar, la temperatura de la juntura se mide con un error de 5°C, mediante la utilización de dos termopares, lo cual permite, bajo el control del μ P mantener la temperatura en la juntura dentro de un error de 8°C y generar el gradiente temperatura-tiempo más apropiado para que la soldadura se efectúe en condiciones óptimas.

La razón primaria para utilizar un μ P se han reducido sustancialmente, con un minicomputador PDP-11, provisto de un macro-ensamblador y un simulador especial que facilita la puesta a punto y optimización de los programas de control.

La estrategia tecnológica dentro de esta área de aplicaciones es la siguiente: Se utilizan μP dedicados a controlar una cierta función específica equipándolos con circuitos de intercomunicación.

Momentáneamente estos μP trabajan relativamente de interconexión, posteriormente el sistema evoluciona para cubrir aplicaciones muy complejas por integración o interconexión de los diferentes μP . Este concepto de control distribuido o control jerárquico, permite que un sistema evolucione para cubrir nuevas aplicaciones sin cambiar los equipos.

Por tanto, las aplicaciones de los μP y de los μ ordenadores son, muy numerosas. En función de una aplicación dada la elección del μP se efectúa según consideraciones que son de tres órdenes:

1.- Consideraciones de orden arquitectónico.

- a). Longitud de palabra de dato(s).
- b). Peticiones de interrupción.
- c). Acceso directo a la memoria (DMA).
- d). Compatibilidad tecnológica.

2.- Consideraciones de orden material.

- a). Número de CI.
- b). Número de tensiones de alimentación.
- c). Disipación de energía.

3.- Consideraciones a nivel de programación.

- a). Número de instrucciones.
- b). Rapidez de ejecución.
- c). Modos de direccionamiento.
- d). Número de registros de trabajo.

Como se pudo comprobar, las aplicaciones en el sector industrial, son muy numerosas asimismo la implantación de μP a nivel de sensores en procesos industriales, permite realizar un tratamiento jerarquizado de la conducción de este proceso, y por esto mismo, mejorar las prestaciones del sistema.

Por un lado, a nivel de la rapidez de tratamiento del conjunto de los parámetros ya que estos serán procesados en paralelo. Por otra parte, a nivel de la fiabilidad del sistema, un fallo a nivel de un sensor activo o de mini-ordenador de control general, no arrastra la parada del funcionamiento de todos los sectores del proceso.

Otras aplicaciones que se le pueden dar a los μP son:

- 1.- La sustitución de lógica aleatoria.
- 2.- La sustitución de LSI diseñada especialmente.
- 3.- La sustitución de minicomputadores.
- 4.- Nuevas aplicaciones no viables económicamente con tecnología anterior.

VI.3.- Proyecto de Integración de la Asignatura.

En esta parte se deja a criterio del Profesor, el(los) tipo(s) de proyecto que considere el modelo de integración de la materia, en función del tipo de μP utilizado con mayor frecuencia durante la exposición de los temas, durante el curso de Electrónica Industrial.

Como conclusiones se pueden establecer las siguientes:

1.- Poder conocer y cuantificar el contenido exacto del temario de la materia de Electrónica Industrial.

2.- Establecer, evaluar y cuantificar los conocimientos previos que se deben tener, para poder cursar satisfactoriamente la materia.

3.- Tener en un sólo texto el contenido del curso y además en un mismo idioma (Español).

4.- La facilidad de búsqueda de información, ya que se tiene desarrollado exactamente el programa de la materia.

5.- Contenido exacto de la teoría que se requiere para cada uno de los subtemas analizados.

6.- Posibilidad de agregar la cantidad de problemas que el profesor juzgue conveniente, para cada tema, ya que los conceptos teóricos analizados permiten no limitar la solución de problemas modelo, por falta de información.

7.- Estructuración, redacción y estilo adecuado para poder tener la secuencia adecuada para cada tema, considerando que el profesor podrá hacer los cambios que juzgue necesarios para poder optimizar el desarrollo de la clase, sin dañar la libertad de cátedra.

8.- Posibilidad de complementar el presente trabajo con mayor bibliografía, sin necesidad de reestructurar la secuencia del trabajo presentado.

9.- Sujeto a cambios según se vayan desarrollando nuevos conceptos, trabajos, teorías, aplicaciones, condiciones de operación de los dispositivos electrónicos, etc.

10.- Libertad para que el profesor pueda pedir un proyecto terminal (desarrollo de complementación práctico del curso), al término del semestre, con la seguridad de que los alumnos lo podrán desarrollar sin problemas.

- 1.- Boylestad Robert.
Nasnel'sky Louis.
" Electrónica. Teoría de Circuitos ".
4ª Edición. México D. F. Edit. Prentice Hall. 1989.
- 2.- Faulkenberry Luces M.
" Introducción a los Amplificadores Operacionales con Aplicaciones a C.I. Lineales ".
1ª Edición. México D. F. Edit. Limusa-Noriega. 1992.
- 3.- Hill J. Frederick.
Peterson R. Gerald.
" Teoría de Conmutación y Diseño Lógico ".
1ª Edición. México D. F. Edit. Limusa-Noriega. 1982.
- 4.- Lurch E. Norman.
" Fundamentos de Electrónica ".
2ª Edición. México D. F. Edit. CECSA. 1985.
- 5.- Maloney J. Timothy.
" Electrónica Industrial. Dispositivos y Sistemas ".
1ª Edición. México D. F. Edit. Prentice-Hall. 1983.
- 6.- Mandado Enrique.
" Sistemas Electrónicos Digitales ".
6ª Edición. México D. F. Edit. Marcombo. 1989.
- 7.- Morris Mano M.
" Arquitectura de Computadoras ".
2ª Edición. México D. F. Edit. Prentice-Hall. 1983.
- 8.- Nasar S. A.
Unnewehr L. E.
" Dispositivos Electrónicos ". Vol. II.
1ª Edición. México D. F. Edit. Mc Graw-Hill. 1991.
- 9.- Sedra S. Adel.
Smith C. Kenneth.
" Dispositivos Electrónicos y Amplificación de Señales ".
1ª Edición. México D. F. Edit. Mc Graw-Hill. 1989.

APENDICE

INSTRUMENTACION Y MEDICION .

OBJETIVOS:

- 1.- Explicar al alumno, la utilidad del Laboratorio de la materia de Electrónica Industrial.
- 2.- Explicar al alumno, la necesidad y la utilidad de la instrumentación y la medición, en el área de Electrónica.
- 3.- Explicar al alumno la teoría de operación del multímetro digital.
- 4.- Explicar al alumno la teoría de operación del generador de funciones.
- 5.- Explicar al alumno la teoría de operación del osciloscopio y sus aplicaciones más frecuentes.
- 6.- Explicar al alumno la teoría de operación de la fuente de poder.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Un Multímetro Digital.
- 2.- Una Fuente de Poder.
- 3.- Un Generador de Funciones.
- 4.- Un Osciloscopio.
- 5.- Una tarjeta de conexiones (Protto-Board).

1.- Dar la bienvenida a los alumnos, explicar los objetivos - que se desean alcanzar al cursar el Laboratorio de Electrónica -- Industrial y organizar los equipos de trabajo para todo el curso.

2.- Explicar detalladamente, la teoría de operación, funcionamiento y cuidados que deben tenerse, al utilizar un multímetro digital.

3.- Explicar detalladamente, la teoría de operación, funcionamiento y cuidados que deben tenerse, al utilizar una fuente de poder.

4.- Explicar detalladamente, la teoría de operación, funcionamiento y cuidados que deben tenerse, al utilizar un generador de funciones.

5.- Explicar detalladamente, la teoría de operación, funcionamiento y cuidados que deben tenerse, al utilizar un osciloscopio.

6.- Explicar detalladamente, la teoría de operación, funcionamiento y cuidados que deben tenerse, al utilizar la tableta Pro--tto-Board.

7.- Contestar a todas las preguntas y/o dudas, que sobre el - equipo de instrumentación y medición, hagan los alumnos.

8.- Establecer los lineamientos, que sobre la evaluación del curso, se llevaran a cabo.

CUESTIONARIO:

1.- Realice un dibujo del multímetro, explicando el funcionamiento de cada uno de sus controles y conexiones.

- 2.- Realice un dibujo de la fuente de poder, explicando el funcionamiento de cada uno de sus controles y conexiones.
- 3.- Realice un dibujo del generador de funciones, explicando el funcionamiento de cada uno de sus controles y conexiones.
- 4.- Realice un dibujo del osciloscopio, explicando el funcionamiento de cada uno de sus controles y conexiones.
- 5.- Explique detalladamente, la teoría de operación de la tableta Protto-Board, indicando las precauciones más importantes que deben tenerse, al usarla.
- 6.- Haga sus comentarios a la práctica.
- 7.- Haga sus conclusiones a la práctica.

DIODOS.

OBJETIVOS:

- 1.- Conocer la teoría de operación del diodo.
- 2.- Conocer las aplicaciones más comunes del diodo, como son: Rectificador de media onda, rectificador de onda completa y puente de onda completa.
- 3.- Establecer las ventajas y desventajas, que se tengan al utilizar los circuitos rectificadores.
- 4.- Establecer las precauciones que se deben tener al utilizar los circuitos rectificadores.

EQUIPO Y MATERIAL:

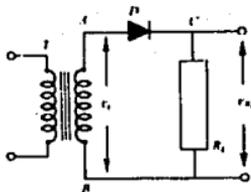
- 1.- Un osciloscopio.
- 2.- Una tableta Protto-Board.
- 3.- Cuatro diodos 1N4007.
- 4.- Una resistencia de carga de 100 Ohms a 7 Watts.
- 5.- Un transformador con derivación central de 127V a 12V y - 0.5Amp.
- 6.- Un juego de calámanes y alambres de conexión. Puntas de -- prueba para el osciloscopio.

DESARROLLO:

1.- Conectar el circuito de la Fig. 2.1 y conectar las tomas del transformador en los puntos A y B.

2.- Dibujar en la Tabla 2.1 las formas de onda sincronizadas de v_i , v_D y v_{R_L} .

Prestar especial atención al valor de pico de v_{R_L} , y a los valores positivos de v_D , seleccionando el modo de C-D del osciloscopio.



$D = 1N4007$
 $R_L = 100 \Omega, 7 W$
 $F = 220 \mu F, 0.5 A$

Fig. 2.1.- Rectificador de media onda.

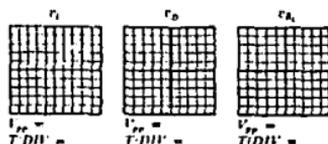


Tabla 2.1.- Gráficos.

3.- Armar el circuito de la Fig. 2.2 y conectar las tomas del secundario de transformador a los puntos A, C y B, respectivamente verificando su correcto armado.

4.- Dibujar las formas de onda sincronizadas de v_{AB} , v_{AC} , v_{BC} , v_{D_1} , v_{D_2} y v_{R_L} en la tabla 2.2.

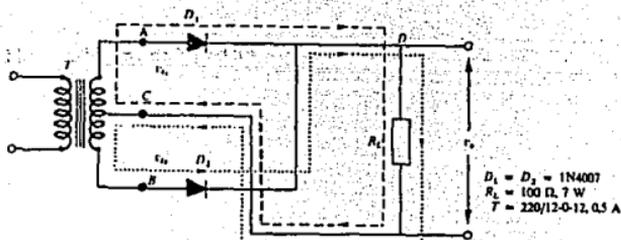


Fig. 2.2.- Circuito rectificador de onda completa.

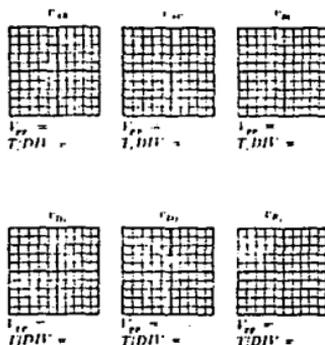
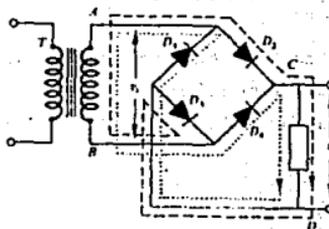


Tabla 2.2.- Gráficos.

5.- Armar el circuito de la Fig. 2.3 y conectar las tomas del secundario del transformador en los puntos A y B.



$$\begin{aligned}
 D_1 = D_2 = D_3 = D_4 &= 1N007 \\
 R_L &= 100 \Omega, 7 \text{ W} \\
 T &= 220/12, 0,5 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Fig. 2.3.- Rectificador puente de Graetz.

6.- Dibujar y anotar en la Tabla 2.3, las formas de onda sincronizadas de v_i , v_{D_1} , v_{D_2} y v_{R_L} .

Nótese que $v_{D_1} = v_{D_4}$ y $v_{D_2} = v_{D_3}$. Obsérvese el valor de v_{R_L} con respecto a v_i .

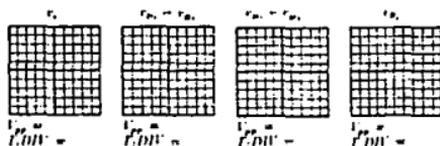


Tabla 2.3.- Gráficos.

CUESTIONARIO:

1.- ¿ Circula corriente constantemente por R_L en el circuito - de la Fig. 2.1 ?

2.- En la misma figura, ¿ qué ocurriría si D se pone en cortocircuito ? ¿ y si se abre ?

3.- ¿ Por qué se necesitan dos tensiones de entrada defasadas 180° en el rectificador de onda completa ?

4.- ¿ Cómo será la forma de onda en la R_L de la fig. 2.2 si se quita D_2 ?

5.- ¿ Es en todos los casos preferible el rectificador puente de Graetz, al de onda completa ?

6.- Dibujar y explicar la forma de onda de v_{R_L} en la fig. 2.3 si D_1 se abre.

7.- Haga sus comentarios a la práctica.

8.- Haga sus conclusiones a la práctica.

TIRISTORES.

OBJETIVOS:

- 1.- Explicar el funcionamiento de un Triac que controla ambas alternancias de una fuente de c-a, que maneja una carga resistiva.
- 2.- Definir los parámetros eléctricos importantes de los Triacs; tales como: Corriente de disparo de puerta, corriente de mantenimiento, etc.
- 3.- Armar un circuito de control con Triac, para controlar -- una carga resistiva, y medir algunos de los parámetros eléctricos del Triac.
- 4.- Armar un circuito el cual permita visualizar en un osciloscopio la curva característica voltaje-corriente de un tiristor.
- 5.- Interpretar la curva característica de un tiristor, identificando voltajes de ruptura directos, voltajes de ruptura inversos y corrientes de mantenimiento.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Un osciloscopio y sus accesorios.
- 2.- Un Triac T2302B.
- 3.- Una resistencia de 100 Ohms a 100 Watts.

- 4.- Una resistencia de 10 Kohms.
- 5.- Un potenciómetro de 250 Kohms.
- 6.- Una resistencia de 33 Kohms.
- 7.- Una resistencia de 1 Kohm.
- 8.- Un capacitor de 0.22 MF.
- 9.- Un capacitor de 0.22 MF.
- 10.- Una tableta Proto-Board, caimanes y alambres para conexiones.

DESARROLLO:

- 1.- Armar el circuito de la Fig. 3.1. Utilice los siguientes valores de los componentes y regímenes:

R_c = 100 Ohms a 100 Watts.

El TRIAC T2302B, o cualquier TRIAC con un V_{DRM} de al menos 200 Volts y una $I_T(RMS)$ de al menos 3 Amp, y con unas características de puerta similares.

- 2.- Hacer una gráfica que muestre las formas de onda de V_{carga} de $V_{MT2 - MT1}$ y V_G , para la misma referencia de tiempo.

- 3.- Medir I_{CT} , la corriente necesaria para disparar el Triac para las dos polaridades de terminal principal. Esto debe hacerse midiendo el voltaje a través de R_4 en el instante del disparo y aplicando la Ley de Ohm a R_4 . El osciloscopio deberá conectarse para visualizar la forma de onda de V_{R_4} . Comparar la I_{CT} medida con la otorgada en las especificaciones del fabricante, si es que se dispone de esta información.

- 4.- Medir V_{TM} , el voltaje a través del TRIAC después de disparado.

5.- Calentar el TRIAC con un cautín o cerillo y verifique el efecto sobre el ángulo de disparo. ¿ Tiene esto sentido ?

6.- Investigar el efecto de sustituir el TRIAC por otros del mismo número. Explicar los resultados.

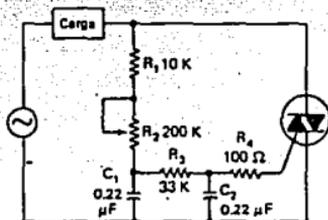


Fig. 3.1.- Circuito de control mejorado.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿ Explique detalladamente cómo funciona un circuito de control mejorado ?
- 2.- ¿ Cómo varía el ángulo de disparo en un circuito de control mejorado ?
- 3.- ¿ Como varía el ángulo de disparo si se incrementa la temperatura del TRIAC ?
- 4.- ¿ Por qué se denomina circuito mejorado de disparo ?
- 5.- ¿ Cuál es el rango de ajuste del ángulo de disparo ?
- 6.- ¿ Son iguales los ángulos de disparo para ambos semiciclos?

ANALISIS EN C-D Y C-A DEL TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO

(- FET)

OBJETIVOS:

- 1.- Conocer las características operativas del FET en arreglo de c-d y c-a.
- 2.- Conocer las analogías y las diferencias del FET con respecto al Transistor Bipolar de Juntura (TBJ).
- 3.- Establecer las características de la configuración de drenador común.
- 4.- Establecer las características de la configuración de surtidor común.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Un osciloscopio con sus accesorios.
- 2.- Una resistencia de 470 Ohms a 1/2 Watt.
- 3.- Una resistencia de 820 Kohms a 1/2 Watt.
- 4.- Una resistencia de 3 Mohms a 1/2 Watt.
- 5.- Una resistencia de 3 Kohms a 1/2 Watt.
- 6.- Una resistencia de 1 Kohm a 1/2 Watt.
- 7.- Un potenciómetro de 1 Mohm a 1/2 Watt.
- 8.- Un potenciómetro de 470 Kohms a 1/2 Watt.

- 9.- Un capacitor de 100 MF a 25 Volts.
- 10.- Un capacitor de 22 MF a 25 Volts.
- 11.- Un Transistor de Efecto de Campo BF245B ó equivalente.
- 12.- Una fuente de poder y sus accesorios.
- 13.- Un generador de funciones y sus accesorios.
- 14.- Juego de caimanes y alambres para conexiones.
- 15.- Una tableta Protto-Board.

DESARROLLO:

- 1.- Armar el circuito de la Fig. 4.1. Ajustar V_{DD} a cero. Situar el cursor de P a tierra lógica. Anotar las lecturas de I_D y V_{DS} en la Tabla 4.1 para $V_{GS} = 0$. Variar V_{DD} para ir consiguiendo las lecturas de V_{DS} : 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 6.0, 8.0, 12.0, 14.0, 16.0 y las correspondientes de I_D . Anotar los resultados en dicha tabla. Ajustar V_{DD} a cero.
- 2.- Ajustar V_{GS} a -0.5 V y repetir el inciso anterior completamente.
- 3.- Repetir el inciso 1 para los restantes valores de V_{GS} .
- 4.- Construir una familia de curvas de drenador con los datos obtenidos anteriormente.
- 5.- A la vista de los datos de la Tabla 4.1, y de las gráficas obtenidas, hacer una estimación del valor de $V(P)_{GS}$.
- 6.- Armar el circuito de la Fig. 4.2. Aplicar alimentación y variar P hasta que la tensión V_{DS} sea, aproximadamente, $1/2 V_{DD}$.

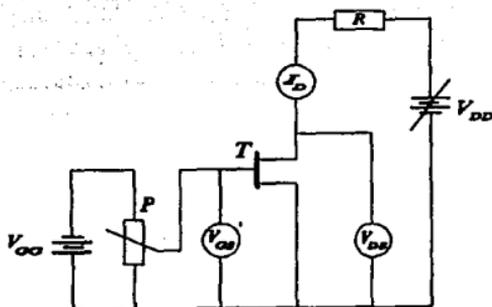
7.- Aplicar una v_i de $1 V_{pp}$ y $1 KHz$ senoidal. Visualizar las formas de onda de v_o y v_i .

Aumentar v_i mientras sea posible, y sin obtener distorsión, a la salida. Reajustar P si es necesario.

8.- Anotar los valores de v_i y v_o en la Tabla 4.2. Dibujar ambas formas de onda.

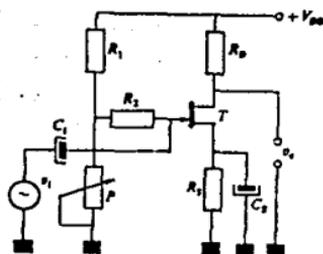
9.- Colocar una resistencia de $1 M\Omega$ en serie con v_i . Valerse de la caída de tensión en dicha resistencia para calcular i_i y Z_i . Anotar dichos valores en la Tabla 4.2.

10.- Calcular i_o , A_i , y A_v . Observar el defasamiento entre v_i y v_o . Anotar los resultados en la Tabla 4.2.



$R = 470 \text{ OHMS } 1/2 \text{ WATTS}$
 $P = 1 \text{ M. OHMS } 1/2 \text{ WATTS}$
 $T = \text{BF245B}$
 $V_{DD} = 0.30 \text{ VOLTS}$
 $V_{GG} = 5 \text{ VOLTS}$

Fig. 4.1.- Circuito para obtener las curvas de drenador.



- $R_1 = 820 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W}$
- $R_2 = 3 \text{ M}\Omega, 1/2 \text{ W}$
- $R_3 = 3 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W}$
- $R_4 = 1 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W}$
- $R_E = 470 \text{ k}\Omega$
- $C_1 = 100 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
- $C_2 = 22 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
- $T = \text{BF } 245\text{B}$
- $V_{00} = 15 \text{ V}$
- $\beta = \text{GBF}$

Fig. 4.2.- Amplificador en fuente común mejorado.

| | $V_{00} = 0$ | $V_{00} = -0.5 \text{ V}$ | $V_{00} = -1 \text{ V}$ | $V_{00} = -2 \text{ V}$ | $V_{00} = -4 \text{ V}$ | $V_{00} = -5 \text{ V}$ |
|----------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $V_{00} \text{ (V)}$ | $I_D \text{ (mA)}$ | $I_D \text{ (mA)}$ | $I_D \text{ (mA)}$ | $I_D \text{ (mA)}$ | $I_D \text{ (}\mu\text{A)}$ | $I_D \text{ (}\mu\text{A)}$ |
| 0 | | | | | | |
| 0.5 | | | | | | |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 16 | | | | | | |

Tabla 4.1.

| FET en seguidor común | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| v_i | v_o | A_v | i_i | i_o | A_i | Z_i | Desfase |
| | | | | | | | |

Tabla 4.2.

CUESTIONARIO:

- 1.- Justificar los adjetivos unipolar y bipolar, dados los -- transistores.
- 2.- ¿ Cuáles son las dos diferencias fundamentales en cuanto a características entre el FET y el TBJ. ?
- 3.- Razonar la elección entre un TBJ y Un FET, supuesta la necesidad de amplificar una señal proveniente de una fuente que presenta una impedancia interna considerablemente alta.
- 4.- Encontrar una justificación a la escasa ganancia de tensión de los FET.
- 5.- Establecer las analogías y diferencias entre h_{fe} y g_m .
- 6.- Hacer sus comentarios a la práctica.
- 7.- Hacer sus conclusiones a la práctica.

FALTA PAGINA

No.

134

ANALISIS EN C-D y C-A DEL TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNTURA.
(TBJ).

OBJETIVOS:

- 1.- Conocer las características operativas del TBJ en arreglo de c-d y c-a.
- 2.- Conocer las analogías y las diferencias del TBJ, con respecto al Transistor de Efecto de Campo (FET).
- 3.- Conocer las características de Polarización y Estabilidad del TBJ.
- 4.- Conocer las características de la configuración de Emisor Común, utilizando TBJ.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Un osciloscopio con sus accesorios.
- 2.- Una fuente de poder con sus accesorios.
- 3.- Un generador de funciones con sus accesorios.
- 4.- Una tarjeta Proto-Board.
- 5.- Un transistor Bipolar de Juntura BD137.
- 6.- Una resistencia de 220 Ohms a 1/2 Watt.
- 7.- Una resistencia de 60 Kohms a 1/2 Watt.
- 8.- Dos resistencias de 5 Kohms a 1/2 Watt.

- 9.- Una resistencia de 2 Kohms a 1/2 Watt.
- 10.- Una resistencia de 220 Kohms a 1/2 Watt.
- 11.- Un potenciómetro de 100 Kohms.
- 12.- Un potenciómetro de 10 Kohms.
- 13.- Un potenciómetro de 2 Kohms.
- 14.- Un transistor bipolar de juntura BC107A.
- 15.- Un capacitor de 22 MF a 25 Volts.
- 16.- Un capacitor de 47 MF a 25 Volts.
- 17.- Un capacitor de 33 MF a 25 Volts.
- 18.- Dos interruptores de botón.
- 19.- Caimanes y alambres para conexiones.

DESARROLLO:

- 1.- Para la polarización fija se desarrollará lo siguiente:
 - a). Armar el circuito de la Fig. 5.1. Intercalar un miliamperímetro en el circuito de base y otro en el de colector.
 - b). Observar y anotar las lecturas iniciales. Anotarlas nuevamente al transcurrir 30 segundos. Tocar el transistor para apreciar su temperatura.
 - c). Razonar las posibles diferencias entre los cálculos y las lecturas iniciales. Observar los cambios producidos en las lecturas iniciales y razonar el motivo.
 - d). Con las últimas lecturas, localizar el nuevo punto de operación.

2.- Polarización fija con realimentación de emisor.

a). Repetir el proceso propuesto para el circuito de polarización fija, aplicado al circuito de la Fig. 5.2. Incluir, además, la observación de los valores de V_E .

b). Comparar los resultados obtenidos con uno y otro circuito.

3.- Polarización por realimentación de colector.

a). Conectar el circuito de la Fig. 5.3.

b). Repetir los procesos anteriores prestando atención a las variaciones de V_{CE} .

c). Comparar los resultados con los obtenidos anteriormente.

4.- Polarización por divisor de tensión.

a). Armar el circuito de la Fig. 5.4.

b). Repetir las observaciones anteriores incluyendo V_B .

c). Comparar estos resultados con los anteriores.

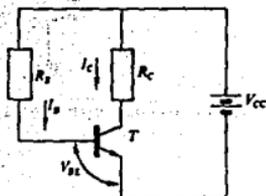


Fig. 5.1.- Circuito de polarización fija.

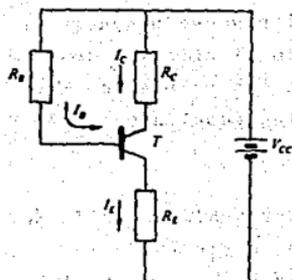


Fig. 5.2.- Polarización fija con realimentación de emisor.

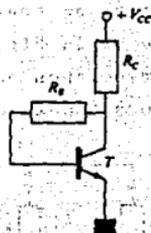


Fig. 5.3.- Polarización por realimentación de colector.

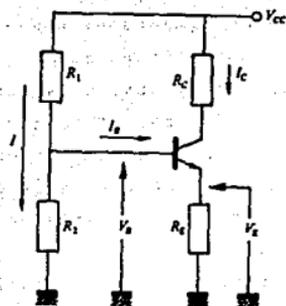


Fig. 5.4.- Polarización por divisor de tensión.

5.- Amplificación en configuración emisor común.

- Armar el circuito de la Fig. 5.5. Abrir S_1 y S_2 .
- Variar P hasta que $V_{CE} = 10$ Volts. Cerrar S_1 y aplicar a la entrada una v_i (senoidal) de $40mV_{pp}$ y 1 KHz.
- Conectar el osciloscopio para medir v_o . Calcular A_v , y anotarla en la Tabla 5.1. Medir y observar la forma de onda en v_E . Dibujar las formas de onda de v_i , v_o , y v_e .

| Configuración E.C. | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| Z_i | Z_o | A_v | A_i | A_p | Relación de fase |
| | | | | | |

Tabla 5.1.

d). Cerrar S_2 . Repetir el punto anterior y dibujar las formas de onda. Comparar los resultados.

e). Observar la relación de fase entre v_i y v_o , visualizando ambas simultáneamente. Anotar el defasamiento observado en la Tabla 5.1.

f). Conectar un potenciómetro en serie con la entrada, como lo indica la Fig. 5.6. Conectar un canal del osciloscopio para medir la salida del generador y otro a la entrada del circuito.

g). Variar el potenciómetro, hasta que la tensión aplicada al circuito sea $1/2$ de la entregada por el generador.

h). Levantar el potenciómetro y medir el valor ajustado de resistencia. Este valor será Z_1 . Anotarlo en la Tabla 5.1. Reconocer la conexión del generador.

i). Conectar un potenciómetro a la salida, como indica la Fig. 5.7. Conectar el osciloscopio en paralelo con el potenciómetro y variar éste, hasta que la lectura de v_o sea $1/2$ de la obtenida en el punto D. Retirar el potenciómetro y medir la resistencia ajustada; este valor será Z_o . Anotarlo en la Tabla 5.1.

j). Calcular $A_{i\text{dB}}$ y $A_{p\text{dB}}$. Anotarlas en la Fig. de la Tabla 5.1.

k). Conectar de nuevo el osciloscopio a la salida. Aumentar lentamente la salida del generador, hasta obtener cierta distorsión producida por la juntura del diodo emisor. Observar y dibujar la forma de onda de v_i y v_o .

l). Seguir aumentando la amplitud de v_i hasta observar ambos picos de v_o recortados. Dibujar de nuevo las formas de onda.

m). Ajustar v_i a su valor primitivo (40 mV_{pp}). Actuar sobre P hasta conseguir recortar el semiciclo negativo de v_o . Anotar la forma de onda. Retirar las conexiones del generador. Medir y anotar V_{CE} .



n). Repetir el apartado anterior y anotar los resultados.

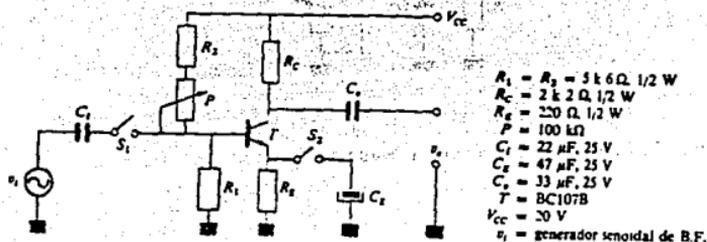


Fig. 5.5.- Amplificador práctico en configuración emisor común autopolarizado.

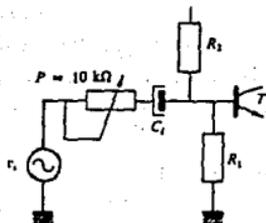


Fig. 5.6.- Circuito para medir Z_i .

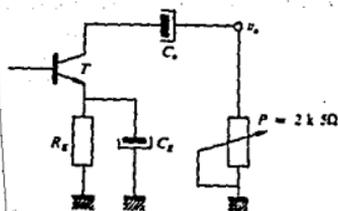


Fig. 5.7.- Circuito para medir Z_o .

CUESTIONARIO:

- 1.- Justificar por qué un cambio de β provoca un desplazamiento del punto de operación.
- 2.- Razonar por qué las condiciones de corte y saturación determinan la recta de carga para un circuito completo especificado.
- 3.- ¿ Por qué es inestable la polarización fija ?
- 4.- ¿Cuál es la ventaja de la polarización por realimentación de colector ?
- 5.- Exponer de forma resumida el comportamiento del circuito de polarización universal ante un posible incremento de β .
- 6.- ¿ Por qué a la configuración analizada se le llama de emisor común ?
- 7.- Razonar por qué se puede considerar el circuito como dos independientes, uno para c-d y otro para c-a.
- 8.- ¿ Qué influencia tiene sobre el comportamiento del circuito, el que el emisor esté totalmente derivado ?
- 9.- ¿ Por qué debe ser pequeña la entrada (señal) que se aplica al circuito ?
- 10.- Justificar los métodos empleados para medir Z_i y Z_o .

AMPLIFICADORES OPERACIONALES.

OBJETIVOS:

- 1.- Que el alumno conozca la teoría de operación de los amplificadores operacionales.
- 2.- Conocer las características más importantes de los amplificadores operacionales.
- 3.- Conocer las configuraciones básicas de los amplificadores operacionales.
- 4.- Conocer las aplicaciones fundamentales de los amplificadores operacionales.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Un osciloscopio y sus accesorios.
- 2.- Una fuente de poder con sus accesorios.
- 3.- Un generador de funciones con sus accesorios.
- 4.- Una tableta Protto-Board.
- 5.- Una resistencia de 99KOhms a 1/2 Watt.
- 6.- Dos resistencias de 10 Kohms a 1/4 de Watt.
- 7.- Dos resistencias de 1 Kohm a 1/4 de Watt.
- 8.- Dos resistencias de 470 Kohms a 1/4 de Watt.

- 9.- Una resistencia de 2 Kohms a 1/4 Watt.
- 10.- Dos resistencias de 1 Mohm a 1/4 Watt.
- 11.- Dos resistencias de 100 Ohms a 1/4 Watt.
- 12.- Dos resistencias de 100 Kohms a 1/4 Watt.
- 13.- Un capacitor de 470 pF a 60 Volts.
- 14.- Dos capacitores de 10 nF a 60 Volts.
- 15.- Un potenciómetro de 10 Kohms.
- 16.- Tres switches de botón.
- 17.- Cuatro amplificadores operacionales 741.
- 18.- Caimanes y alambres para conexiones.

DESARROLLO:

- 1.- Conectar el circuito de la Fig. 6.1. Ajustar P hasta conseguir $v_o = 0$. Mantener este potenciómetro en los distintos circuitos, hasta que se indique lo contrario.
- 2.- Conectar el circuito de la Fig. 6.2. Cerrar S_1 y S_2 , abrir S_3 . Ajustar v_i para 10 V_{pp} a una $f = 4$ Hz. Medir y anotar en la Tabla 6.1 los valores de v_o y v_i . Calcular A_o y anotarla en la Tabla 6.1.
- 3.- Cerrar S_3 , medir la nueva tensión de salida v_o , anotarla en la Tabla 6.1. Calcular y anotar en la misma tabla el valor de A_o .
- 4.- Abrir S_1 , S_2 y S_3 . Medir nuevamente la tensión de salida v_o . Calcular y anotar en la Tabla 6.1 el valor de A_o .

- 5.- Conectar el circuito de la Fig. 6.3. Cerrar S_1 y abrir S_2 . Medir v_o y calcular el valor de I_B^+ , y anotarlo en la Tabla 6.1.
- 6.- Abrir S_1 y cerrar S_2 . Medir v_o y calcular el valor de I_B^- , y anotarlo. Con esta medida y la situada en el punto anterior calcular el valor de I_B . Anotarlo todo en la Tabla 6.1.
- 7.- Abrir S_1 y mantener S_2 abierto. Medir v_o y calcular el valor de I_{io} . Anotarlo en la Tabla 6.1.
- 8.- Armar el circuito de la Fig. 6.4. Ajustar v_i a 10V_{pp} y una $f = 1$ KHz. Medir v_o y calcular el valor CMRR. Anotar el resultado en la Tabla 6.1.
- 9.- Armar el circuito que se muestra en la Fig. 6.5. Ajustar una V_i (onda cuadrada), de amplitud 1 V y $f = 20$ Lhz. Calcular el valor de SR y anotarlo en la Tabla 6.1.
- 10.- Quitar el potenciómetro de ajuste de centrado. Conectar el circuito de la Fig. 6.6 y medir el valor de v_o . Con este dato, calcular el valor de v_{io} y anotarlo en la tabla *1.
- 1.- Compara los valores obtenidos con los datos suministrados por el fabricante.

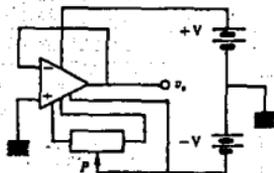


Fig. 6.1.- Circuito de compensación de v_{io} .

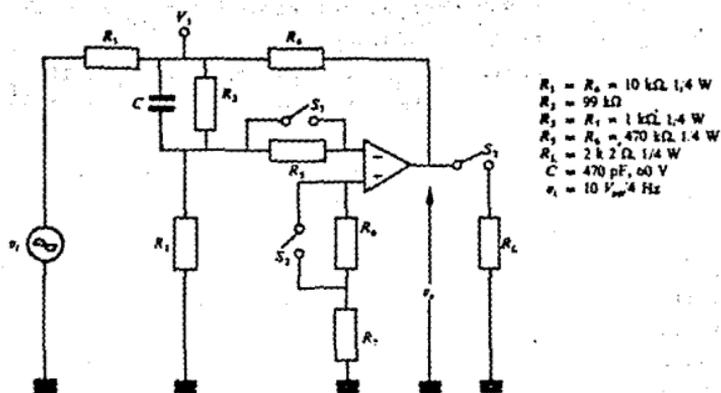


Fig. 6.2.- Circuito práctico para el cálculo de A_o , R_o y R_i .

R_i .

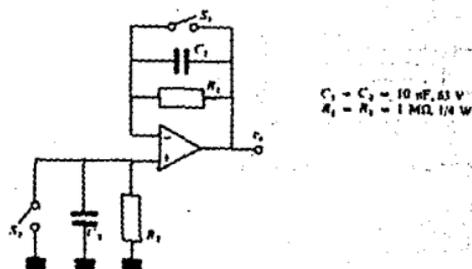
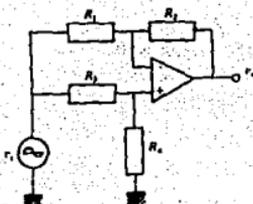
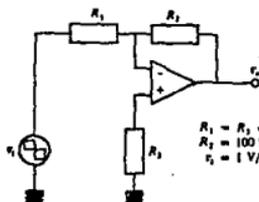


Fig. 6.3.- Circuito práctico para el cálculo de I_B^+ , I_B^- , I_B .



$$\begin{aligned}
 R_1 = R_2 &= 100 \Omega, 1/4 \text{ W} \\
 R_3 = R_4 &= 100 \text{ k}\Omega, 1/4 \text{ W} \\
 v_1 &= 10 \text{ Vpp/1 kHz}
 \end{aligned}$$

Fig. 6.4.- Circuito práctico para el cálculo de CMRR.



$$\begin{aligned}
 R_1 = R_2 &= 10 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W} \\
 R_3 &= 100 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W} \\
 v_1 &= 1 \text{ V/20 kHz}
 \end{aligned}$$

Fig. 6.5- Circuito práctico para el cálculo de SR.

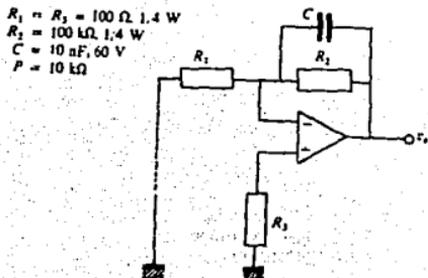


Fig. 6.6.- Medición de v_{io} .

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿ Qué es un amplificador diferencial ?
- 2.- En un Amp Op, ¿ qué se conoce como A_o ?
- 3.- Definir los Offset de un Amp Op.
- 4.- ¿ Qué limitación impone en un Amp Op el parámetro SR ?

CIRCUITOS LOGICOS.

OBJETIVOS:

- 1.- Análisis de los circuitos lógicos más utilizados en la -- electrónica digital.
- 2.- Analizar al circuito sumador, en su configuración y conexiones, dentro de los circuitos lógicos.
- 3.- Analizar al circuito restador, en su configuración y connexiones, dentro de los circuitos lógicos.
- 4.- Análisis de los circuitos típicos utilizados como sumadores/restadores, dentro de los circuitos lógicos.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Un osciloscopio y sus accesorios.
- 2.- Una tarjeta Protto-Board.
- 3.- Una fuente de poder y sus accesorios.
- 4.- Un generador de funciones y sus accesorios.
- 5.- Un Circuito Integrado CI 7404.
- 6.- Dos circuitos integrados CI 7483.
- 7.- Dos circuitos integrados CI 7486.
- 8.- Caimanes y alambres para conexiones.

DESARROLLO:

- 1.- Armar el circuito de la Fig. 7.1.
- 2.- Comprobar que funciona como un sumador de dos palabras de cuatro bits.
- 3.- Realizar varios ejemplos de suma; comprobar el nivel del terminal de acarreo de salida C_{out} , en todos los casos.
- 4.- Armar el circuito de la Fig. 7.2.
- 5.- Comprobar que funciona como un sumador de dos palabras de 8 bits.
- 6.- Realizar varios ejemplos de suma, comprobando, en todos ellos, el nivel del terminal del acarreo de salida C_{out} .
- 7.- Armar el circuito de la fig. 7.3.
- 8.- Comprobar que funciona como un restador de dos palabras de cuatro bits.
- 9.- Realizar algunos ejemplos de resta; comprobar los niveles en las distintas terminales de entrada de la palabra B, viendo que, realmente, efectúa el complemento a 1.
- 10.- Armar el circuito de la Fig. 7.4.
- 11.- Colocar un "0" lógico en la entrada de control y comprobar el funcionamiento del circuito como sumador; realizar algunos ejemplos.
- 12.- Colocar en "1" lógico, en la entrada de control y comprobar el funcionamiento del circuito como restador. Realizar algunos ejemplos.
- 13.- Armar el circuito de la Fig. 7.5.
- 14.- Colocar un "0" lógico en la entrada de control y, con un ejemplo, comprobar su funcionamiento.

- 15.- Armar el circuito de la Fig. 7.6.
- 16.- Ayudándose de la Tabla de Verdad, comprobar todas las posibles combinaciones. Comprobar con la Tabla 7.1.
- 17.- Si se coloca la entrada del acarreo C_{in} , a "1" lógico, -- ¿ qué variaciones habría que hacer en el circuito para que realizará la misma función ? Dibujarlo.
- 18.- Armar el circuito diseñado en el punto 18.
- 19.- Comprobar su funcionamiento.

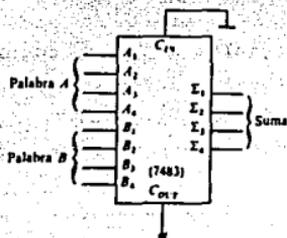


Fig. 7.1.- Uso del CI 7483 como sumador de dos palabras de 4 bits.

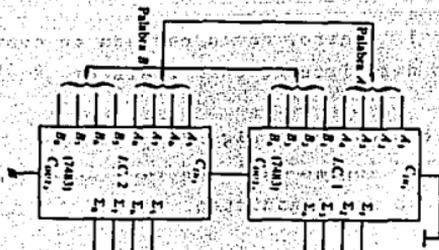


Fig. 7.2.- Uso del CI 7483 como sumador de dos palabras de 8 bits.

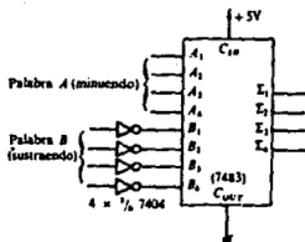


Fig. 7.3.- Uso del CI 7483 como restador de dos palabras de 4 bits.

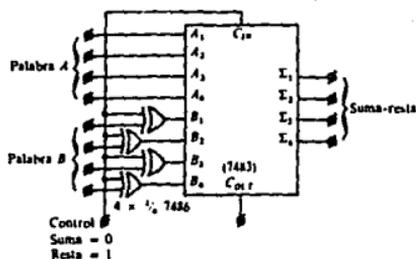


Fig. 7.4.- Uso del CI 7483 como sumador-restador de dos palabras de 4 bits.

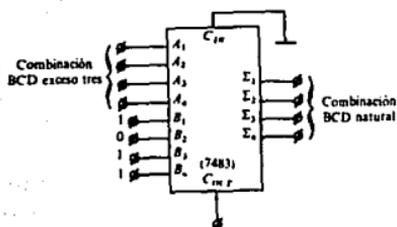


Fig. 7.5.- Uso del CI 7483 como convertidor de BCD exeso en 3 a BCD natural.

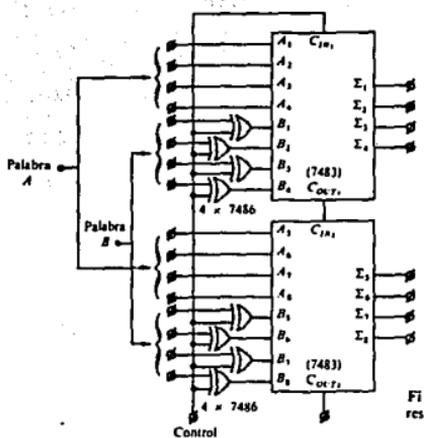


Fig. 7.6.- Circuito sumador restador de 8 bits con el CI 7483.

| Decimal | Código BCD exceso tres | Código BCD natural |
|---------|---------------------------|-----------------------|
| 0 | 0011 | 0000 |
| 1 | 0100 | 0001 |
| 2 | 0101 | 0010 |
| 3 | 0110 | 0011 |
| 4 | 0111 | 0100 |
| 5 | 1000 | 0101 |
| 6 | 1001 | 0110 |
| 7 | 1010 | 0111 |
| 8 | 1011 | 1000 |
| 9 | 1100 | 1001 |

Tabla 7.1.- Representación del código decimal BCD exceso 3 y BCD natural.

CUESTIONARIO:

- 1.- En el ejercicio 7.3 explicar el objetivo de los inversores, y cómo realiza el complemento a 2.
- 2.- En el ejercicio 7.4, explicar el objetivo de las compuertas OR- EXCLUSIVAS.
- 3.- ¿ Se podría utilizar un sumador como comparador? En caso afirmativo, indicar de qué forma. Dibujarlo.
- 4.- Diseñar un circuito que convierta el código BCD natural en el código BCD exceso-3.
- 5.- Comparar el ejercicio 7.5 y 7.6, y explicar sus diferencias.
- 6.- Diseñar un circuito, con CI's 7483, que realicen la suma de dos palabras de 6 bits.
- 7.- Diseñar un circuito con CI's 7483, que pueda sumar y restar palabras de 3 bits.
- 8.- Escoger una Unidad Lógica-Aritmética (ALU), de las existentes y explicar las operaciones que puede realizar.

SISTEMAS ELECTRONICOS.

OBJETIVOS:

- 1.- Introducir al alumno en el manejo de información técnica de un CI.
- 2.- Conocer funciones especiales de los sistemas electrónicos digitales.
- 3.- Analizar las aplicaciones del CI 4532.
- 4.- Analizar las aplicaciones del CI 4511 BCD a 7 segmentos.
- 5.- Analizar las aplicaciones del CI 4016.
- 6.- Analizar las aplicaciones del CI 4541.
- 7.- Analizar las características y aplicaciones del CI 4754.
- 8.- Analizar las aplicaciones del CI 4071.

EQUIPO Y MATERIAL :

- 1.- Una tableta Protto-Board.
- 2.- Un multímetro digital y sus accesorios.
- 3.- Una fuente de poder.
- 4.- Un osciloscopio y sus accesorios.
- 5.- Una resistencia de 10 Kohms a 1/4 de Watt.
- 6.- Una resistencia de 47 Kohms a 1/4 de Watt.
- 7.- Una resistencia de 50 Kohms a 1/4 de Watt.
- 8.- Una resistencia de 1 Mohm a 1/4 de Watt.
- 9.- Dos resistencias de 900 Kohms a 1/4 de Watt.
- 10.- Una resistencia de 100 Kohms a 1/4 de Watt.
- 11.- Un condensador de 390 pF a 32 Volts.

- 12.- Un condensador de 10 nF a 32 Volts.
- 13.- Un condensador de 100 pF a 32 Volts.
- 14.- Un CI 4016.
- 15.- Un CI 4541.
- 16.- Un CI 4754.
- 17.- Un CI 4071.
- 18.- Dos CI's 4532.
- 19.- Un LCD de 18 Barras.
- 20.- Un bloque de 4 switches.
- 21.- Caimanes y alambre para conexiones.

DESARROLLO:

1.- Alambrar el siguiente circuito y deducir su funcionamiento explicándolo brevemente.

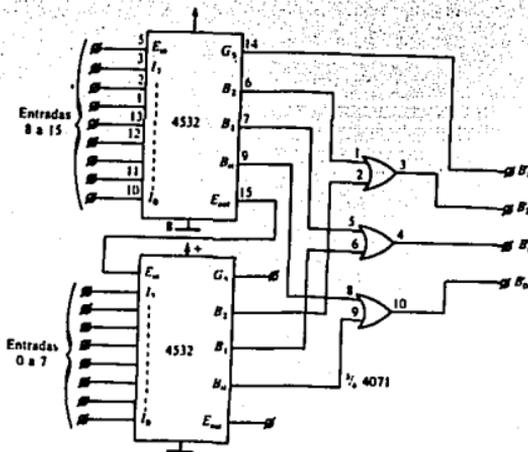


Fig. 3.1.- Alambrado del CI 4532.

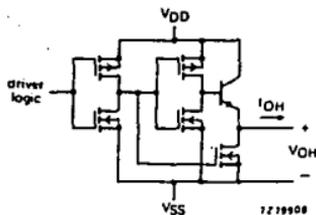
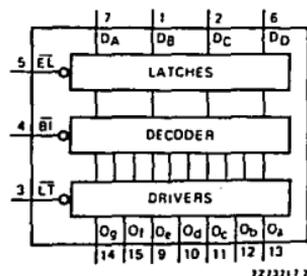
2.- Análisis del CI 4511 BCD 7 segmentos.

Este circuito de tecnología Cmos, y salida bipolar es muy utilizado, y entre sus características destacan:

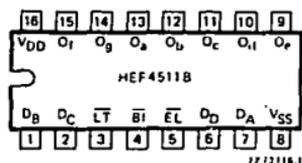
- Función de memoria LATCH por la entrada \overline{EL} .
- Cada salida puede entregar hasta 25 mA a nivel lógico "1".

The HEF4511B is a BCD to 7-segment latch decoder/driver with four address inputs (D_A to D_D), an active LOW latch enable input (\overline{EL}), an active LOW ripple blanking input (\overline{BI}), an active LOW lamp test input (\overline{LT}), and seven active HIGH n-p-n bipolar transistor segment outputs (O_A to O_G).

When \overline{EL} is LOW, the state of the segment outputs (O_A to O_G) is determined by the data on D_A to D_D . When \overline{EL} goes HIGH, the last data present on D_A to D_D are stored in the latches and the segment outputs remain stable. When \overline{LT} is LOW, all the segment outputs are HIGH independent of all other input conditions. With \overline{LT} HIGH, a LOW of \overline{BI} forces all segment outputs LOW. The inputs \overline{LT} and \overline{BI} do not affect the latch circuit.



FAMILY DATA
 I_{OH} LIMITS category MSI } see Family Specifications



HEF4511BP: 16-lead DIL; plastic (SOT-3RZ)

HEF4511BD: 16-lead DIL; ceramic (cerdip) (SOT-74)

HEF4511BT: 16-lead mini-pack; plastic (SO-16; SOT-109A)

PINNING

- D_A to D_D address (data) inputs
 \overline{EL} latch enable input (active LOW)
 \overline{BI} ripple blanking input (active LOW)
 \overline{LT} lamp test input (active LOW)
 O_A to O_G segment outputs



Fig.- 8.2.- Diagrama lógico y conexión del CI 4511B.

FUNCTION TABLE

| Inputs | | | | | | | | Outputs | | | | | | | |
|--------|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|
| EL | EH | ET | D ₀ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | O ₀ | O ₁ | O ₂ | O ₃ | O ₄ | O ₅ | O ₆ | Display |
| X | X | L | X | X | X | X | X | H | H | H | H | H | H | H | 8 |
| X | L | H | X | X | X | X | X | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | L | L | L | L | L | H | H | H | H | H | H | H | 0 |
| L | H | H | L | L | L | L | H | L | H | H | H | H | H | H | 1 |
| L | H | H | L | L | H | L | H | H | H | L | H | H | H | H | 2 |
| L | H | H | L | L | H | H | L | H | H | H | L | H | H | H | 3 |
| L | H | H | L | H | L | L | L | L | H | H | L | L | H | H | 4 |
| L | H | H | L | H | L | H | H | L | L | H | L | L | H | H | 5 |
| L | H | H | L | H | H | L | L | L | L | H | H | L | H | H | 6 |
| L | H | H | L | H | H | H | L | H | H | H | L | L | L | L | 7 |
| L | H | H | H | L | L | L | L | H | H | H | L | L | L | L | 8 |
| L | H | H | H | L | L | L | H | H | H | H | L | L | L | L | 9 |
| L | H | H | H | L | L | L | H | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | L | L | H | H | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | L | H | L | H | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | H | L | L | H | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | H | L | H | L | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | H | H | L | L | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | H | H | H | L | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| L | H | H | H | H | H | H | H | L | L | L | L | L | L | L | blank |
| H | H | H | X | X | X | X | X | L | L | L | L | L | L | L | * |

H = HIGH state (the more positive voltage)

L = LOW state (the less positive voltage)

X = state is immaterial

* Depends upon the BCD code applied during the L(H) to HIGH transition of EL

Tabla 8.1.- Tabla de verdad del CI 4511.

3.- Análisis del CI indicador LDC 4754V por barras de 18 elementos.

The HEF4754V drives an 18-element bar graph LCD in linear relation to the control voltage (V_c) in a pointer or thermometer mode.

GENERAL DESCRIPTION:

The HEF4754V drives an 18-element bar graph LCD in linear relation to the control voltage (V_c) in a pointer or thermometer mode. The first bar lights up when V_c is smaller than $V_{T(0.01)}$.

In the pointer mode, the circuit can drive 9 or 18 bars; in the thermometer mode, the circuit also drives the peak value indication. This can be reset or repetitively reset, after 1.5 to 2 seconds.

The circuit has analogue and digital parts. The analogue part consists of 17 comparators, with their non-inverting inputs connected together and coupled to the control input V_c . The inverting

inputs of the comparators are connected in succession to the nodes of an 18-part resistor divider. The distance between the switching levels of the comparators is defined by the voltage difference across this divider. The extremities of the resistor divider are coupled via high-input amplifiers to the maximum reference voltage input and the minimum reference voltage input.

The digital part has one reference output (O_8) to drive the back plate, and 18 outputs (O_1 to O_{18}) to drive each bar. Three latches and some gates are incorporated for each bar output. An on-chip oscillator (1024 Hz) with external R and C drives the circuit. The outputs are driven at 64 Hz. The select inputs I_1 to I_3 are provided with an on-chip pull-up element, and they may therefore be left floating (equals HIGH state).

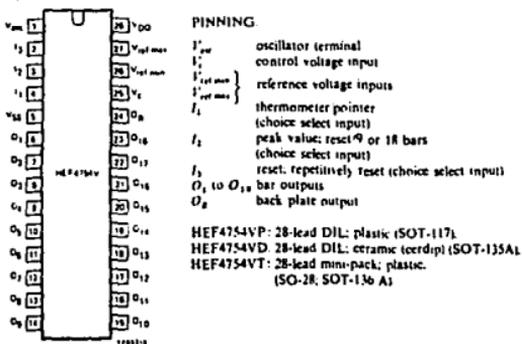


Fig. 8.3.- Disposición de los terminales de conexión del CI 4754V.

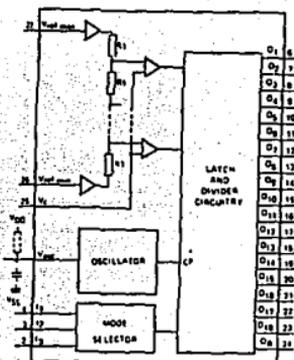


Fig. 8.4.- Circuito lógico y conexión del CI 4754V.

FUNCTION TABLE

| I_1 | I_2 | I_3 | mode |
|-------|-------|-------|---|
| L | L | X | pointer; 18 bars |
| L | H | X | pointer; 9 bars |
| H | L | X | thermometer; no peak value |
| H | H | L | thermometer; peak value, repetitively reset |
| H | H | H | thermometer; peak value, manually reset |

H = HIGH state (the more positive voltage)

L = LOW state (the less positive voltage)

X = state is immaterial

Tabla 3.2.- Tabla de función l3gica del CI 4754V.

RATINGS:

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum

System (IEC 134)

| | | |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------|
| Supply voltage | V_{DD} | -0.5 to +18 V |
| Voltage on any input | V_I | -0.5 to $V_{DD} + 0.5$ V |
| D.C. current into any input or output | $\pm I_I$ | max. ± 10 mA |
| Storage temperature | T_{stg} | -25 to +125 °C |
| Operating ambient temperature | T_{amb} | -20 to +85 °C |

NOTES (to D.C. CHARACTERISTICS)

- $V_{ref\ max} = 0.5$ V; $V_{ref\ max} = 9.5$ V; $V_{ref} = V_I = 0$ V; I_1, I_2 y I_3 at V_{DD} .
- Pin under test at V_{SS} or V_{DD} , all other inputs simultaneously at V_{SS} or V_{DD} .
- $I_O = 0$; all inputs at V_{SS} or V_{DD} .
- At $V_{DD} = 5$ V; $I_{OH} = 4.5$ V.
At $V_{DD} = 10$ V; $I_{OH} = 9.5$ V.
At $V_{DD} = 15$ V; $I_{OH} = 13.5$ V.
- At $V_{DD} = 5$ V; $V_{OL} = 0.4$ V; inputs at V_{SS} or V_{DD} .
At $V_{DD} = 10$ V; $V_{OL} = 0.5$ V; inputs at V_{SS} or V_{DD} .
At $V_{DD} = 15$ V; $V_{OL} = 1.5$ V; inputs at V_{SS} or V_{DD} .
- $V_{ref\ max} + 4$ V < $V_{ref\ max}$.

Especificaciones del CI 4754V.

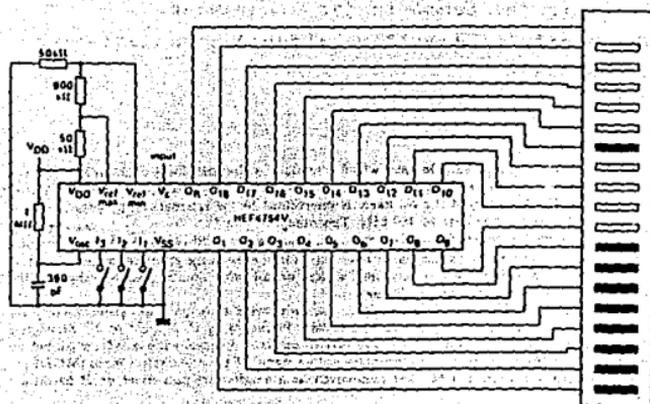


Fig. 8.5.- Alambrado del circuito indicador LDC por barras -- de 19 elementos.

FUNCTION TABLE

| Inputs | | | | Mode |
|--------|----|------|---|------------------------------------|
| MR | PH | MODE | | |
| H | L | X | X | Auto reset disabled |
| L | L | X | X | Auto reset enabled |
| X | H | X | X | Master reset active |
| X | L | X | H | Normal operation selected |
| X | L | X | L | division to output |
| X | L | L | X | Single-cycle mode* |
| X | L | H | X | Output initially LOW, after reset |
| X | L | H | X | Output initially HIGH, after reset |

(a)

FREQUENCY SELECTION TABLE

| A_2 | A_1 | number of summer outputs n | $\frac{f_{out}}{f_{in}} = \frac{1}{n}$ |
|-------|-------|------------------------------|--|
| L | L | 13 | 8 192 |
| L | H | 10 | 1 024 |
| H | L | 8 | 256 |
| H | H | 16 | 65 536 |

(b)

* The timer is initialized on a reset pulse and the output changes state after 2^n counts and remains in that state (latched). Reversal of this state is obtained by master reset of by a L-to-H transition on the MODE input.

Tabla 8.3.- Función lógica y selección de la frecuencia de -- oscilación.

4.- Análisis del temporizador programado.

A continuación se detallan, algunas características del temporizador programable.

The HEF4541B is a programmable timer which consists of a 16-stage binary counter, an integrated oscillator to be used with external timing components, an automatic power-on reset and output control logic. The frequency of the oscillator is determined by the external components R_1 and C_1 within the frequency range 1 Hz to 100 kHz. This oscillator may be replaced by an external clock signal at input RS, the timer advances on the positive-going transition of RS. A LOW on the auto reset input (\overline{AR}) and a LOW on the master reset input (\overline{MR}) enables the internal power-on reset. A HIGH level at input \overline{MR} resets counter independent on all other inputs. Resetting disables the oscillator to provide no active power dissipation.

A HIGH at input \overline{AR} turns off the power-on reset to provide a low quiescent power dissipation of the timer. The 16-stage counter divides the oscillator frequency by 2^8 , 2^{10} , 2^{13} or 2^{16} depending on the state of the address inputs (A_0 , A_1). The divided oscillator frequency is available at output O. The phase input (\overline{PH}) features a complementary output signal. If the mode select input (MODE) is LOW or HIGH the timer can be used respectively as a single transition timer or 2^2 frequency divider.

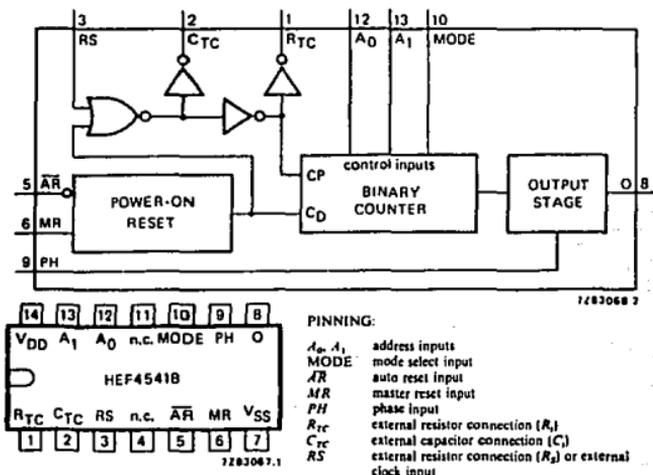


Fig. 8.6.- Diagrama lógico y conexión del CI 4541.

LOC MOS "ON" resistance in series with it, which typically is 500Ω at $V_{DD} = 5 \text{ V}$, 300Ω at $V_{DD} = 10 \text{ V}$ and 200Ω at $V_{DD} = 15 \text{ V}$.

The recommended values for these components to maintain agreement with the typical oscillation formula are:

$C_i \geq 100 \text{ pF}$, up to any typical value,
 $10 \text{ k}\Omega \leq R_i \leq 1 \text{ M}\Omega$

- Realizar el Montaje Práctico número 3.

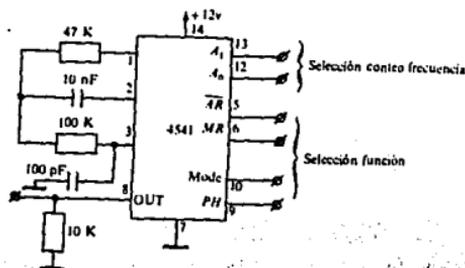
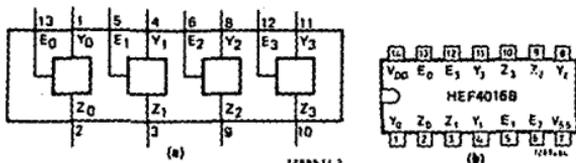


Fig. 8.9.- Montaje y alambrado del temporizador CI 4541.

5.- Análisis del CI 4016 de cuatro interruptores analógicos - bilaterales.

A continuación se da una breve explicación de este CI.

The HEF4016B has four independent analogue switches (transmission gates). Each switch has two input/output terminals (Y, Z) and an active HIGH enable (E). When E is connected to V_{DD} a low impedance bidirectional path between Y and Z is established (ON condition). When E is connected to V_{SS} the switch is disabled and a high impedance between Y and Z is established (OFF condition). Current through a switch will not cause additional V_{DD} current provided the voltage at the terminals of the switch is maintained within the supply voltage range; $V_{DD} \geq (V_Y, V_Z) \geq V_{SS}$. Inputs Y and Z are electrically equivalent terminals.



HEF4016BP: 14-lead DTL; plastic (SOT-27)
 HEF4016BD: 14-lead DTL; ceramic (cerdip) (SOT-73)
 HEF4016BT: 14-lead mini-pack; plastic (SO-14, SOT-10MAL)

PINNING:

E_0 to E_3 enable inputs
 Y_0 to Y_3 input/output terminals
 Z_0 to Z_3 input/output terminals

APPLICATION INFORMATION:

Some examples of applications for the HEF4016B are:

- Signal gating
- Modulation
- Demodulation
- Chopper

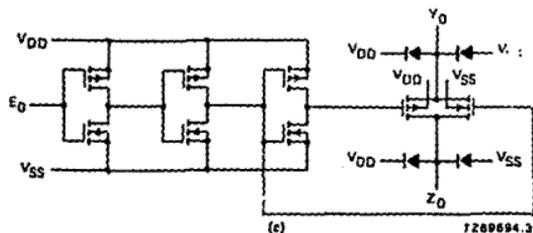


Fig. 8.10.- Circuito lógico. Disposición de terminales.
 Circuito interno básico del CI 4016.

CUESTIONARIO:

- 1.- Explicar la teoría de operación del CI 4016.
- 2.- Explicar la teoría de operación del CI 4541.
- 3.- Explicar la teoría de operación del CI 4754.
- 4.- Explicar la teoría de operación del CI 4071.
- 5.- Explicar la teoría de operación del CI 4532.
- 6.- Explicar la teoría de operación del LDC de 18 barras.
- 7.- Haga sus comentarios a la práctica.
- 8.- Haga sus conclusiones a la práctica.

PROYECTO TERMINAL I.

OBJETIVOS:

- 1.- Que el alumno integre en esta práctica, los conocimientos de la Electrónica Analógica.
- 2.- Que el alumno relacione los conceptos teóricos y prácticos que obtuvo durante el desarrollo de las clases teóricas y del laboratorio.
- 3.- Diseñar un sistema que reúna los conceptos analizados en la Electrónica Analógica.

DESARROLLO:

- 1.- Diseñar un sistema de electrónica analógica, que cubra los conceptos básicos de este rubro.

PROYECTO TERMINAL II.

OBJETIVOS:

- 1.- Que el alumno integre en esta práctica, los conocimientos de la Electrónica Digital.
- 2.- Que el alumno relacione los conceptos teóricos y prácticos que obtuvo durante el desarrollo de las clases teóricas y del laboratorio.
- 3.- Diseñar un sistema que reúna los conceptos analizados en la Electrónica Digital.

DESARROLLO:

- 1.- Diseñar un sistema de electrónica digital, que cubra los conceptos básicos de este rubro.