

300617

34
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

" LOS MOTORES ELECTRICOS, EN ESPECIAL
LOS MOTORES DE PASOS Y LOS SERVOMOTORES
UNA MEJOR OPCION PARA LA INDUSTRIA DE
CONTROL NUMERICO GRACIAS A LOS AVANCES
DE LA ELECTRONICA "

T E S I S P R O F E S I O N A L
Q U E P A R A O B T E N E R E L T I T U L O D E :
I N G E N I E R O M E C A N I C O E L E C T R I C I S T A

P R E S E N T A
M O N I C A S I L V A S A L G A D O

D I R E C T O R D E T E S I S :
I N G . P A T R I C I A V A S Q U E Z A G U I L E R A

MEXICO, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1990



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.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: CONCEPTOS BASICOS DE CONTROL	1
INTRODUCCION	1
SISTEMAS DE CONTROL	1
RETROALIMENTACION	2
CONTROL DE LAZO CERRADO Y ABIERTO	2
TERMINOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	3
TERMINOLOGIA SUPLEMENTARIA	5
SERVOMECANISMOS	6
REGULADORES	6
SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS	7
SISTEMAS DE CONTROL POR COMPUTADORA	7
SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO	7
PRINCIPIOS DE PROYECTO DE SISTEMAS DE CONTROL	8
MODELOS MATEMATICOS DE SISTEMAS FISICOS	9
FUNCIONES DE TRANSFERENCIA	11
DIAGRAMA DE BLOQUES	11
ACCIONES DE CONTROL Y CONTROLES AUTOMATICOS INDUSTRIALES	12
ANALISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA	19
CONSTANTES DE ERROR Y SENSIBILIDAD	21
SISTEMAS DE TIEMPO DISCRETO	23
CAPITULO II: CONTROL DE MOTORES	29
FUNDAMENTOS DE CONTROL DE MOTORES	29
COMPONENTES DE CONTROL	31
CIRCUITOS DE CONTROL	36
ARRANCADORES DEL MOTOR	39
CONTROL DE VELOCIDAD	42
CONTROL ESTATICO	48

CAPITULO III: SERVO DIGITALES Y COMPONENTES	53
CODIFICADOR EJE	53
SOLENOIDE	58
CONFIGURACION DEL SISTEMA	59
COMPARACION DE CONFIGURACION DE SISTEMAS	62
ENLAZANDO LA COMPUTADORA Y EL SISTEMA DE CONTROL	63
TRANSMISION DE DATOS PARALELO CONTRA SERIE	64
ENLAZANDO DATOS SERIALES	65
ENLAZANDO DATOS PARALELOS	67
SOFTWARE: LA ALTERNATIVA PARA EL HARDWARE	67
CAPITULO IV: MOTORES ELECTRICOS INDUSTRIALES	70
MOTORES DE INDUCCION DE TRES FASES	70
MOTORES DE C.D.	74
MOTORES SINCRONOS	79
MOTORES ELECTRICOS DE MAYOR SIGNIFICANCIA PARA PLANTAS DE INGENIERIA	81
CAPITULO V: SERVOMOTORES	83
SERVOMECANISMOS	83
SERVOMOTORES	83
CAPITULO VI: RUTAS MAS SIMPLES PARA EL CONTROL DE POSICION	
FUNDAMENTOS	90
NUEVOS CHIPS	92
EL PROBLEMA DE CAMBIAR CARGAS	94
FUNDAMENTOS DE CONTROL DE POSICION	95
AJUSTANDO EL ERROR DE POSICION	98
	100
CAPITULO VII: MOTORES DE PASOS	102
CAPITULO VIII: MOTORES DE PASOS, ENTRANDO AL TERRITORIO DE LOS SERVOMOTORES	113
UNA EVOLUCION	114

LAS ULTIMAS TECNICAS	114
MICROSTEPPING	115
UN CONROLADOR MODULAR	116
PAQUETES DE CONDUCTORES	117
BONOS DE ESTADO SOLIDO	118
CONTROLADORES DE MICROPASOS	119
LAS COMPUTADORAS PERSONALES CADA VEZ MAS UTILIZADAS	119
EFECTO DEL VOLTAJE SOBRE LA VELOCIDAD DEL MOTOR	121
MOTORES DE PASOS CONTRA SERVOS	122
CAPITULO IX: PRECISION DEL STEPPING CON SOFTWARE	123
FUNCIONES INTERNAS DEL TIMER/CONTADOR	129
GENERANDO UN PASO	131
STEPPING Y MICROSTEPPING POR MEDIO DE SOFTWARE	133
RUTINA DE INTERRUPCION DE PASO COMPLETO	136
RUTINA DE INTERRUPCION DEL MICROSTEPPING	137
CAPITULO X: UNA NUEVA MIRADA AL MICROSTEPPING	139
COMO TRABAJA EL MICROSTEPPING	141
DONDE USAR LOS MICROSTEPPING	148
MICROPASO DE MALLA CERRADA O SERVO C.A. SIN ESCOBILLAS	150
CAPITULO XI: FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO DE CONTROL NUMERICO DIDACTICO	153
PROGRAMA DE CONTROL DEL SERVOMOTOR	156
DISCO CODIFICADOR	157
CODIGO GRAY A BINARIO	158
PROGRAMA DE CONTROL DEL MOTOR DE PASOS PARA CORRER EL PROGRAMA	159
LECTURA DE LOS CODIFICADORES	161
FACILIDADES ADICIONALES EN EL PROGRAMA	162
MOTOR DE PASOS ESTIMULADO POR FASES	162

PROGRAMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL P.W.M.	163
SECCION DE HARDWARE	164
SERVOMOTOR:	165
CONTROL ANALOGO	165
i) CONTROL ANALOGO DE VELOCIDAD	165
ii) CONTROL ANALOGO DE POSICION	168
CONTROL DIGITAL	169
RELOJES P.W.M.	171
INTERFASE DE LA COMPUTADORA	173
MOTOR DE PASOS:	176
CODIFICADORES	178
CODIFICADOR INCREMENTAL	178
CODIFICADOR ABSOLUTO	179
DETECTOR DE POSICION DE "HOME"	180
INDICADOR DE "STATUS" DEL "BUS" DE DATOS	182
FUENTES DE PODER	182
PROCEDIMIENTOS DE OPERACION - ENTRADA DE DATOS MANUAL	187
PROCEDIMIENTOS DE OPERACION - ENTRADA DE DATOS POR COMPUTADORA	188
FUNCIONES DE CONTROL DE INTERRUPTORES	189
PUNTOS DE PRUEBA Y SUS SEÑALES	190
FUNCIONES DE FALLA DE INTERRUPTORES (FSW)	191
INSTRUCCIONES BASICAS DE USO	192
TABLA DE SELECCION DE INTERRUPTORES	194
INTERFAZ DE HARDWARE	195
PROGRAMA	196

CAPITULO XII: PRINCIPALES COMPONENTES ELECTRONICOS DE UN EQUIPO DE CONTROL NUMERICO	209
DISPOSITIVOS LOGICOS BIPOLARES	209
CIRCUITO INTEGRADO	209
TTL LOGICO	210
LSTTL ("SCHOTTKY" DE BAJA POTENCIA)	210
AMPLIFICADORES OPERACIONALES	211
FETS Y CMOS	218

INTERRUPTORES ANALOGICOS	220
DISPOSITIVOS OPTOELECTRONICOS	222
MEMORIA DE SOLO LECTURA (ROM)	226
CODIFICADORES	229
POTENCIOMETRO	231
MODULACION ANCHO DE PULSO	233
CONCLUSIONES	236
BIBLIOGRAFIA	241

INTRODUCCION

INTRODUCCION

En los últimos años, el control ha sido de gran importancia para el avance de la Ingeniería y de la Industria. Los avances en esta área nos brindan medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la calidad y abaratar los costos de producción, acrecentar el ritmo de producción, etc.

Los motores son los móviles básicos en un gran número de sistemas de control. Son utilizados en infinidad de aplicaciones en la Industria. En sistemas simples se puede utilizar sólo un interruptor para arrancar y parar un motor. En sistemas más complejos, los motores deben ser controlados con mucha precisión (arranque, paro, reversa, cambios de velocidad), operados por intervalos específicos y protegidos contra daños.

En los últimos años, se ha incrementado la utilización de computadoras digitales para controlar servomecanismos. Con la llegada del microprocesador económico y fácil de utilizar, y la gran demanda de periféricos de computadora han puesto al control digital en contacto con los servomecanismos. Como resultado el servo digital se ha vuelto aún más importante que el servomecanismo lineal.

En esta tesis expongo la importancia que ha tenido el avance de la electrónica en el mejoramiento de los sistemas de control numérico los cuales son cada vez más utilizados por la Industria debido a su precisión y rapidez.

En el primer capítulo explico de manera general y básica los conceptos de control, los sistemas de control y sus partes así como los tipos de sistemas que existen, la

retroalimentación y sus tipos, y otros conceptos y principios que nos ayudarán a entender la importancia de un sistema de control.

En el segundo capítulo hablo de los fundamentos del control de motores que son básicos para la mayoría de los sistemas de control y sus campos de acción.

Menciono los diferentes tipos de controladores que existen y sus aplicaciones, así como sus componentes principales, dispositivos de protección, circuitos, arrancadores y demás elementos que nos sirven para tener un punto de comparación y de esta manera poder elegir el tipo de controlador que mejor satisfaga nuestros requerimientos.

En el tercer capítulo expongo algunas de las ventajas de los servomecanismos digitales sobre los analógicos. También menciono los componentes principales de los servos digitales y sus configuraciones así como también explico de manera general el enlace de las computadoras con los sistemas de control.

Existe un número sin límite de tipos de motores eléctricos, en el capítulo cuarto describo a grandes rasgos algunos de los motores eléctricos básicos para las plantas ingenieriles ya que nos llevaría mucho tiempo describirlos a todos.

En el capítulo quinto defino los servomecanismos y los servomotores de dos fases, expongo sus características más importantes, su funcionamiento y sus aplicaciones.

En el sexto capítulo hablo de cómo el avance en los nuevos circuitos integrados mejoran el manejo de los

cambios en la carga, velocidad y aceleración de los servos y de como simplifican el diseño de la electrónica posicional. Menciono los fundamentos del control de posición y los problemas de cambiar las cargas y ajustar el error de posición.

En el siguiente capítulo, describo a los motores de pasos de una manera básica. También menciono los tipos más comunes que existen y sus principios de funcionamiento.

En el octavo capítulo podemos observar como aún cuando los motores de pasos no han cambiado mucho en los últimos años en cuanto a su forma se refiere, si lo han hecho los controladores electrónicos que los alimentan, reduciendo costos, acelerando velocidades y mejorando el posicionamiento. Se menciona al "Microstepping" el cual se menciona más ampliamente en el décimo capítulo, y también se mencionan los diferentes tipos de controladores que actualmente se están utilizando según sus aplicaciones. Se da también una explicación sencilla del uso de las computadoras personales en el control de los motores de pasos.

En el capítulo nueve, se explica como el uso de rutinas de software ayudan grandemente a controlar la precisión de los motores de pasos. Se describe su algoritmo y su función primaria, así como su rutina principal y su rutina de interrupción. Además menciono como funciona el "Stepping" y el "Microstepping" por medio del software.

En el capítulo diez hablamos, como mencioné anteriormente, de forma más específica del "Microstepping", como trabaja, en que se aplica y que mejoras aporta.

En el décimo-primer capítulo describo el funcionamiento de un equipo didáctico de control numérico

especifico, así como su configuración. Este capítulo es un ejemplo de las ventajas de utilizar una computadora en su manejo. Este sistema es una herramienta para el entrenamiento de Ingenieros de servicio que serán responsables del servicio de mecanismos controlados por computadora.

En el último capítulo menciono y describo los principales componentes de la mayoría de los equipos de control numérico, como lo son los dispositivos lógicos bipolares, los amplificadores operacionales, los FETs y CMOS, los interruptores analógicos, los dispositivos optoelectrónicos, la memoria ROM, los codificadores, potenciómetros y los moduladores de ancho de pulso. Dichos componentes se encuentran descritos de una manera general y se mencionan a lo largo de la tesis.

Esta tesis puede ayudar a toda persona que esté en contacto con sistemas de control industrial a ver las ventajas que tiene el implementar sistemas digitales a los sistemas actuales de control. Aquí podemos observar que mejoras tendremos si utilizamos ayuda cibernética y dispositivos electrónicos modernos.

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS DE CONTROL

CAPITULO I CONCEPTOS BASICOS DE CONTROL

INTRODUCCION.

El CONTROL ha sido de vital importancia para el avance de la Ingenieria y la ciencia. Los avances en la teoria y practica de control brindan medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la calidad y abaratar costos de producción, expandir el ritmo de producción, etc.

Dada la facilidad de disponer computadoras electrónicas analógicas, digitales e híbridas para la utilización en calculos complejos, se ha vuelto habitual su utilización en sistemas de control y en el control de operación de los mismos.

SISTEMAS DE CONTROL.

Un sistema de control, es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo se pueda comandar, dirigir o regular a si mismo u a otro sistema.

El propósito para el que está destinado el sistema de control, generalmente determina o define la entrada y la salida. Dadas las entradas y las salidas es posible determinar o definir la naturaleza de los componentes del sistema.

La entrada es el estímulo o excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, generalmente con el fin de producir (de parte del sistema de control), una respuesta especificada.

La salida es la respuesta obtenida del sistema de control, puede o no ser igual a la respuesta especificada (que la entrada implica).

RETROALIMENTACION.

La retroalimentación es la propiedad de un sistema que permite que la salida (o cualquier otra variable de salida controlada por el sistema) sea comparada con la entrada al sistema (o con una entrada a cualquier componente interno del sistema o con un subsistema de éste) de tal manera que se pueda establecer la acción de control apropiada en función de la entrada y la salida. Se dice que existe retroalimentación en un sistema, cuando existe una secuencia de lazo abierto o cerrado de relaciones de causa y efecto entre las variables del sistema.

Características de la retroalimentación.

1. Aumento de exactitud
2. Sensibilidad reducida de la razón de la salida a la entrada, a las variaciones en las características del sistema.
3. Efectos reducidos de la no linealidad y de la distorsión.
4. Aumento del ancho de banda. El ancho de banda de un sistema es el intervalo de frecuencias (de la entrada) por sobre el cual el sistema responde satisfactoriamente.
5. Tendencia a la oscilación o a la inestabilidad.

CONTROL DE LAZO CERRADO Y ABIERTO.

Lazo Cerrado.

Es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control.

Los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas realimentados. La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la realimentación (señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas), entra al detector o control para reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. El lazo cerrado implica el uso de acción de realimentación para reducir el error del sistema.

Los sistemas de realimentación automática y manual operan en forma similar. Los ojos de un operador constituyen el análogo del dispositivo de medición de error; su mente, la del controlador automático y sus músculos el análogo del elemento actuante. El control de un sistema complejo por un operador humano no es eficaz; un detector automático elimina cualquier error humano de operación. Para control de alta precisión, el control debe ser automático.

Lazo Abierto.

Son los sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control. La salida no se mide ni se realimenta para la comparación con la entrada, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fijada. La exactitud del sistema depende de la calibración, prácticamente sólo se puede utilizar este sistema si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no hay perturbaciones ni internas ni externas.

TERMINOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

Proceso: Cualquier operación que se vaya a controlar.

Planta (q_2) : Llamada también SISTEMA CONTROLADO, es el cuerpo, proceso o máquina de la cual se va a controlar una cantidad o condición particular.

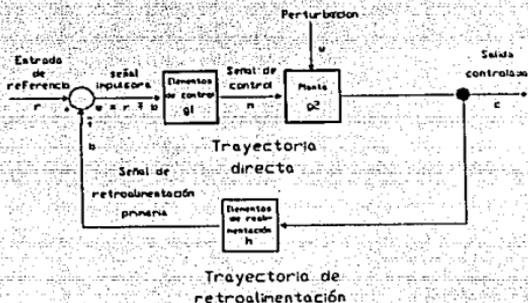


Fig.1.1

Elementos de control (q_1) : También llamado CONTROLADOR, son los componentes requeridos para generar la señal de control apropiada (m) que se aplica a la planta.

Elementos de retroalimentación (h) : Son los componentes que se requieren para establecer la relación funcional entre la señal de retroalimentación primaria (δ) y la salida controlada (c)

Entrada de referencia (r) : Señal externa aplicada a un sistema de control por retroalimentación, con el fin de ordenar a la planta una acción especificada. A menudo representa un comportamiento ideal de la salida de la planta.

Salida controlada (c) : Cantidad o condición de la planta que se controla.

Señal de retroalimentación primaria (δ) : Es una señal que es función de la salida controlada (c), y que se suma algebraicamente a la entrada de referencia (r) para obtener la señal impulsora (e)

Señal impulsora (e) : También denominada error o acción de control, es la suma algebraica de la entrada de referencia (r) más o menos (usualmente menos) de la retroalimentación primaria (b)

Variable manipulada (m) : (Señal de control) es esa cantidad o condición que los elementos de control ($g1$) aplican a la planta ($g2$).

Perturbación (u) : Señal de entrada indeseable que afecta el valor de la salida controlada (c). Puede entrar a la planta sumándose con (m) o a través de un punto intermedio.

Traectoria directa: Es la vía de transmisión desde la señal impulsora (e) hasta la salida controlada (c).

Traectoria de retroalimentación: Es la vía de transmisión desde la salida controlada (c) hasta la señal de retroalimentación primaria (b).

TERMINOLOGIA SUPLEMENTARIA.

Trasductor: Dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Orden (v) : Señal de entrada generalmente igual a la entrada de referencia (r). Pero cuando la forma de energía de la orden (v) no es la misma que para la retroalimentación primaria (b), se requiere un transductor entre la orden (v) y la entrada de referencia (r).

Detector de error : Parte del sistema de control que, cuando el elemento de retroalimentación está formado por un transductor, se requiere otro a la entrada.

Retroalimentación negativa: El punto de suma es un sustractor,

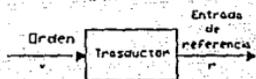
$$e = r - b$$

Retroalimentación positiva: El punto de suma es positivo,

$$e = r + b$$

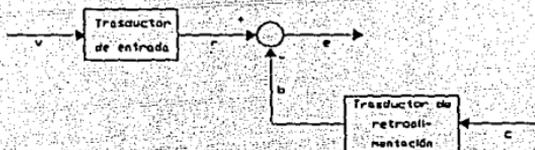
Estimulo: Señal de entrada que se introduce externamente y que afecta la salida controlada (c), por ejemplo, la entrada de referencia (r) y una perturbación (u).

Respuesta de tiempo: Es la salida como función de tiempo de un sistema o elemento, siguiendo la aplicación de una entrada prescrita con condiciones de funcionamiento especificadas.



(a)

Fig. 1.2



(b)

SERVOMECANISMOS.

Un servomecanismo es un sistema de control por retroalimentación con amplificación de potencia en el cual la variable controlada (c) es una posición mecánica o una derivada de posición, con respecto al tiempo (tal como la velocidad o la aceleración).

REGULADORES.

Un regulador o sistema regulador es un sistema de control por retroalimentación, en el cual la entrada de referencia u orden es constante para largos periodos de tiempo, a menudo para el intervalo de tiempo completo, durante el cual el sistema está en operación.

Un regulador se diferencia de un servomecanismo, en que la función primordial de un regulador es generalmente mantener constante una salida que es controlada, mientras que la función de un servomecanismo es hacer que la salida del sistema siga una entrada variante.

SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS.

Es un sistema de regulación automático en el que la salida es una variable como por ejemplo la temperatura, presión, flujo, nivel de líquido o pH ($\text{pH} = -\log_{10}h$, donde h es el número de H. en un litro de solución. La notación pH ofrece la ventaja de poderse expresar linealmente en función de la fuerza electromotriz del electrodo de Hidrógeno).

SISTEMAS DE CONTROL POR COMPUTADORA.

En el control de computadora por procesos hay que disponer de modelos matemáticos. El desarrollo de modelos adecuados es difícil, ya que no se conocen todos los factores que afectan la dinámica del sistema. Las variables no medidas deben ser estimadas por métodos estadísticos ya que es difícil o imposible la medición de todas las variables requeridas.

SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO.

El control numérico es el método de controlar los movimientos de los componentes de una máquina utilizando números. En control numérico se puede controlar el movimiento de una cabeza cortante con la información binaria contenida en una cinta.

En este tipo de control, se convierten los valores numéricos simbólicos en valores físicos (dimensiones o cantidades) por medio de señales eléctricas (o de otro tipo), que se traducen en un movimiento lineal o circular. Estas señales son: digitales (pulsos) o analógicas (tensiones variables en el tiempo).

Una ventaja del control numérico es que se pueden producir partes complejas con tolerancias uniformes, a la máxima velocidad de trabajo.

PRINCIPIOS DE PROYECTO DE SISTEMAS DE CONTROL.

Requerimientos generales de un sistema de control.

El requerimiento primario es que cualquier sistema de control debe tener estabilidad absoluta y relativa razonables. La velocidad de respuesta debe ser razonablemente rápida y debe presentar razonable amortiguamiento. Un sistema de control debe poder reducir a cero o a un valor pequeño los errores.

Análisis.

Se entiende por análisis de un sistema de control, a la investigación bajo condiciones específicas del funcionamiento del sistema cuyo modelo matemático se conoce. El análisis debe comenzar por una descripción matemática de cada componente.

Proyecto.

Proyectar un sistema significa hallar uno que cumpla la tarea pedida. El procedimiento de diseño o proyecto no es directo, requiere de algunos tanteos.

Síntesis.

Síntesis es encontrar por un procedimiento directo, un sistema que funcione de un modo específico. Generalmente ese procedimiento es totalmente matemático desde el inicio hasta el final del proceso de diseño.

MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS FÍSICOS

Muchos sistemas dinámicos ya sean mecánicos, eléctricos, térmicos, hidráulicos, económicos, biológicos, etc., pueden ser caracterizados por ecuaciones diferenciales. Se puede obtener la respuesta de un sistema dinámico a una entrada o función excitadora, resolviendo estas ecuaciones. Para obtenerlas se utilizan las leyes físicas que gobiernan un sistema particular, por ejemplo las leyes de Kirchhoff para sistemas eléctricos y las leyes de Newton para mecánicos.

Modelos matemáticos. Se llama modelo matemático a la descripción matemática de las características dinámicas de un sistema. El primer paso en el análisis de un sistema dinámico, es elaborar su modelo. Una vez obtenido dicho modelo se pueden usar diversas herramientas analíticas y computacionales con el objeto de su adecuado análisis y síntesis.

Sistemas lineales. Los sistemas lineales son aquellos en los que las ecuaciones del modelo son lineales. Una ecuación diferencial es lineal si los coeficientes son constantes o funciones sólo de la variable independiente. A los sistemas lineales se les puede aplicar el principio de superposición el cual establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones excitadoras distintas, es la suma de las dos respuestas individuales. Para sistemas lineales se puede calcular la respuesta a diversas entradas, tratando una entrada por vez y sumando

los resultados.

Sistemas lineales in ariables en el tiempo ariables en el tiempo. Los sistemas dinámicos que son lineales y están constituidos por componentes concentrados e invariables en el tiempo, pueden ser descritos por ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo. Estos son los los sistemas *lineales e invariables en el tiempo* (o *lineales de coeficientes constantes*). Los sistemas representados por ecuaciones diferenciales, cuyos coeficientes son funciones del tiempo, reciben el nombre de *sistemas lineales variables en el tiempo*.

Sistemas no lineales. Sistemas no lineales son aquellos representados por ecuaciones no lineales, por ejemplo:

$$y = \sin x, \quad y = x^{**} 2, \quad z = x^{**} 2 + y^{**} 3$$

Aunque muchas relaciones físicas son frecuentemente representadas por ecuaciones lineales, un estudio cuidadoso de los sistemas físicos indica que los sistemas son realmente lineales en restringidos rangos de operación.

La característica más importante de los sistemas no lineales es que no es aplicable el principio de superposición. Debido a esta dificultad matemática, se encuentra necesario introducir sistemas lineales "equivalentes" en reemplazo de los no lineales, válidos en un restringido rango de operación. Una vez aproximado un sistema no lineal con un modelo matemático lineal, se puede utilizar un cierto número de herramientas lineales para su análisis y diseño.

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.

La función de transferencia de un sistema lineal invariante en el tiempo está definida como la relación de la función respuesta (salida) y la función excitadora (entrada), bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

Elementos pasivos — elementos activos. Algunos de los elementos en un sistema (por ejemplo, capacitancias e inductancias en un sistema eléctrico) acumulan energía que posteriormente puede ser introducida al sistema. La cantidad de energía que puede introducirse no puede exceder de la que el elemento ha acumulado, y a menos que un elemento acumule energía antes, no puede entregar ninguna energía al sistema. Estos elementos se llaman elementos pasivos. Para sistemas pasivos, todos los términos en el sistema de ecuaciones diferenciales homogéneas, tienen el mismo signo.

Un elemento que puede entregar energía externa a un sistema, es denominado elemento activo. Por ejemplo, amplificadores, fuentes de poder, par o velocidad, etc. Sistemas análogos. El concepto de sistemas análogos es muy útil en la práctica, ya que un tipo de sistema puede ser más simple de manejar experimentalmente que otro. Por ejemplo, en general los sistemas eléctricos o electrónicos son mucho más fáciles de manipular experimentalmente. Las analogías son aplicables a sistemas cualesquiera mientras sus ecuaciones diferenciales o funciones de transferencia sean de idéntica forma.

DIAGRAMA DE BLOQUES.

Un diagrama de bloques de un sistema es una representación gráfica de las funciones realizadas por cada

componente, el flujo de las señales, indica las interrelaciones que existen entre los diversos componentes. A diferencia de una representación matemática, puramente abstracta, un diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar en forma más realista el flujo de señales del sistema real.

El "bloque" es un símbolo de la operación matemática que se produce a la salida, sobre la señal que tiene a la entrada. Las funciones de transferencia se colocan en los bloques correspondientes, conectados por flechas para indicar la dirección del flujo de señales.

Detector de error. El detector de error produce una señal que es la diferencia entre la referencia de entrada y la señal de realimentación del sistema de control. Cualquier imperfección en el detector de error afectará inevitablemente al funcionamiento de todo el sistema.

ACCIONES BASICAS DE CONTROL Y CONTROLES AUTOMATICOS INDUSTRIALES.

Un control automático compara el valor efectivo de salida de una planta con el valor deseado, determina la desviación a cero o a un valor pequeño. La forma en que el control automático produce la señal de control recibe el nombre de acción de control.

La mayoría de los controles automáticos industriales usan como fuentes de potencia la electricidad o un fluido a presión que puede ser aceite o aire. También se pueden clasificar los controles automáticos según el tipo de fuente de energía usada en su funcionamiento, en controles neumáticos, hidráulicos o electrónicos. Se usa el tipo de control dependiendo de la naturaleza de la planta y sus condiciones de funcionamiento, inclusive

de realimentación del elemento de la medición. El amplificador efectúa la amplificación de la potencia de la señal de error actuante, la que a su vez opera sobre el accionador. Frecuentemente se usa un amplificador con algún circuito de realimentación adecuado, para modificar la señal de error actuante amplificándola y a veces derivándola o integrándola para lograr una señal de control mejor. El accionador es un elemento que altera la entrada a la planta de acuerdo con la señal de control, de manera que se pueda poner en correspondencia la señal de realimentación con la señal de referencia de entrada.

Controles autoactuantes. En la mayor parte de los controles automáticos industriales se usan unidades independientes como elemento de medición y como accionador. Sin embargo, en los muy simples, como en los autoactuantes ambas unidades están reunidas en una sola. Los controles autoactuantes utilizan potencia tomada del elemento de medición los cuales, son muy simples y económicos.

Acciones de control. En los controles automáticos industriales son muy comunes los seis tipos siguientes de acción básica de control:

a) *Acción de dos posiciones o de sí-no.* En un sistema de control de dos posiciones, el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas, que en muchos casos son simplemente conectado y desconectado.

Sea la señal de salida del control $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$. En un control de dos posiciones, la señal $m(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según que la señal de error actuante sea positiva o negativa, de modo que

$$\begin{aligned} m(t) &= M_1 \quad \text{para } e(t) > 0 \\ &= M_2 \quad \text{para } e(t) < 0 \end{aligned}$$

donde M_1 y M_2 son constantes. Generalmente el valor mínimo M_2 es cero o $-M_1$. Los controles de dos posiciones son generalmente dispositivos eléctricos, donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico. También los controles neumáticos proporcionales con muy altas ganancias actúan como controles de dos posiciones y se les denomina a veces controles neumáticos de dos posiciones.

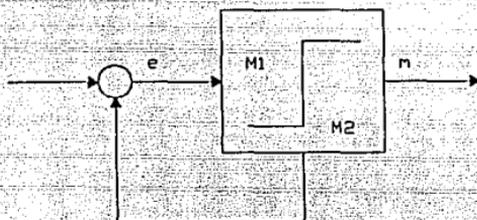


Fig. 1.4

b) *Acción de control proporcional.* Para un control de acción proporcional, la relación entre la salida del controlador $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$ es

$$m(t) = K_p e(t)$$

donde K_p se denomina sensibilidad proporcional o ganancia.

Cualquiera que sea el mecanismo en sí, y sea cual fuere la potencia que lo alimenta, el control proporcional esencialmente es un amplificador con ganancia ajustable.

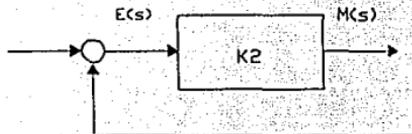


Fig. 1.5

c) *Acción de control integral.* En un control con acción integral, el valor de la salida del controlador $m(t)$ varía proporcionalmente a la señal de error actuante $e(t)$. Es decir,

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

o

donde K_i es una constante regulable. Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $m(t)$ varía dos veces más rápido. Para un error actuante igual a cero, el valor de $m(t)$ se mantiene estacionario. La acción de control integral recibe a veces el nombre de control de reposición.

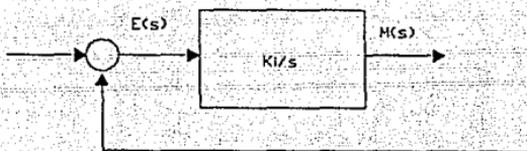


Fig. 1.6

d) *Acción de control proporcional e integral.* La acción de control proporcional e integral queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p/T_i \int_0^t e(t) dt$$

donde K_p representa la sensibilidad proporcional o ganancia y T_i el tiempo integral. Tanto K_p como T_i son regulables. El tiempo integral regula la acción de control integral, mientras una modificación en K_p afecta tanto a la parte integral como a la proporcional de la acción de control. A la inversa del tiempo integral T_i se le llama frecuencia de reposición. La frecuencia de reposición es el número de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La frecuencia de repetición se mide en términos de repeticiones por minuto.

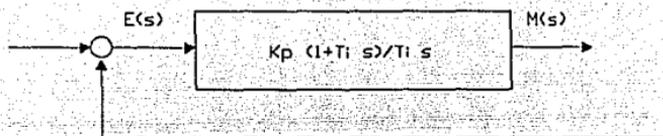


Fig. 1.7

e) Acción de control proporcional y derivativo. La acción de control proporcional y derivativa queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional y T_d es el tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son regulables. La acción de control derivativa, a veces denominada control de velocidad, es cuando el valor de salida del control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error actuante. El tiempo derivativo T_d es el intervalo de tiempo en el que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional.

Mientras la acción de control derivativo tiene la ventaja de ser anticipadora, tiene las desventajas de que amplifica las señales de ruido y puede producir efecto de saturación en el accionador. Este control es efectivo únicamente durante periodos transitorios.

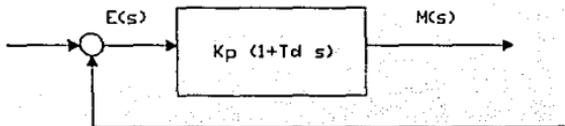


Fig. 1.8

f) Acción de control proporcional y derivativo e integral. La combinación de los efectos de acción proporcional, acción de control derivativa y acción de control integral, se llama acción de control proporcional, derivativa e integral. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un control con esta acción combinada está dada por:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + K_p/T_i \int_0^t e(t) dt$$

donde K_p representa la sensibilidad proporcional, T_d el tiempo derivativo y T_i el tiempo integral.

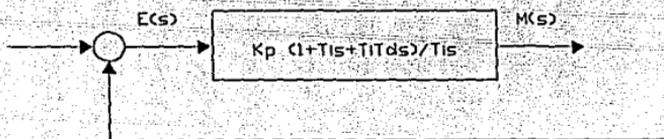


fig. 1.9

Efectos del elemento de medición en el comportamiento del sistema. Como las características dinámicas y estáticas del elemento de medición afectan la indicación del valor efectivo de la variable de salida, el elemento de medición juega un papel importante en el comportamiento global del sistema de control. El elemento de medición generalmente determina la función de transferencia en el camino de realimentación. Si las constantes de tiempo del elemento de medición son despreciablemente pequeñas, la función de transferencia del elemento de medición se convierte en una constante.

Uso de las os de realimentación. El control de realimentación o control de lazo cerrado reduce la sensibilidad de un sistema frente a variaciones de sus

parámetros y, por tanto, disminuye los efectos de variaciones en la ganancia en el paso directo de respuesta a variaciones en la presión de abastecimiento, tensión de alimentación, temperatura, etc. Los elementos que realizan las diversas acciones de control, están en la parte de realimentación de los mecanismos de control y los elementos de realimentación en los mismos, aumentan la linealidad del amplificador y el rango de sensibilidad proporcional.

Sin embargo, el uso de lazos de realimentación en los sistemas de control aumenta la cantidad de componentes de los sistemas, aumentando con ello la complejidad e introduciendo la posibilidad de inestabilidad.

ANÁLISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA

En la práctica no se conoce previamente la señal de entrada a un sistema de control, ya que ésta es de naturaleza aleatoria y no se puede expresar la entrada instantánea analíticamente. Solamente en algunos casos especiales la señal de entrada es conocida con anterioridad y puede ser expresada analíticamente o por curvas como es el caso del control automático de herramientas cortantes.

Al analizar sistemas de control hay que tener una base de comparación del funcionamiento de los diversos sistemas de control. Se puede establecer esas bases especificando señales de entrada particulares de prueba, y comparando las respuestas de los diversos sistemas a esas señales de entrada. Con las señales de prueba se pueden realizar análisis experimentales y matemáticos de los sistemas de control con facilidad, ya que las señales son funciones muy simples de tiempo.

Respuesta transitoria respuesta estacionaria.
La respuesta temporal de un sistema de control consiste en dos partes: la respuesta transitoria y estacionaria. Por respuesta transitoria se entiende aquella que va desde el estado inicial al estado final. Por respuesta estacionaria se entiende la forma en la que la salida del sistema se comporta cuando t tiende a infinito.

Estabilidad absoluta, estabilidad relativa
error estacionario. La característica más importante del comportamiento dinámico de un sistema de control, es la estabilidad absoluta, es decir, si el sistema es estable o inestable. Un sistema está en equilibrio si, en ausencia de cualquier perturbación o entrada, la salida se mantiene en el mismo estado. Un sistema de control lineal invariante en el tiempo, es estable si finalmente la salida retorna a su estado de equilibrio cuando el sistema es sometido a una perturbación. Un sistema de control lineal invariante en el tiempo es inestable si continúa indefinidamente una oscilación en la salida, o si la salida diverge sin límite de su estado de equilibrio cuando el sistema es sometido a una perturbación. De hecho, la salida de un sistema físico puede aumentar hasta cierto punto, pero debe estar limitada por <<topes>> mecánicos, o el sistema puede averiarse o volverse no lineal después que la salida excede cierta magnitud, de manera que ya no se le aplican las ecuaciones diferenciales lineales.

Como un sistema físico de control involucra almacenamiento de energía, la salida del sistema, relacionada con una entrada, no puede seguir a ésta inmediatamente sino que presenta una respuesta transitoria antes de poder alcanzar un estado estacionario. La respuesta transitoria a un sistema de control práctico frecuentemente presenta oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar un estado de equilibrio. Si la salida de un

sistema en estado estacionario no coincide exactamente con la entrada, se dice que el sistema tiene un error estacionario. Este error indica la exactitud del sistema.

CONSTANTES DE ERROR Y SENSIBILIDAD.

Las características de respuesta transitoria son características importantes del funcionamiento de un sistema de control. Otra característica importante se refiere al error en los sistemas. Se pueden atribuir los errores en un sistema de control a muchos factores: modificaciones en la entrada de referencia producen errores inevitables en periodos transitorios y también pueden causar errores estacionarios, imperfecciones en los componentes del sistema como fricción estática, juego y deriva del amplificador, así como envejecimiento y deterioro son causa de errores en estado estacionario.

Constantes de error de posición. Un criterio de la efectividad de la retroalimentación en un sistema estable de retroalimentación de unidad tipo 1 lo constituye la constante de error de posición (paso). Es una medida del error en estado estacionario entre la entrada y la salida, cuando la entrada es una función paso unitario.

Constantes de error de elocidad. Otro criterio de efectividad de la retroalimentación en un sistema estable de retroalimentación de unidad tipo 1 es la constante de error de velocidad (rampa). Es una medida del error en estado estacionario entre la entrada y la salida del sistema cuando la entrada es una función rampa unitaria.

Constantes de error de aceleración. Un tercer criterio de la retroalimentación en un sistema estable de

retroalimentación de unidad tipo 1 es la constante de error de aceleración (o parabólica). Esta es una medida del error en estado estacionario del sistema cuando la entrada es una función parabólica unitaria; esto es $r = t^2/2$ y $R = 1/s^3$.

Sensibilidad. Un primer paso en el análisis o diseño de un sistema de control consiste en generar modelos para los diferentes elementos del sistema. Si se supone que el sistema es lineal e invariable con el tiempo, se pueden generar dos modelos matemáticos importantes: La *función de transferencia* y la *función de respuesta de frecuencia*.

Una vez que se haya escogido un número finito de parámetros constantes, la función de transferencia se considera fija. Los valores dados a estos parámetros se denominan valores nominales y la función de transferencia correspondiente se denomina función de transferencia nominal. La exactitud del modelo depende aparentemente de cuán cerca estén los valores de los parámetros nominales de los valores de los parámetros actuales y de cuánto se desvien estos últimos parámetros de los valores nominales durante el funcionamiento del sistema. La *sensibilidad* de un sistema se puede entonces definir como la medida de la cantidad por la cual la función de transferencia del sistema difiere de su valor nominal cuando uno de sus parámetros difiere del número escogido como su valor nominal.

La función de respuesta de frecuencia de un sistema se puede determinar directamente a partir de la función de transferencia del sistema cuando ésta se conoce, simplemente reemplazando la variable compleja (s) en la función de transferencia por ($j\omega$). En este caso la función de transferencia y su exactitud queda determinada por la

exactitud de esos parámetros. La función de respuesta de frecuencia se puede definir alternativamente por medio de gráficas de su magnitud y ángulo de fase, siendo ambos representados como funciones de la frecuencia real (ω). Estas gráficas a menudo se determinan experimentalmente y en muchos casos no se pueden definir por un número finito de parámetros. Luego un número infinito de valores de amplitud y ángulo de fase (valores para todas las frecuencias) definen la función de respuesta de frecuencia. La exactitud del modelo depende entonces de cuán cerca se aproximen las gráficas de amplitud y ángulo de fase, a la función de respuesta de frecuencia actual. La *sensibilidad* del sistema en este caso es una medida de la cantidad según la cual su función de respuesta de frecuencia difiere de su valor nominal cuando la función de respuesta de frecuencia de un elemento del sistema difiere de su valor nominal.

SISTEMAS DE TIEMPO DISCRETO.

Los sistemas de tiempo discreto o sistemas de datos muestreados, son sistemas dinámicos en los cuales una o más variables pueden variar solamente en ciertos instantes. Se toma el intervalo de tiempo entre dos instantes suficientemente pequeños, de manera que los datos de tiempo entre esos instantes, puedan ser aproximados por interpolación simple.

Los sistemas de tiempo discreto difieren de los de tiempo continuo, en que las señales para un sistema de tiempo discreto, aparecen en forma de datos muestrales.

En la práctica, se presentan los sistemas de tiempo discreto, cuando se obtienen las mediciones necesarias para el control en forma intermitente o cuando se comparte un control de gran envergadura o computadora

entre diversas plantas, de manera que se envía una señal de control a cada planta sólo periódicamente o siempre que se utiliza una computadora tal para realizar los cálculos necesarios para el control. Muchos sistemas de control industrial modernos, son sistemas de tiempo discreto porque invariablemente influyen algunos elementos cuyas entradas y/o salidas son discretas en el tiempo. Sin embargo, a veces la discretización con operación de muestreo, puede ser enteramente ficticia e introducida únicamente para simplificar el análisis de un sistema de control que en realidad sólo contiene elementos continuos.

Cuantificación. La inclusión de un computador digital en un sistema, por lo demás, analógico, produce señales en forma digital (generalmente como números binarios) en parte del sistema. Entonces el sistema toma la forma de una combinación mixta analógico-digital. La introducción de un computador digital en un sistema de control, exige el uso de conversores digital-a-analógico y analógico-a-digital. La conversión de una señal analógica en la correspondiente señal digital (número binario) es una aproximación, ya que la señal analógica puede tomar infinita cantidad de valores, mientras la variedad de distintos números que pueden formarse con un juego finito de dígitos, es limitada. Este proceso de aproximación se denomina cuantificación. El funcionamiento de sistemas de control digital, involucra la cuantificación, tanto en amplitud como en tiempo.

Definiciones.

Trasductor. Un trasductor es un dispositivo que convierte una señal de entrada en una señal de salida de otra forma. En general la señal de salida depende de la historia previa de la entrada.

Trasdutor analógico. Un trasdutor analógico es aquel en el cual las señales de entrada y salida son funciones continuas del tiempo. Las amplitudes de estas señales pueden ser de cualquier valor dentro de las limitaciones físicas del sistema.

Trasdutor de muestreo de datos. Este es un trasdutor en el cual las señales de entrada y salida sólo se producen en instantes discretos de tiempo (generalmente periódicos), pero las amplitudes de la señal, como en el caso del trasdutor analógico, no están cuantificadas.

Trasdutor digital. Un trasdutor digital es aquel en el cual las señales de entrada y salida solamente se producen en instantes discretos de tiempo y las amplitudes de la señal están cuantificadas; es decir, sólo pueden tomar niveles discretos determinados.

Trasdutor analógico-a-digital. Este es un trasdutor en el cual la señal de entrada es una función continua del tiempo y la señal de salida es una señal cuantificada que sólo puede tomar ciertos niveles discretos.

Trasdutor digital-a-analógico. Un trasdutor digital-a-analógico es aquel en el cual la señal de entrada es una señal cuantificada y la señal de salida es una función continua del tiempo.

Controles analógicos — controles digitales. Al considerar los tipos de controles utilizados en sistemas de control industriales, se los puede dividir en tres categorías:

Controles o computadoras analógicos: Los controles o computadoras analógicos representan las variables en las ecuaciones por cantidades físicas continuas. Se pueden diseñar controles analógicos que sirvan satisfactoriamente como controles cuya acción implica decisión.

Controles o computadoras digitales: Estos funcionan con base numérica. La toma de decisiones es una función importante en controles digitales y se los usa frecuentemente para la solución de problemas referentes al funcionamiento óptimo global de plantas industriales.

Controles o computadoras analógicos-digitales: Se los denomina frecuentemente controles híbridos. Son combinaciones de controles analógicos y digitales. Algunos de los controles de funcionamiento más elaborados son de este tipo.

Ventajas de los controles digitales sobre los controles analógicos.

1. Los controles digitales pueden realizar complejos cálculos con exactitud constante a alta velocidad. Las computadoras digitales pueden realizar los cálculos casi hasta cualquier grado de exactitud deseado, con un incremento de costo relativamente pequeño. En cambio, el costo de las computadoras analógicas aumenta rápidamente al hacer la complejidad de los cálculos, si se desea mantener constante la exactitud.

2. Los controles digitales son extremadamente versátiles. Simplemente colocando un nuevo programa se pueden cambiar totalmente las operaciones a efectuar. Esta característica es particularmente importante si el sistema de control ha de recibir información operativa o instrucciones desde algún centro de cómputo, en los que se realizan estudios de optimización y análisis económico.

Debido a la incapacidad de las técnicas convencionales de manejar adecuadamente los problemas de control complejos, se ha acostumbrado a subdividir un

proceso en unidades más pequeñas y manejar cada una de éstas como un problema de control separado. Normalmente se utilizan operadores humanos para coordinar el funcionamiento de las unidades. Los avances recientes en sistemas de control por computadora han modificado esta utilización en los procesos de control industriales. Los desarrollos recientes en computadoras de gran envergadura y métodos matemáticos, son una base para uso de toda la información disponible en el sistema de control. En el control convencional esta parte del lazo de control es realizado directamente por seres humanos.

Control computacional de sistemas complejos. Las tendencias actuales en el control de sistemas se dirigen a consolidar la multiplicidad de unidades controladas independientemente en procesos únicos controlados en forma óptima. En sistemas de control de proceso industrial, en general, no es práctico funcionar durante mucho tiempo en régimen permanente, debido a que pueden ocurrir cambios en las necesidades de producción, materias primas, factores económicos y técnicas y equipos de procesamiento. Por tanto, puede tenerse en consideración el comportamiento transitorio de los procesos industriales. Como hay interacciones entre las variables en los procesos, no es adecuado el utilizar una sola variable de proceso para cada elemento de control, a los fines de lograr un control realmente completo.

Utilizando control por computadora es posible tomar en cuenta todas las variables de proceso, juntamente con los factores económicos, requisitos de producción, funcionamiento de equipos, etc.; y, por tanto, lograr el control óptimo de los procesos industriales.

Nótese que un sistema capaz de controlar tan completamente como sea posible un proceso, ha de resolver ecuaciones complejas. Cuanto más completo el control, más importante es que se conozcan y utilicen las relaciones correctas entre las variables operativas. El sistema debe poder recibir instrucciones de fuentes tan variadas como operadores humanos y computadoras y debe ser también capaz de modificar su subsistema de control totalmente en breve tiempo.

CAPITULO II

CONTROL DE MOTORES

CAPITULO II

CONTROL DE MOTORES

El motor es el móvil básico en un gran número de sistemas de control. Los motores son utilizados para operar elevadores y grúas, rodillos laminados, hilos para devanados y papel, para mover transportadores de correas, armas navales de manubrio y telescopios de seguimiento, y herramientas para operar maquinaria, sólo por nombrar algunas aplicaciones. En sistemas simples es suficiente utilizar un interruptor para arrancar y parar un motor. En sistemas más complicados, los motores deben ser precisamente controlados (arranque, paro, reversa, cambios de velocidad), operados por intervalos específicos, y protegidos contra daños.

FUNDAMENTOS DE CONTROL DE MOTORES

Los controles de motor son diseñados para encontrar requerimientos de operación del motor bajo condiciones de carga especificadas y pueden ser automáticas o manuales. Los controladores manuales generalmente realizan operaciones simples. Los arrancadores de tres y cuatro puntos utilizados con motores de c.d. en derivación son ejemplos de controladores manuales. El operador sólo mueve una manivela lentamente hasta que el motor llegue a velocidad completa. Los controladores manuales son generalmente utilizados para operar una simple máquina y están usualmente localizados cerca de la máquina. Con control automático, se requiere un operador para iniciar el proceso, pero el control actual no requiere de intervención humana. Los arrancadores automáticos del motor, por ejemplo, reproducen sus características de arrancadores manuales y sólo requieren un operador para activar un botón

interruptor momentáneo. El interruptor puede ser localizado remotamente y utilizado para arrancar más de una máquina.

La mayoría de los controladores, manuales o automáticos, contienen uno o más dispositivos de protección para el motor. Esto incluye protección de sobrecarga, protección de bajo voltaje, y bajo voltaje de ruptura.

Los controladores manuales son básicamente dispositivos de malla abierta. La retroalimentación tiene que ser alimentada por el operador. Por ejemplo, con un controlador manual de velocidad, el operador fija el control para una velocidad específica. Cuando la velocidad cambia debido a la variación en la carga, el operador debe reajustar el controlador para regresar la velocidad al valor deseado. Los controladores automáticos pueden ser malla abierta o malla cerrada. En un sistema de malla abierta (no retroalimentación), el operador arranca el controlador, con el cual procede a través de una secuencia arreglada de eventos. Cualquier cambio en la secuencia debido a variaciones de potencia o carga, requiere intervención humana para reestablecer la secuencia.

Con un controlador automático de malla cerrada, la retroalimentación es utilizada para mantener las condiciones de operación deseadas. Por ejemplo, un controlador de velocidad automática mantendrá la velocidad al valor fijado aún con cambios en la línea de voltaje y carga (sin límites de diseño) sin la intervención humana. Esto significa que un dispositivo de retroalimentación como el tacómetro debe ser incluido con el controlador.

Mientras que el más común de los controladores de motor es utilizado para arranque, paro y variación de velocidad, otros son utilizados para posicionamiento. Se

utiliza un controlador de mando por impulsos para arrancar el motor repetidamente por periodos cortos de tiempo para mejorar un grado de rotación deseado. Algunos controladores incluyen dispositivos de tiempo para secuenciar uno o más motores a través de varias maniobras, por ejemplo, correr el motor 1 por un minuto, luego arrancar el motor 2 sólo si el motor 1 se ha detenido. El equipo usado hasta ahora para secuenciamiento, tiempo, y lógica era exclusivamente electromecánico (relevadores). Hoy en día, más y más control está siendo mejorado con dispositivos estáticos (electrónica). Con la creciente utilización del microprocesador, se pueden mejorar funciones complejas de control, y esto implica la creciente utilización del control estático.

COMPONENTES DE CONTROL

Interruptores y Circuitos Interruptores Automáticos (Breaker)

Un interruptor es utilizado para hacer, interrumpir o cambiar conexiones en un sistema eléctrico. Los interruptores de seguridad son dispositivos que se operan manualmente para conectar o desconectar la potencia a un circuito. La corriente nominal de los contactos del interruptor debe exceder la corriente nominal del dispositivo al cual la potencia está siendo aplicada. Es obvio que un interruptor de 1 ampere no puede ser utilizado para alimentar un motor que maneja 5 amperes.

El número de posiciones en un interruptor es designado como la *posición activa de contacto (throw)*, mientras que el número de interruptores que operan simultáneamente es designado como el número de polos. La figura 2.1 ilustra un interruptor de polo simple, posición

activa simple (SPST). Posición activa simple implica que sólo existe una posición, la cerrada. Polo simple significa que sólo existe un interruptor. El interruptor polo simple doble posición activa (figura 2.2) tiene dos posiciones etiquetadas con NO (normalmente abierto (open)) y NC (normalmente cerrado). El brazo del contactor o terminal común C hace contacto con NO mientras que NC se interrumpe. La figura 2.3 ilustra un interruptor doble polo doble posición activa (DPST). De hecho, esto es dos interruptores eléctricamente aislados operados simultáneamente por el mismo mecanismo. Para realizar funciones múltiples, los interruptores también están disponibles con tres, cuatro, o más polos.

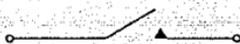


fig. 2.1



fig. 2.2



fig. 2.3

Un circuito interruptor activo (breaker) es un dispositivo utilizado para sensar sobrecarga e interrumpir la potencia a un sistema. Al revés de los fusibles, los cuales deben ser reemplazados después de una condición de sobrecarga, los breakers pueden ser regresados a la posición cerrada original. La mayoría de los breakers son diseñados para protección de corto circuito y pueden manejar la corriente pesada o arco el cual es creado cuando

se interrumpe un circuito. Algunos breakers de bajo voltaje emplean una banda bimetalica, la cual se flexiona debido a incrementos en temperatura en la vecinidad del motor causados por sobrecarga. El tipo bimetalico tiende a ser de accion lenta excepto para condiciones de corto circuito cuando se genera calor rápidamente. Los breakers magneticos utilizan una bobina de alambre enrollada alrededor de un inducido para abrir los contactos protectores debidos a condiciones de sobrecarga sostenida.

Relevadores

Un relevador es un interruptor electromagnetico el cual puede ser utilizado como un dispositivo de proteccion, un amplificador, o un elemento logico. Los componentes basicos del relevador son la bobina, la cual es enrollada alrededor de un nucleo de hierro, y uno o mas grupos de contactos como se ilustra en la figura 2.4. El relevador es energizado aplicando una corriente nominal o voltaje a la bobina. La corriente crea un campo magnetico el cual mueve el inducido para abrir o cerrar los contactos.

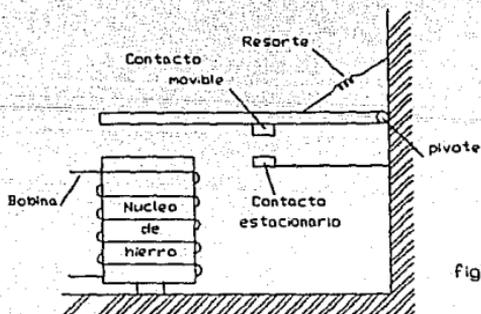


fig. 2.4

Tipicamente, un relevador utiliza bajo voltaje en la bobina para controlar grandes voltajes a través de los contactos. En un sistema de calefacción casero, el termostato es utilizado para aplicar 24 V a la bobina del relevador, el cual interrumpe 115 o 230 V para operar el ventilador del motor, como se muestra en la figura 2.5.

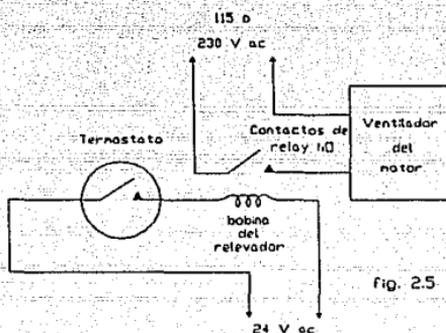


fig. 2.5

Los relevadores también pueden proveer un elemento enganchador. En muchos arrancadores de motor, el operador momentáneamente presiona un botón de arranque el cual activa un relevador para aplicar potencia al arrancador. En la figura 2.6 si el interruptor 1 es cerrado momentáneamente, el relevador energizará y cerrará sus propios contactos, etiquetado A₁. El relevador se mantiene a si mismo energizado a través de estos contactos aún después de que el interruptor 1 es abierto para proveer potencia al arrancador. Si el interruptor 2, el botón de paro, es abierto momentáneamente, el relevador desenergiza y remueve la potencia del arrancador.

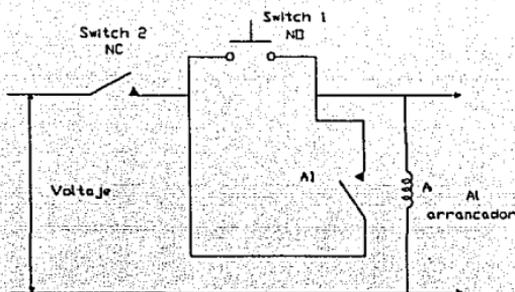


Fig. 2.6

Se utilizan relevadores de retraso de tiempo para proveer secuenciamiento de tiempo en circuitos de control o para prevenir sobrecargas repentinas provenientes de desconectar potencia a un circuito de control. El inducido en estos relevadores se mueve a través de un amortiguador de liquido similar al absorvedor de impacto en un automóvil. Una irrupción repentina de corriente a la bobina del relevador no puede vencer la fricción en el amortiguador. La corriente sostenida de magnitud propia causará movimiento al inducido después de un intervalo específico.

Dispositivos Sensores

Los dispositivos sensores son utilizados para proveer retroalimentación a circuitos de control. Por ejemplo, un interruptor de un flotador puede ser utilizado para parar un motor operando una bomba que abastece líquido a un tanque. Cuando el nivel alcanza un valor fijado en el tanque, el interruptor del flotador abre el contacto y para la bomba.

Los interruptores limite son utilizados para prevenir a un motor de voltearse o moverse más allá de cierto punto. En la figura 2.7 un motor es utilizado para posicionar una parte a la derecha a través de una caja de engranajes. En la posición derecha extrema, la parte pega el brazo del interruptor limite, causando que el interruptor abra el contacto y pare el motor.

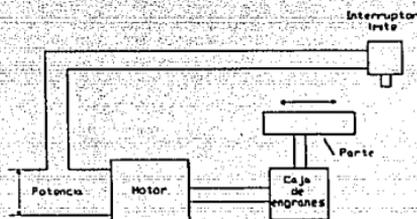


fig. 2.7

Un interruptor de clavija es utilizado para ocasionar que el motor pare abruptamente. Los contactos en el interruptor de clavija son operados centrifugamente y conectados para cambiar la polaridad del motor cuando se presiona el botón de paro. El rápido cambio de sentido causa una desaceleración rápida, la cual abre los contactos y desconecta la potencia.

Muchos otros dispositivos sensores proveen funciones de control de variables como presión y temperatura.

CIRCUITOS DE CONTROL

El diseño de circuitos de control es llevado a cabo preparando disagramas de circuitos los cuales utilizan representaciones simbólicas para los componentes varios. La interconexión entre estos componentes es actualmente la

"lógica" requerida para realizar funciones específicas.

Simbolos

La figura 2.8 ilustra un grupo típico de símbolos utilizados para circuitos de control de motores. Los contactos operados automáticamente en la figura 2.8a son mostrados en su estado desactivado. Los contactos de este tipo son parte de un relevador, arrancador o algún otro interruptor automático. La figura 2.8b representa los interruptores manuales tipo palanca. Los interruptores de botón de presión momentánea de la figura 2.8c son utilizados extensamente en arrancadores de motores. Las bobinas de relevadores y sus contactos asociados son mostrados en la figura 2.8d.

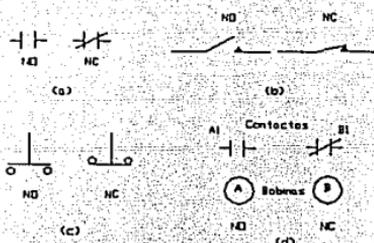
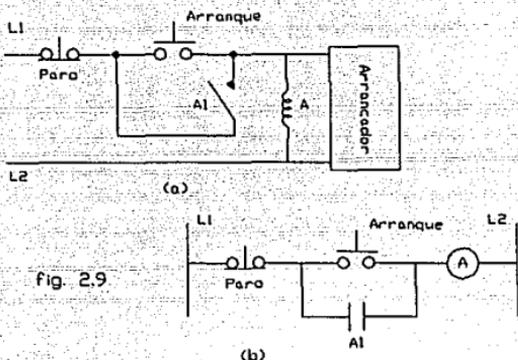


Fig. 2.8

Esquemático del circuito de control

La figura 2.9 muestra la diferencia entre un diagrama de alambre y un esquemático del circuito de control. La figura 2.9a muestra el circuito de retención utilizado para arrancar un motor automáticamente. Note la simplicidad del esquemático en la figura 2.9b. En diseño complejo de circuitos de control, el esquemático hace más sencillo para el ingeniero o técnico desarrollar la lógica requerida para realizar una secuencia específica de

funciones. Note que la figura 2.9b no incluye el arrancador. Sólomente muestra el circuito necesario para enganchar el relevador después de que el botón de arranque sea presionado.



Suponga que se quiere diseñar un circuito para arrancar dos diferentes motores pero el segundo motor puede ser arrancado sólo después de que el primer motor ha sido arrancado. La figura 2.10 muestra el circuito de control necesario para cumplir estas especificaciones. Cuando el interruptor 1 es presionado, el relevador A energiza y arranca el motor 1. Los contactos A₁ del relevador son utilizados para enganchar al relevador A, y los contactos A₂ permiten al motor 2 arrancar cuando el interruptor 2 es presionado. Si el interruptor de paro para el motor 2 es presionado, sólo el motor 2 se parará. Si el interruptor de paro para el motor 1 es presionado, el motor 1 se detiene pero los contactos A₂ del relevador también se abren y paran al motor 2.

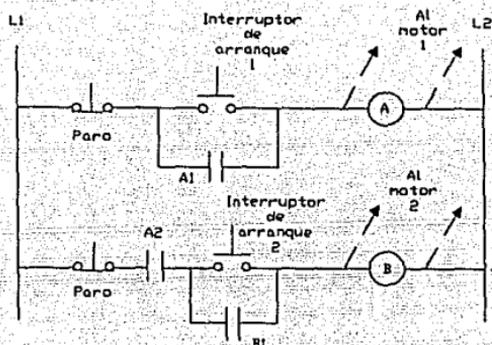


fig. 2.10

ARRANCADORES DEL MOTOR

Un arrancador es un componente de control utilizado para prender un motor y darle velocidad. Los arrancadores no sólo entregan potencia al motor sino también proveen la limitación de corriente necesaria para proteger al motor durante el periodo de inicio. En arranque manual, el operador usualmente mueve una palanca a través de una secuencia de posiciones. Los arrancadores automáticos son generalmente controlados por botones de presión momentáneamente remotos, los cuales activan un circuito lógico para llevar a cabo la secuencia de arranque deseada.

Arrancadores Manuales del Motor C.D.

Cuando un motor de c.d. es arrancado, la fuerza contraelectromotriz es tan baja que la línea de voltaje causará una gran irrupción de corriente al inducido. Un

resistor serie reducirá la corriente pero también previene a la corriente nominal de fluir cuando el motor gana velocidad. Para operación propia, este resistor serie debe ser reducido al irse incrementando la velocidad del motor para que finalmente caiga a cero con velocidad normal de funcionamiento.

La figura 2.11 ilustra un manual comercial de un arrancador para un motor en derivación c.d. Al rotar la palanca en sentido contrareloj, la resistencia serie es gradualmente reducida mientras el motor gana velocidad. En la posición extrema derecha, la resistencia es cero. El arrancador también tiene conexiones para proveer potencia para una bobina de retención y el campo en derivación. El imán retenedor energizado por la bobina es utilizado para retener la palanca en la posición RUN. La palanca es accionada por resorte y en el caso de que la potencia falle o la línea de voltaje se caiga, el magneto suelta la palanca y desconecta la potencia del motor.

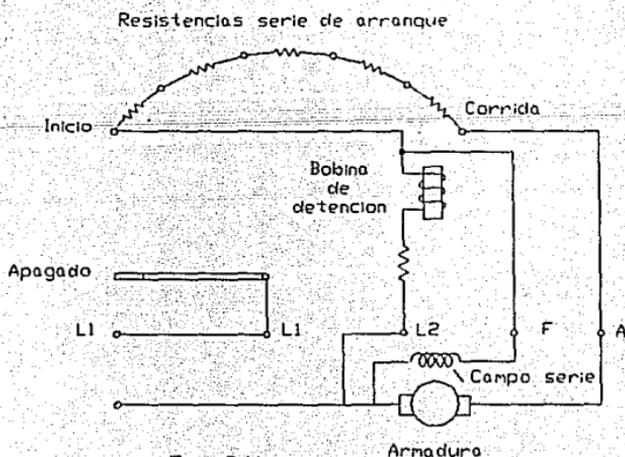


Fig. 2.11

Arrancadores Automáticos de Motores C.D.

Los arrancadores automáticos pueden ser dispositivos de malla cerrada o malla abierta. En un arrancador de malla abierta, la potencia del motor es controlada en una secuencia independiente de la operación del motor. La figura 2.12 muestra el esquemático del circuito de control para un arrancador de malla abierta el cual utiliza relevadores de retraso de tiempo para cortocircuitar las resistencias en serie con el inducido. Este esquema es únicamente diseñado para demostrar los principios del arranque automático y de ninguna manera está completo.

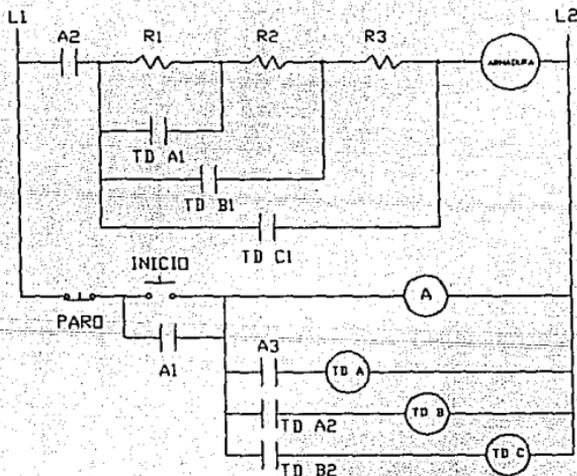


Fig. 2.12

Los arrancadores automáticos de malla cerrada utilizan retroalimentación para controlar la potencia del motor en respuesta a la operación del motor. La figura 2.13 ilustra el uso de relevadores conectados a través del

inducido el cual energiza a valores específicos la fuerza contraelectromotriz desarrollada por el inducido.

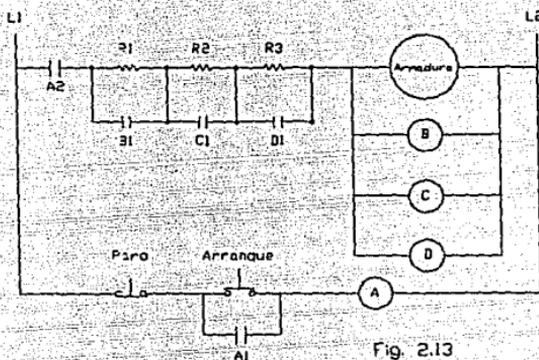


Fig. 2.13

CONTROL DE VELOCIDAD

Cuando el flujo del campo en un motor c.d. es reducido, la fuerza contraelectromotriz se cae, causando un incremento en la corriente del inducido. El incremento resultante en el torque desarrollado a una carga arreglada, incrementa la velocidad a un punto donde el torque entregado es reducido lo suficiente para conducir la carga a una velocidad mayor. De igual manera, un incremento en el flujo causa una reducción en velocidad. Un método común para controlar la velocidad de motores de derivación y de excitación mixta es cambiar la resistencia en el circuito del campo, por lo tanto cambiando el flujo del campo.

En servomecanismos que emplean motores c.d. con pequeños magnetos permanentes, la velocidad es automáticamente variada al cambiar el voltaje del inducido. Los cambios en el voltaje del inducido causan cambios en la corriente del inducido. La velocidad de motores de c.d.

mayores pueden también ser ajustados variando el voltaje del inducido a través de controles electrónicos empleando dispositivos como los controladores rectificadores de silicón (SCR).

La velocidad del motor también es afectada por cambios en la carga. Cuando se incrementa la carga, el motor baja su velocidad, para que la corriente de inducido pueda incrementar y alimentar el torque adicional requerido. La regulación de velocidad de un motor es definida por:

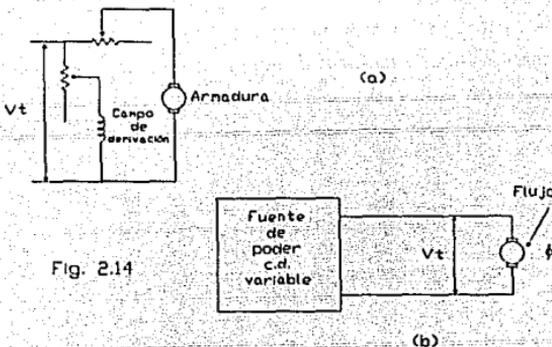
$$\text{Regulación (\%)} = \frac{n_{n1} - n_{r1}}{n_{r1}}$$

donde n_{n1} es velocidad sin carga y n_{r1} es velocidad a carga completa (nominal), ambos en revoluciones por minuto. Claramente, un gran porcentaje de revolución implica pobre regulación.

Métodos de Velocidad de Control

La figura 2.14a muestra como la resistencia de campo e inducida pueden ser variadas para cambiar la velocidad de un motor de c.d. Al incrementarse la resistencia de campo, el flujo se reduce y la velocidad se incrementa. Esta técnica tiene poco efecto en la regulación de velocidad debida a la variación de carga, pero si el flujo de campo es reducido considerablemente, pueden ocurrir incrementos extremos en velocidad. Cuando la resistencia en serie con el inducido es incrementada, la corriente del inducido cae y produce una reducción en velocidad. Sin embargo, esta técnica resulta en una pobre regulación de velocidad así como produce una considerable pérdida de potencia (calor) en la resistencia serie.

La velocidad del magneto permanente o motores de c.d. excitados separadamente puede ser ajustada variando el voltaje de c.d. aplicado al inducido, como en la figura 2.14b. Este método provee un amplio rango de variación de velocidad, relativamente baja pérdida de potencia, y buena regulación de velocidad. La variable voltaje de c.d. puede ser alimentada por un generador (sistema Ward-Leonard), un circuito rectificador convencional, un amplificador de potencia (aplicaciones de servomotores), o un control electrónico (SCR o equivalente).



Control Electrónico del Motor

El SCR provee un método conveniente y eficiente para controlar el voltaje de inducido c.d. para un motor desde una fuente de poder c.a. Cuando un voltaje c.a. es aplicado entre el ánodo y cátodo del SCR mostrado en la figura 2.15, la corriente puede fluir sólo durante la mitad del ciclo positivo de la onda seno. Aún más, la duración de este flujo c.d. puede ser controlada por la aplicación de un pulso de voltaje positivo a la compuerta. Controlando el tiempo al cual el pulso de la compuerta es aplicado, el

tiempo al cual el SCR es disparado puede ser cambiado. Por ejemplo, si el pulso de la compuerta es aplicado después de un tercio del medio ciclo positivo, el SCR sólo conducirá para los otros dos tercios del medio ciclo positivo. La variación de la corriente directa promedio a través del inducido debido a la aplicación controlada del voltaje de compuerta resulta en control de velocidad sobre rangos amplios.

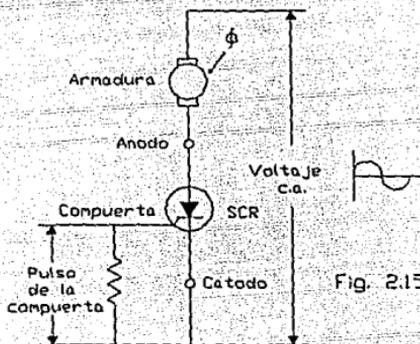


Fig. 2.15

Para reducir la ondulación debido a la rectificación de media onda, se utilizan generalmente configuraciones de onda completa como los circuitos puente SCR o circuitos de tres fases. En algunos casos, se utilizan 12 SCRs con tres fases potencia c.a. para proveer control de velocidad bidireccional. La velocidad de control de motores c.d. de magnetos permanentes pequeños puede ser llevada a cabo utilizando modulación ancho de pulso. Se utiliza un circuito integrado para cambiar el ciclo de trabajo (tiempo "ON") de una serie de pulsos cortos de voltaje constante aplicados al inducido. Ya que esto, en efecto, cambia el promedio del nivel de c.d. en el inducido, la velocidad variará con el tiempo "on" de los

pulsos.

Manteniendo la Velocidad Constante con Retroalimentación

Se utilizan dos métodos básicos de retroalimentación para mantener la velocidad y la carga en los cambios del motor. En el primer método, se utiliza un tacómetro para sensar la velocidad y variar el voltaje aplicado al motor en un sistema de malla cerrada estándar (figura 2.16). Para eliminar la ondulación y los efectos de carga de tacómetros de c.d. mecánicamente acoplados, pueden ser utilizados tacómetros de c.a. ópticamente acoplados cuando se desee un alto grado de velocidad de control. Estos sistemas emplean un cristal oscilador para proveer una frecuencia y una malla de fase sincronizada.

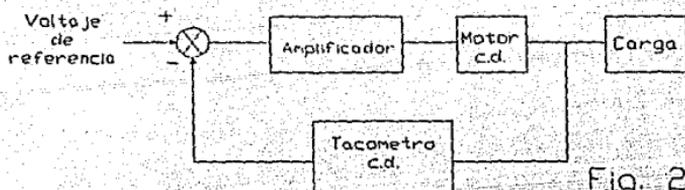


Fig. 2.16

El segundo método para velocidad de control utiliza la fuerza contraelectromotriz del motor para proveer la señal de retroalimentación. La figura 2.17 muestra un divisor de voltaje conectado a través del inducido del motor. Al incrementarse la carga del motor, la fuerza contraelectromotriz se reduce y el V decrece. La caída en el voltaje de retroalimentación causa que la señal de error se eleve e incremente el voltaje inducido aplicado al motor. Esto tiende a subir la velocidad del motor.

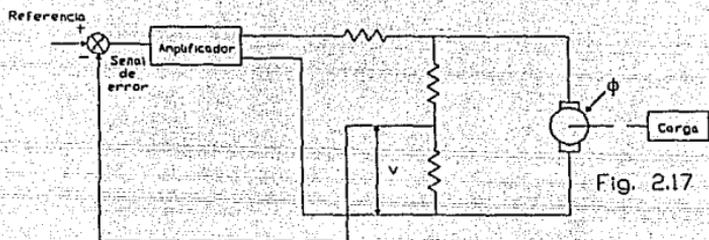


Fig. 2.17

Control de Velocidad de Motores sin Escobillas

Un motor sin escobillas usualmente contiene un rotor de magneto permanente, un estator devanado, y un método para sensar la posición del rotor. Interruptores electrónicos operados por los sensores de posición del rotor actúan como conmutadores para energizar el propio devanado del estator para continuar el torque en una dirección. Los motores sin escobillas requieren menos mantenimiento que los motores convencionales, eliminan el arco en las escobillas, son más eficientes que los servomotores pequeños, y permiten el uso de pequeñas señales para control de velocidad. La figura 2.18 muestra un motor sin escobillas de tres devanados el cual utiliza un método óptico para sensar la posición del rotor. Al dar vuelta el rotor, los sensores ópticos interrumpen los propios devanados. Ya que la circuitería de potencia está incluida en el motor sin escobillas, pueden utilizarse técnicas de baja potencia para velocidad de control. La modulación ancho de pulso puede ser utilizada para controlar el tiempo que los interruptores permanecen

encendidos después de que son interrumpidos por los fotosensores. Las señales electrónicas de interrupción pueden también ser utilizadas para proveer señales digitales proporcionales a la velocidad. La señal digital puede ser integrada a un servo de malla cerrada.

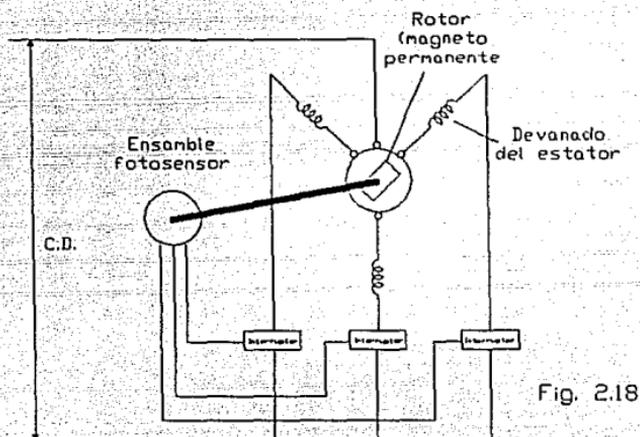


Fig. 2.18

CONTROL ESTÁTICO

Históricamente, el control automático de máquinas eléctricas era llevado a cabo con relevadores lógicos y circuitos de interrupción de relevadores. El requerimiento por bajo voltaje, altas velocidades, y circuitos lógicos complejos compatibles con computadora resultaron en el desarrollo de control estático. El control estático reemplaza dispositivos electromecánicos (relevadores) con componentes electrónicos.

La desición hecha en un circuito de control estático es realizada por elementos conocidos como compuertas lógicas, memoria, y retraso. La interrupción actual de la maquinaria puede ser realizada con relevadores de estado sólido.

Elementos de Control Estático

La compuerta lógica es diseñada para desarrollar una señal basada en la presencia o ausencia de otras señales. El control estático reconoce sólo dos señales llamadas ON y OFF, 1 y 0, o alto y bajo. La figura 2.19 compara un relevador de circuito lógico con un circuito estático AND. En el circuito relevador, si los tres interruptores están cerrados, la bobina del relevador F energizará y cerrará el contacto F1. El circuito estático AND muestra que F será ON sólo si las entradas A, B y C son todas ON.

La figura 2.20 ilustra una compuerta OR. En este caso, si uno o más interruptores están cerrados, el relevador es energizado. La compuerta estática OR proveerá una señal ON en F si la entrada A o B o C o cualquier combinación de entradas está en ON.

La función del relevador NOT en la figura 2.21 causa que el relevador normalmente cerrado del contacto F2 se abra cuando el interruptor A esté cerrado. En el circuito estático NOT, si A está en ON, F está en OFF y viceversa. Algunos sistemas de control estático emplean lógica NAND y NOR en lugar de AND y OR. Mientras que la configuración del circuito es diferente con NAND y NOR, los principios básicos son los mismos.

La memoria del relevador es un circuito de enganche descrito antes para arrancadores de motor. Cuando el botón momentáneo A en la figura 2.22 es presionado, el relevador F es enganchado por el contacto F1. El contacto F2 mantiene la potencia del motor. Cuando el contacto B es abierto, se suelta el enganche. En la memoria estática, si A está en ON momentariamente, F está en ON y permanece ON. Cuando B es puesto en ON momentariamente, F regresa al estado de OFF.

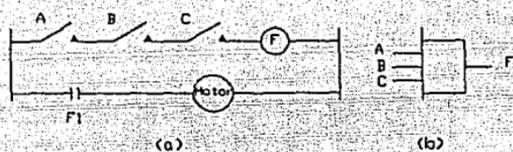


Fig. 2.19

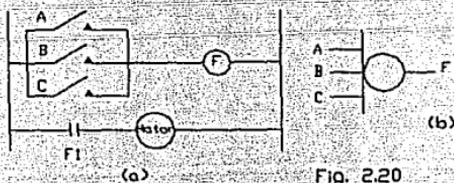


Fig. 2.20

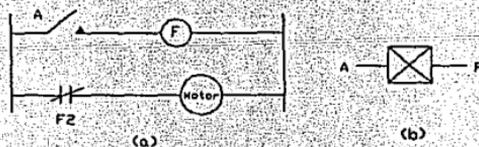


Fig. 2.21

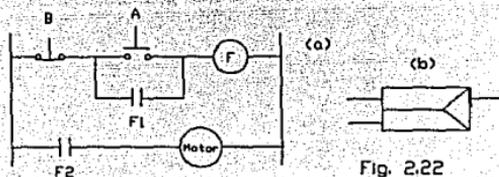


Fig. 2.22

Señales de Salida de Control Estático

La salida de los circuitos de control estático no pueden ser utilizados para conducir motores, relevadores, u otros interruptores directamente. En su lugar, estas señales son amplificadas antes de ser aplicadas a cualquier carga externa. Sin embargo, para muchas aplicaciones, los interruptores estáticos pueden ser conectados al circuito de control estático. El relevador de estado sólido es un interruptor estático utilizado para reproducir la acción de un relevador electromecánico. La señal lógica puede ser utilizada para operar un diodo emisor de luz (LED), el cual ópticamente acopla la señal a un circuito de interrupción de potencia.

Desarrollo de un Circuito de Control Estático

El desarrollo de un circuito de control estático simple es encender un pequeño motor mezclador sólo cuando un interruptor de nivel en el tanque mezclador está encendido; diez segundos después de que el motor arranca, enciende una válvula la cual alimenta materia prima al tanque. El circuito es mostrado en la figura 2.23. Cuando se enciende la señal de arranque, la memoria engancha la señal ON en A. Tan pronto como el nivel de interrupción produce una señal de ON en B, la AND prende la señal F, la cual activa el relevador de estado sólido y arranca el motor. La señal F también activa el elemento retardador el cual opera la válvula después de 10 segundos. Cuando se aplica una señal de paro a la memoria, se apaga la señal A, ocasionando que el motor se pare y que la válvula se cierre.

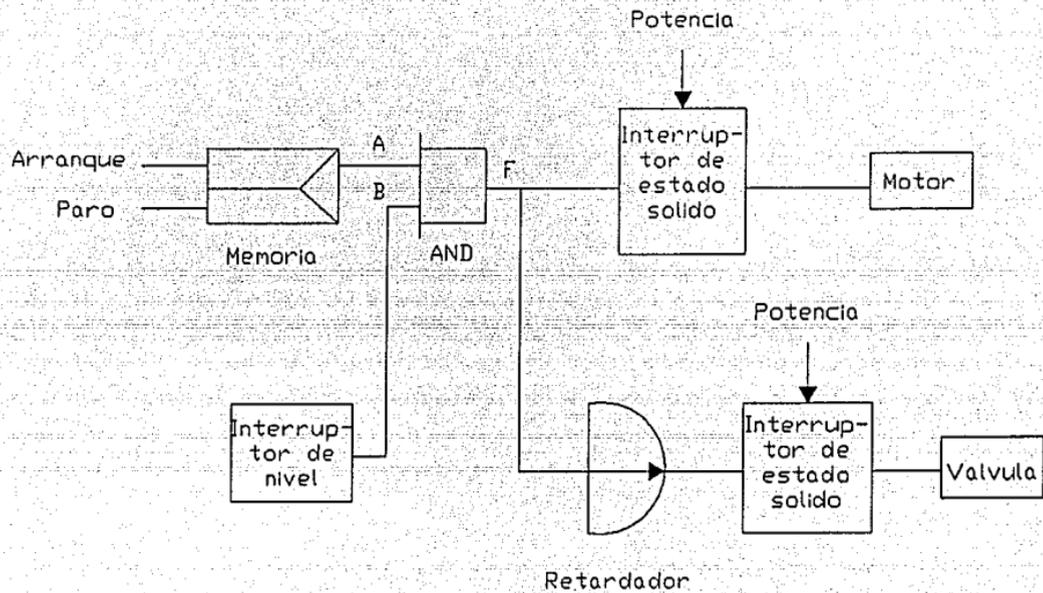


Fig. 2.23

CAPITULO III

SERVOS DIGITALES Y COMPONENTES

CAPITULO III

SERVOS DIGITALES Y COMPONENTES

En años recientes ha habido un incremento en el uso de computadoras digitales como medio para controlar servomecanismos. El advenimiento del microprocesador económico y fácil de utilizar, y la tremenda demanda de periféricos de computadora también ha puesto al control digital en contacto con los servomecanismos. Como resultado, el servo digital se ha vuelto tan importante como el servomecanismo lineal, si no es que más importante.

CODIFICADOR EJE

Este dispositivo electromecánico sensa la rotación mecánicamente y la convierte en una señal eléctrica. Existen dos tipos básicos de codificadores eje, incremental y absoluto.

Codificador eje incremental

El codificador eje incremental es aquel cuya salida es un pulso para cada cambio incremental en su posición de eje. Esto puede ser llevado a cabo de varias maneras. Dos maneras comunes para construir un codificador incremental son ópticamente o con contactos mecánicos. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran ambas técnicas para un codificador que sensa una rotación completa de 360 grados de su eje. En la figura 3.1, el disco previene a la luz de alcanzar su fototransistor, manteniendo a E bajo. Sin embargo, cada vez que la rendija pasa por la fuente de luz, el fototransistor disparará. Durante el tiempo que el fototransistor esté encendido, E será alto. Entonces se genera un pulso cada vez que la rendija pasa la fuente de luz. Obviamente, si el disco tiene cuatro rendijas

igualmente espaciadas, se generará un pulso por cada rotación de 90 grados en el eje. En general, para cada n rendijas igualmente espaciadas, se genera un pulso por cada rotación $(360/n)$ grados del eje:

$$\text{Angulo del pulso} = \frac{360}{n} \quad (1)$$

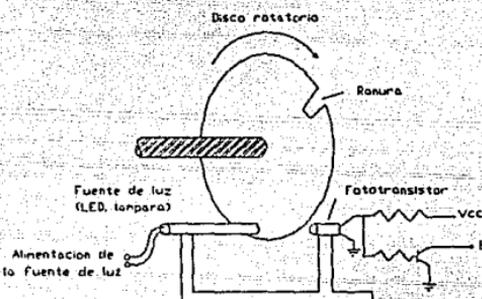


Fig. 3.1

En la figura 3.2, al rotar el disco, la base del transistor es aterrizada cada vez que el tabulador hace contacto con la escobilla. Esto causa que E crezca. Se genera un pulso por cada 360 grados de revolución del disco. De nuevo, si existen 18 tabuladores igualmente espaciados, se generará un pulso por cada 20 grados. Esto puede ser calculado usando la ecuación 1.

La desventaja obvia de los codificadores descritos es que no se obtiene alguna información acerca de la dirección de rotación o la posición exacta del eje. Esto se puede corregir con una construcción más compleja. Algunas impresoras usan un codificador como el mostrado en la figura 1 para sensar si la cabeza impresora o carro ha alcanzado el final de la página. En este punto, un pulso

generado por el codificador es usado para conducir un motor de pasos, el cual causa que el carro (o cabeza impresora) regrese.

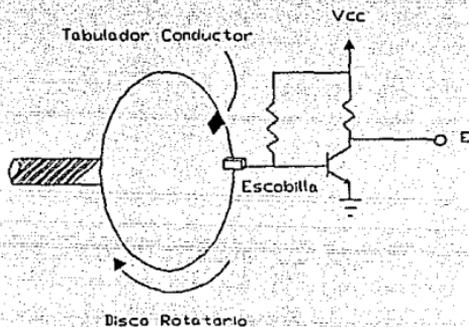


Fig. 3.2

Codificador eje absoluto

Un codificador absoluto tiene la ventaja sobre el codificador incremental de habilitar al usuario para determinar la posición actual del eje en todo momento. También consiste de un disco, pero en este caso, el disco es dividido en varios círculos concéntricos cada uno de los cuales representa un bit de información digital. El círculo exterior representa el bit menos significativo mientras que el círculo interior representa el bit más significativo. Cada círculo es dividido en porciones de superficies conductoras y no conductoras. Por cada bit tenemos una escobilla la cual hace contacto con el círculo, determinando así si el bit es alto (1) o bajo (0). (Los dígitos binarios están en letra más gruesa para mayor claridad). Un codificador eje de tres bits binarios es mostrado en la figura 3.3. La porción oscura de cada círculo puede ser conectada a través del anillo conductor a una fuente de 5 V, y las porciones de luz pueden ser

aterrizadas (5 V representarían así un 1 y 0 V representarían un 0).

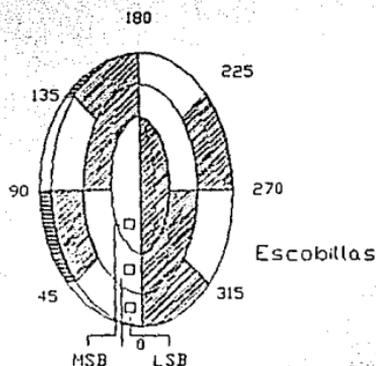


Fig. 3.3

Note que al dar vuelta el disco en sentido contrario a las agujas del reloj, los bits contarán desde 000 a 111 en binario. El hecho de que haya 3 bits, significa que tenemos 8 (2^{*3}) estados posibles. Dividiendo 360 grados por 8, significa que cada cuenta binaria desde 000 hasta 111 representa una rotación angular de 45 grados. La resolución del codificador de tres bits es por lo tanto 45 grados. Si el codificador tiene una salida de 011, la rotación del eje será un ángulo de 135 a 180 grados. Para mejorar la resolución, se requieren más bits.

Una de las desventajas de un codificador binario viene del hecho de que entre dos pasos, varios bits pueden cambiar de estado. Si las escobillas están levemente desalineadas, puede resultar un tremendo error. Como ilustración considere el codificador de la figura 3.3. Si el eje fuera desplazado 181 grados de su posición de cero, la salida leería 100. Sin embargo, si la escobilla del bit

más significativo estuviera levemente desalineada, la salida leería 000, aumentando un error correspondiente a cuatro pasos del codificador. Este problema de desalineación es un poco remediado por el uso del código de Gray en el disco en lugar del código binario. Aun cuando los errores de desalineación pudieran ocurrir, no serán tan severos como en el código binario. El error es minimizado por que entre dos estados subsecuentes sólo un bit cambia.

Se muestra un diagrama de un codificador eje Gray de tres bits en la figura 3.4. Aun cuando la salida del codificador binario puede ser alimentada directamente a una computadora, el código de Gray puede ser fácilmente convertido a binario con un mínimo de hardware.

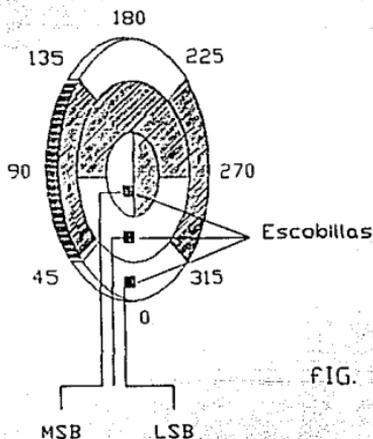


FIG. 3.4

Si el problema de desalineación considerado para el codificador binario es examinado aquí, encontraremos que el error será mucho más pequeño. Cuando se voltea al eje 181 grados, la salida de Gray será 110. Sin embargo, debido al desalineamiento considerado anteriormente, la salida será 010, lo que corresponde a un error de un paso del

codificador. Para el desalineamiento considerado, el error para el codificador binario era cuatro veces mayor.

SOLENOIDE

El solenoide es un componente electromecánico encontrado en varios servomecanismos digitales. Es un dispositivo que convierte energía eléctrica en movimiento mecánico. Un voltaje aplicado causa que una corriente fluya en una bobina de alambre montada en un armazón metálico. La corriente crea un campo magnético, el cual tiende a jalar un pistón de metal dentro de la bobina hasta que tope firmemente contra el armazón.

La figura 3.5 es un dibujo simplificado de un solenoide. Muestra el pistón bajo carga desplazado a la derecha. Cuando la bobina es energizada, la fuerza magnética desarrollada jala el pistón (y la carga, ya que están unidos) a la izquierda hasta que pega con el armazón. La distancia que recorre el pistón es llamada el *curso* del solenoide. La fuerza ejercida por el pistón es especificada por un solenoide dado a un voltaje dado.

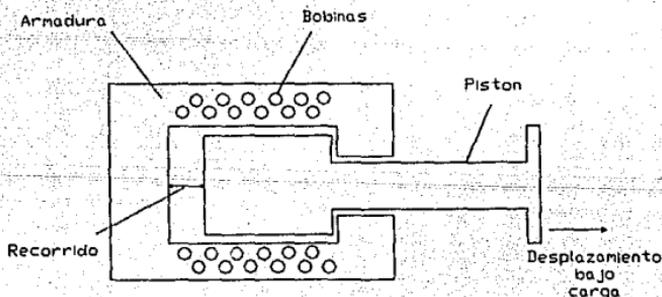


Fig. 3.5

En un solenoide de c.a. una alta corriente es *drawn* cuando la bobina es energizada. Esta corriente decrece cuando el pistón se cierra y se ajusta a una corriente de sostén baja cuando topa con el pistón. Si el pistón está sobrecargado u obstruido, no cerrará todo el camino. Esto significa que una gran corriente continuará fluyendo en la bobina. Eventualmente, el aislamiento de la bobina fallará y la bobina se eliminará por corto circuito. Ya que la corriente *drawn* al inicio de un ciclo de operación es alta, un solenoide diseñado para trabajo intermitente puede sobrecalentarse y eliminarse por corto circuito cuando se le sujeta a trabajo continuo.

En solenoides de c.d., la corriente permanece constante a través del golpe, y por lo tanto los problemas antes descritos no existen.

CONFIGURACION DEL SISTEMA

Existen dos tipos básicos de servomecanismos digitales. El primero involucra el uso de señales digitales para controlar un sistema análogo (figura 3.6). El segundo involucra el uso de señales digitales para controlar un sistema incremental (figura 3.7).

Las siguientes definiciones se aplican a componentes en las figuras 6 y 7.

Equipo de comando digital. Este agrupa varios dispositivos periféricos los cuales alimentan información (usualmente en forma binaria) para un sistema de control. Estos dispositivos incluyen una cinta magnética o disco, disco floppy, cinta de papel, o tarjeta lectora. Una computadora por sí misma puede ser utilizada para alimentar la entrada al sistema.

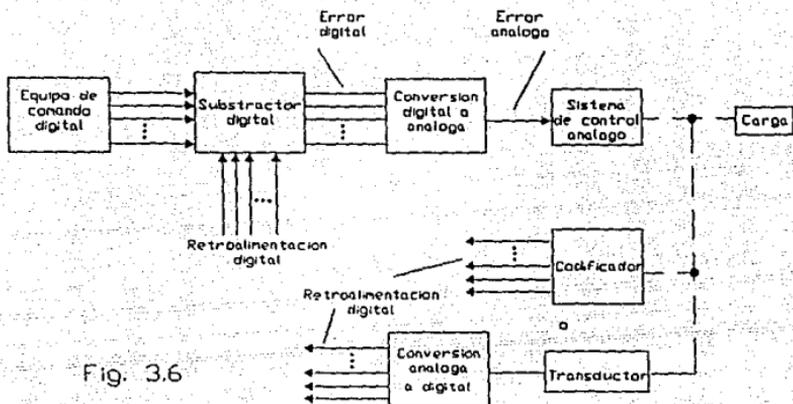


Fig. 3.6

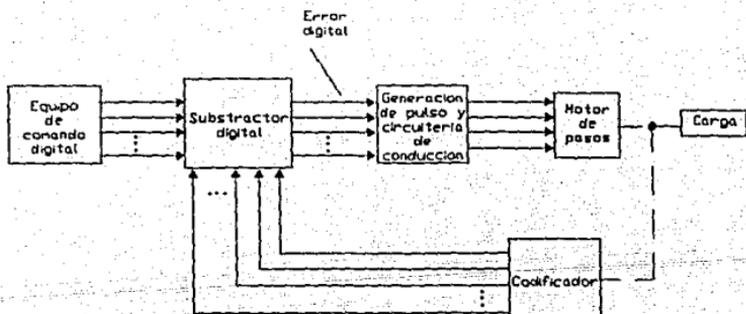


Fig. 3.7

Substractor digital. Este consiste de circuiteria lógica que toma la diferencia entre la entrada digital y las señales de retroalimentación digitales.

Con ertidores D/A A/D. Estos representan componentes que convierten señales digitales a una señal equivalente analógica y viceversa. Generalmente, se necesitan cuando una computadora digital tiene interfaz con un sistema analógico.

Se debe notar que si los codificadores utilizados en las figuras 6 y 7 producen una salida en un código diferente al binario, por ejemplo el código de Gray, se necesita un componente adicional para convertir ese código a binario.

Cuando una computadora digital es utilizada en un sistema de control, puede ser utilizada dentro (sistema línea encendida) o fuera (sistema línea apagada) de la malla. Un sistema de línea encendida es donde la computadora continuamente monitorea y corrige el sistema automáticamente contando con el equipo de interfaz indicado, también alimenta información a la computadora, y manualmente toma pasos correctivos. El diagrama de bloques general para ambos sistemas es mostrado en las figuras 3.8 y 3.9.

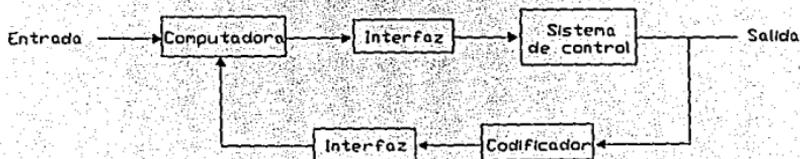


Fig. 3.8

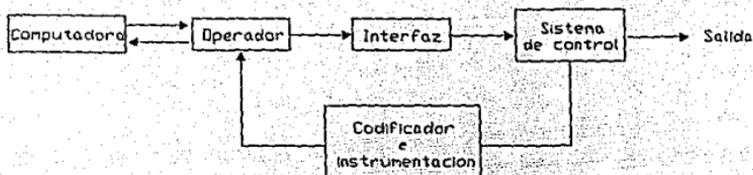


Fig. 3.9

COMPARACION DE CONFIGURACION DE SISTEMAS.

Los motores de pasos siempre muestran una oscilación amortiguada cuando se le encomienda una posición específica o realizar un stepping continuo. Esta oscilación puede ser reducida en una gran extensión. Una técnica es utilizar un amortiguador mecánico montado en un eje ya sea interno o externo. Otra técnica utiliza un fluido viscoso amortiguador de silicón interno con el cual una respuesta cercana a amortiguación crítica puede ser obtenida. En ambos casos, la respuesta del paso es incrementada.

Por otro lado, los servos análogos pueden ser electrónicamente amortiguados para eliminar la sobretensión y la oscilación completamente. Aún más, con la utilización de otras técnicas de compensación se puede eliminar virtualmente un incremento en la respuesta de paso.

En adición, los motores de paso son limitados a aproximadamente 2000 pasos por segundo debido a la rapidez de respuesta de la potencia limitada en los devanados del campo del motor (carga inductiva). Por otro lado, los servos análogos están limitados en velocidad por la rapidez de respuesta de la señal de control, la cual es mucho más grande. Pueden obtener velocidades en el orden de 50,000 pasos por segundo.

La principal ventaja del motor de pasos es el costo y simplicidad del sistema. Si la velocidad limitada, leve sobretensión, y la oscilación amortiguada son aceptables, un sistema incremental sería la elección sobre un sistema análogo.

ENLAZANDO LA COMPUTADORA Y EL SISTEMA DE CONTROL

Hasta ahora, el enlace entre la computadora y el sistema de control era sólo para sistemas de control de larga escala. Las minicomputadoras, ya sea de propósito especial o propósito general, eran enlazadas con un sistema a un costo enorme. El costo de la computadora generalmente excedía el costo del sistema al cual se enlazaba. El bajo costo y tamaño pequeño de la microcomputadora han habilitado al ingeniero a utilizarla en casi todos los tipos de sistemas de control.

La computadora tiene dos configuraciones básicas incluyendo sistemas de control, línea apagada y línea prendida: Cuando la computadora es conectada en línea apagada, se alimentan datos del sistema a ella por un operador. La computadora puede tomar este dato y utilizarlo para proveer una solución a un problema complejo. De la solución, el operador puede alimentar entradas al sistema para alterar su comportamiento o tomar acciones correctivas. Las ventajas de la computadora en este caso son alta velocidad y exactitud. Si ha sido correctamente programada, la computadora puede solucionar el problema en pocos segundos con mucha exactitud. Si un ingeniero fuera a resolver el problema, le tomaría minutos, posiblemente horas, hacerlo. En adición, al ser humanos, los ingenieros son susceptibles de cometer errores. Un ejemplo de esta aplicación es la tarea de mandar un cohete a la luna. Durante el vuelo, se deben tomar acciones correctivas debidas a eventos inesperados. Una computadora en la tierra

es utilizada en línea apagada para resolver el problema con rapidez y exactitud. Los resultados son entonces utilizados para dar comandos al sistema de una estación transmisora en la tierra.

Cuando la computadora es conectada en línea preñada, reemplaza al hardware (la electrónica). El costo de materiales y la labor necesitada para construir la circuitería es tremendamente reducida. En adición, los costos de mantenimiento son reducidos por que el hardware, que ocasionalmente falla, ha sido reemplazado con software (un programa de computadora), el cual es mucho más confiable. La exactitud del sistema también es mejorada por que las ganancias de hardware, las cuales dependen de las resistencias y capacitancias (cuyos valores cambian con el uso), son reemplazadas con software. El software no cambia con el uso; permanece exactamente como cuando fue originalmente creado. Encontramos una ventaja final de un sistema de control computarizado sobre un sistema 100 por ciento de hardware. Algunas veces un sistema ha estado operando en determinada manera por un tiempo. Cuando se desean cambios en su operación, se involucra un gran trabajo para hacer los cambios en software. En la computadora, los cambios se hacen simplemente cambiando una instrucción en el programa. Este principio encuentra actualmente un gran uso en sistemas complejos de telefonía. Los números telefónicos son controlados por un microprocesador. Cuando se cambian números de extensión, los cambios de cableado son reemplazados por cambios en el programa del microprocesador.

TRANSMISION DE DATOS PARALELO CONTRA SERIE

Cuando una computadora es enlazada con un sistema de control, los datos deben ser transferidos de uno a otro. Ya que la computadora opera sólo en datos paralelos, se

debe hacer una conversión a esta forma.

Cuando la computadora se localiza cerca del sistema, el dato es transferido en paralelo. Para señales de alta frecuencia, las cuales requieren frecuencias de muestreo rápidas, la conversión de analógico a digital debería tomar lugar tan cerca a la computadora como sea posible. La salida del convertidor A/D debe ser entonces en paralelo.

Cuando el sistema es localizado a cierta distancia de la computadora, puede ser conectado a la computadora por un cable, el cual debe ser un conductor doble retorcido para reducir los efectos de fenómenos transitorios recogidos del área que lo rodea. La señal puede ser dato serial digital o dato analógico con la conversión tomando lugar en la locación de la computadora. El dato analógico es preferido cuando se involucran frecuencias de muestreo altas.

A muy largas distancias un cable de conexión es impráctico o imposible. Una estación seguidora que controla la ruta de un satélite es un ejemplo perfecto. En este caso, el dato es usualmente en forma serial digital y transmitido por ondas de radio utilizando una modulación código de pulso (PCM).

ENLAZANDO DATOS SERIALES

En muchos casos los datos digitales son recibidos en forma serial. Si se reciben sobre una línea telefónica, serían datos seriales binarios.

Cuando una línea telefónica es utilizada para conectar un dispositivo de entrada como un teletipo a una computadora, se utiliza un dispositivo llamado MODEM

(modulador-demodulador). El teletipo es conectado a una línea de teléfono por un MODEM originar. El dato serial alimentado al MODEM del teletipo es convertido a señales análogas. Si el dato es un 1, el MODEM manda una señal de 1270 Hz. Si el dato es un 0, el MODEM manda una señal de 1070 Hz. Al final de la computadora de la línea de teléfono se encuentra otro MODEM el cual es llamado el MODEM respuesta. El MODEM respuesta recibe las señales análogas y reconstruye el dato serial para ser alimentado a la computadora. Cuando la computadora manda datos a imprimir por el teletipo, manda datos seriales para el MODEM respuesta. El MODEM respuesta convierte el dato a forma análoga convirtiendo un 1 en una señal de 2225 Hz y un 0 a una señal de 2025 Hz. Estas señales son entonces recibidas por el MODEM originar, el cual los reconvierte a serial binario. El dato serial ahora toma alimentación en el teletipo, y el mensaje es impreso. Sin embargo, cuando el dato es transmitido sobre ondas de radio, probablemente será una señal PCM (código de pulso modulado).

Modulación Código de Pulso

La modulación código de pulso (PCM) se refiere a la técnica de tomar una señal de nivel discreto (señal cuantificada) y convertirla a un código binario para transmisión. Primero, la señal se codifica. Después de codificada, la señal PCM es serialmente transmitida. Usualmente el bit menos significativo es transmitido primero por cada nivel sucesivo de la señal cuantificada. En la recepción, la señal PCM es decodificada, generalmente con un muestreo, el cual debe ser sincronizado a la transmisión del bit. Entonces es convertido a su estado original cuantificado.

Cuando la transmisión serial de datos es utilizada, el dato no puede ser alimentado directamente a

una unidad microprocesadora (MPU). Se debe utilizar un dispositivo de interfaz que reciba datos seriales, convertirlos a datos paralelos, y luego alimentarlos a la MPU. En adición, el dispositivo debe ser capaz de aceptar datos paralelos de la MPU y convertirlos a su forma serial propia para transmitir de regreso al sistema.

ENLAZANDO DATOS PARALELOS

Ya que la MPU es construida para operar internamente con datos paralelos, es desable enlazar en paralelo cuando sea posible. Cuando el tiempo es un parámetro critico, como es generalmente el caso cuando se utiliza una computadora, es particularmente importante enlazar en paralelo. Toma 8 veces más meter una palabra serial de 8 bits que una palabra en paralelo de 8 bits. Para el enlace serial, la entrada no puede ser alimentada directamente a la MPU.

Se debe utilizar un dispositivo especial para enlazar el dato paralelo con un microprocesador.

SOFTWARE: LA ALTERNATIVA PARA EL HARDWARE

Cuando se utiliza una MPU en un sistema encontramos una tendencia creciente a reemplazar algo del hardware digital o análogo con software. Como un ejemplo, cuando un sistema de control análogo es enlazado con una computadora, es necesario realizar una conversión A/D. Como una alternativa al utilizar un convertidor A/D, el costo por el cual la aplicación puede ser excesiva, uno puede reducir el gasto del hardware combinando un poco de software con un minimo de hardware.

La figura 3.10 muestra una configuración típica de un convertidor A/D software-hardware de aproximación

sucesiva. Es un diagrama general no completo. Los ajustes de calibración, balance, y voltajes de referencia, han sido omitidos por simplicidad. Las porciones complicadas del convertidor A/D, el bit programador-secuenciador y el registro de almacenamiento, han sido reemplazados por un programa de software (subrutina) y la memoria MPU, respectivamente. El programa realiza la operación de prender los bits IDAC o apagarlos empezando con el bit más significativo. Cuando la conversión esté completa, el programa indica el hecho produciendo un 1 en uno de los bits del canal de datos PIA (pulso EOC). El resultado de la conversión es almacenado en una dirección de memoria especificada por el programa. Y es entonces accesible para ser utilizado por el programa principal del sistema.

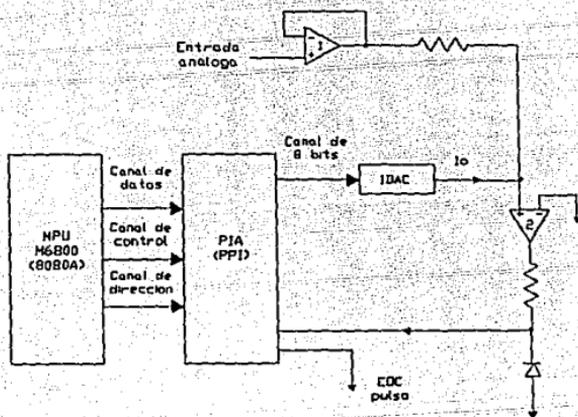


Fig. 3.10

Las únicas desventajas de esta técnica son el incremento de la memoria MPU utilizada y el tiempo de conversión. Para un convertidor A/D de 8 bits enlazado con una MPU se requieren aproximadamente de 40 a 50 locaciones de memoria para el control del A/D y PIA. Si la técnica de software descrita es utilizada, se necesitarían 100

locaciones de memoria. El tiempo de conversión al utilizar la técnica de software es cerca de 10 veces la de la técnica de hardware. Si se utiliza una computadora en un sistema grande, sería tonto parar lo que estuviera haciendo y gastar 500 μ s o más para realizar una conversión, pero en algunos casos sería la técnica preferida.

CAPITULO IV

MOTORES ELECTRICOS INDUSTRIALES

CAPITULO IV

MOTORES ELECTRICOS INDUSTRIALES

Aún descontando variaciones mayores de tipos básicos, y sorteando diferencias entre motores de diferente fabricación, existen marcas -y posiblemente cientos- de tipos de motores eléctricos. Docenas de tipos diferentes se encuentran en plantas industriales típicas.

Sin embargo, lo que son motores básicos para algunos ingenieros son motores especiales para otros. Los motores que puedan ser de interés primario para la ingeniería aeroespacial, máquinas diseñadoras de herramientas, o equipos oficiales de diseño son típicos de interés sólo periférico para la planta de ingeniería y viceversa. La planta de ingeniería tiene poco o nada que decir en la selección de los motores pequeños especialmente amueblados con muchos tipos de equipo. Y cuando estos motores fallan, la planta de ingeniería tiene poco que escoger más que reemplazar en tipo aún si el motor tiene poca elección para la aplicación.

Sólo pocos tipos de motores son de interés directo y significativo para plantas ingenieriles, por que dichas plantas pueden controlar su especificación para proyectos nuevos, modificaciones retroactivas, y reemplazos. Estos motores básicos son motores hp. integrales en tres clases principales: inducción de tres fases, corriente directa, y sincros de tres fases.

MOTORES DE INDUCCION DE TRES FASES

Los motores de inducción son la abrumadora mayoría de los motores en las plantas industriales ambos

desde un punto de vista numérico y desde un punto de vista de caballos de fuerza instalados. Todos operan bajo el principio del transformador, donde el voltaje aplicado en el primario induce un voltaje en el secundario.

Todos los motores de inducción tienen un estator devanado (el primario) conectado a una fuente de poder. El campo magnético producido por el primario, sin embargo, rota acerca del estator por virtud de la progresión de la corriente de c.a. a través del devanado. El voltaje inducido en el secundario (rotor) es, en turno, acompañado por un campo magnético. Ya que el rotor está libre de moverse, el movimiento es producido por la interacción de los flujos magnéticos.

Motor de Inducción Jaula de Ardilla - El motor jaula de ardilla, incuestionablemente el caballo de trabajo de la industria, puede ser considerado el estándar con el cual todos los otros motores industriales son comparados. Simple, vigoroso, y confiable, ofrece más caballos de fuerza por dolar que cualquier tipo de motor. La regla de la industria es usar un motor jaula de ardilla a menos que la aplicación requiera características especiales que no pueda proveer.

El término jaula de ardilla es derivado de la construcción del rotor, el cual emplea conductores de barras sólidas de cobre o aluminio incrustados en el rotor de acero; todas las barras están conectadas a cada terminación por un corto anillo.

Una característica fundamental de todos los motores de inducción es que la velocidad permanece casi constante desde ninguna carga a carga completa, esto es tanto una ventaja como desventaja. La velocidad sincrónica

del motor es determinada por la frecuencia de la fuente de poder y el número de polos designados al motor. Todos los motores de inducción, sin embargo, operan a algo menos que la velocidad sincrónica por un factor conocido como deslizamiento; el deslizamiento incrementa de no carga a carga completa.

El desarrollo del conductor de frecuencia ajustable ha permitido al motor jaula de ardilla invadir una provincia que una vez fue casi exclusiva del dominio de los motores de c.d.: aplicaciones de velocidad ajustable.

Un conductor moderno de frecuencias ajustables es un dispositivo electrónico de estado sólido que recibe una entrada de potencia c.a. a una frecuencia base (60 Hz), convierte la entrada de potencia a c.d., y viceversa a una frecuencia seleccionada por el usuario. La frecuencia de salida puede ser muy lejana o cercana a la frecuencia base; y por que la velocidad de un motor de inducción varía directamente con la frecuencia, el motor puede ser operado muy lejano o cercano de su velocidad de placa.

En general, cualquier motor jaula de ardilla puede ser convertido a un motor de ajuste de velocidad con un conductor de frecuencia ajustable. Usualmente, aún cuando si se requiere de alguna corrección, depende del tipo de inversor de frecuencia, del factor de servicio del motor y del rango de velocidad. Los problemas están especialmente ligados para levantarse con motores largos y en aplicaciones que requieren velocidad baja, si el motor no está propiamente conectado al conductor. Siempre es buena idea consultar al fabricante del motor para determinar si el motor actuará de manera correcta en la aplicación. Algunos fabricantes también ofrecen paquetes motor/conductor en los cuales el motor es específicamente

"jalado de la cola" al drive para desempeño óptimo.

No existen reglas obligatorias que puedan ser aplicables en todos los casos - desde un punto de vista de costos o desempeño - para determinar si un paquete conductor de frecuencia-ajustable/ motor jaula de ardilla o un conductor c.d./motor c.d. es la mejor elección; cada aplicación debe ser evaluada individualmente. Cada tipo de sistema tiene sus propias ventajas y desventajas que deben ser consideradas en luz de la aplicación particular.

Motores de inducción de rotor de enrollamiento -

El estator de un motor rotor de enrollamiento es similar al de un motor jaula de ardilla, pero el circuito eléctrico del rotor es bastante diferente. En lugar de conductores de barra-sólida, el circuito del rotor usa bobinas de enrollamiento. Y en lugar de ser cortocircuitado a la vuelta final, las bobinas están conectadas a anillos de deslizamiento en el eje del rotor. El circuito eléctrico del rotor es completado a través de escobillas de carbón montadas en anillos de deslizamiento, y un banco externo de resistencias variables para la máquina.

El deslizamiento y torque de un motor de inducción están afectados por el diseño del rotor, y ambos varían con la resistencia del circuito eléctrico del rotor. Por lo tanto, el deslizamiento y el torque pueden ser variados, variando la resistencia en el banco de control de resistencias.

Los motores de rotor de enrollamiento son usados cuando el torque deba ser controlado, o cuando se desee control de velocidad limitada. Aplicaciones tradicionales incluyen conductores de grúas, cabrias, portadores y aplicaciones de bombeo llamadas para control de límite de

velocidad. Están siendo, sin embargo, suplantadas en cierta extensión en dichas aplicaciones por paquetes de motores/conductores de c.d. y paquetes de motores/conductores de frecuencia ajustable. La ventaja del torque controlable de los motores de rotor de enrollamiento también ha sido retada por los controladores electrónicos de voltaje variable de estado sólido que pueden proveer un arranque suave para motores jaula de ardilla.

Motores de Multivelocidad - Los motores de multivelocidad son motores de inducción jaula de ardilla de enrollamiento de tal manera que la configuración del polo pueda ser cambiada cambiando las conexiones del devanado en el controlador del motor. Pueden ser enrolladas con uno o dos grupos de devanados para proveer una amplia variedad de radios de velocidad. Motores de dos velocidades son muy comunes, pero también están disponibles motores que proveen más velocidades.

Motores Parte-devanados - Estos son motores jaula de ardilla con el devanado arreglado para que parte del devanado pueda ser energizado en el arranque y el resto en uno o más pasos. Son usados cuando se requiere torque de arranque o cuando la carga de la corriente de arranque del sistema de potencia deba ser reducida.

MOTORES DE C.D.

A pesar de que el conductor electrónico de frecuencia-ajustable de estado sólido tiene un uso extendido del motor jaula de ardilla para aplicaciones formalmente reservadas para el motor c.d., la electrónica de estado sólido también ha dado una tremenda ayuda al motor c.d., haciendo sus características deseadas realizables en aplicaciones que no eran factibles en el

pasado.

En el pasado, una razón primaria para presidir las ventajas del motor de c.d. en muchas aplicaciones - y hacerlas funcionar con un motor c.a. - era el problema de proveer una fuente de poder de c.d. El estado de arte en fuentes de poder de c.d. era el motor - generador (M-G), con su costo inicial alto y requerimientos de mantenimiento. Dos productos electrónicos han relegado al M-G a la obsolencia.

El primero en venir a escena fué el rectificador estático simple, particularmente con la intención de realizar la función básica del M-G : proveer el volumen de potencia a un canal de c.d. El rectificador estático fué seguido por el paquete conductor de c.d. El conductor c.d. dispone de otro "deterrent" anterior para el uso de motores c.d.: la necesidad de proveer los reóstatos y otros elementos de control necesitados para arrancar el motor y para control de velocidad.

Un conductor de c.d. es típicamente (pero no necesariamente) dedicado a un sólo motor; contiene todos los elementos necesitados para suplir potencia, y controlar, el motor en un sólo paquete. Los conductores de c.d. están disponibles en versiones que aceptarán una amplia variedad de voltajes de entrada de c.a., ambos simples y de tres fases.

La ventaja principal del motor c.d. es excelente control de velocidad y desempeño sobre el rango entero desde cero hasta velocidad completa hasta máxima velocidad. Las máquinas c.d. son generalmente menos tolerantes en desarrollos de operación severas que las máquinas de c.a.; y el conmutador y las escobillas requieren mantenimiento

periódico. Los motores c.d., sin embargo, típicamente tienen mayor capacidad de sobrecarga temporal que las máquinas c.a., y son más indulgentes en malas aplicaciones y más tolerantes en abusos de operación. (Considere el abuso al que el arranque del motor está sujeto en un automóvil cuando se hacen intentos repetidos para arrancar una máquina mal dispuesta hasta que la batería se muere.) Y debido a una brecha grande de aire y espacio interpolar entre los polos del campo, los motores C.D. se prestan mejor para enfriarse; esta consideración puede ser importante en aplicaciones de baja velocidad o en ambientes hostiles cuando el motor debe ser tubo-ventilado por aire frío introducido por fuera del área.

Hay cuatro tipos básicos de motores c.d. industriales - *Shunt wound* (Enrollamiento de derivación), *Series wound* (Enrollamiento serie), *Compound wound* (Enrollamiento de excitación mixta) y Magnetismo permanente - pero cada tipo tiene numerosas variantes.

Los polos del campo de los motores c.d. son instalados en el armazón del motor. Se introduce a la corriente dentro de la armadura a través de escobillas que circulan en la superficie del conmutador. Como opuesto a los anillos de deslizamiento en un rotor de un motor de enrollamiento, el conmutador segmentado hace más que simplemente cerrar el circuito eléctrico del miembro rotatorio. El conmutador interrumpe la corriente de armadura para cambiar polaridades y para proveer la interacción magnética propia entre armadura y campo.

La velocidad de un motor C.D. es controlada variando la fuerza del campo o variando el voltaje de la armadura; cualquier método es fácilmente aplicable excitando separadamente el campo de derivación a través de

un empaquetado conductor estático. Al decrementarse la fuerza del campo con respecto a la corriente de armadura, la velocidad se incrementa, y viceversa. Para máquinas con devanados de derivación, la velocidad es usualmente controlada variando la fuerza del campo de derivación o variando el voltaje de la armadura; ya que el controlar la corriente de armadura incluye controlar corrientes más pesadas, es menos eficiente, y no provee tan buena regulación de velocidad. Los paquetes de conductores estáticos c.d. han simplificado grandemente el control de todos los tipos de motores c.d. La rotación de los motores c.d. es reversible revirtiendo la polaridad del campo con respecto a la armadura.

Motores de Enrollamiento de Derivación - Su nombre se debe a que en el pasado, el campo era conectado en paralelo (shunt) con la armadura; la velocidad era típicamente controlada con un reóstato en el circuito de campo. Ahora, sin embargo, los motores de enrollamiento de derivación son comunmente excitados separadamente por una fuente integral de voltaje variable con un paquete de conductor estático. Los motores de enrollamiento de derivación tienen excelentes características de regulación de velocidad. A menos que se desee variar la velocidad, ésta permanece casi constante en todos los valores de la carga normal.

Motores de Enrollamiento Serie - El campo de estos motores está en serie con la armadura; por lo tanto, la fuerza del campo se incrementa al incrementarse la corriente de armadura con carga, y la velocidad decrece. Los motores serie tienen torque especialmente alto a bajas velocidades y particularmente torque de arranque alto y capacidad de aceleración. Por esta razón, son comunmente usados como motores de tracción en vehiculos de potencia

eléctrica.

Se debe notar sin embargo, que al aproximarse a cero la carga, la velocidad puede volverse altamente peligrosa y causar la destrucción del motor. Por esta razón, los motores serie deben ser acoplados directamente a la carga conductora y nunca conectarse en la banda de transmisión.

Motores de Enrollamiento de excitación mixta - Este motor es un compromiso entre el motor de enrollamiento de derivación y el motor serie, teniendo ambos un campo de derivación y un campo serie. Como se puede esperar, sus características de carga, velocidad y torque caen entre las de un motor de derivación y un motor serie. Los motores de excitación mixta son un compromiso usado en aplicaciones que requieren características de torque, comparables con las de un motor serie y características de regulación de velocidad comparables con las de un motor de enrollamiento de derivación. Y ya que la sujeción es siempre impuesta por el campo devanado, un motor de enrollamiento de excitación mixta no puede "huir" a una carga cero como lo hace un motor serie.

Motor de Magnetismo Permanente - Estos motores de caballos de fuerza integrales fueron hechos posible por el desarrollo de mejores materiales magnéticos (notablemente tierra/cobalto raros) que permiten densidades de flujo magnético muy altas para ser desarrolladas en magnetos permanentes. Hasta hace pocos años, dichos motores estaban disponibles solo en potencia de caballos - fraccionales y tamaños pequeños de caballos de fuerza integrales, pero ahora se ofrecen en tamaños hasta de 100 hp (caballos de fuerza).

Los motores de magnetismo permanente tienen la ventaja de una construcción simple y alta confiabilidad mayor que los motores de campo de enrollamiento, por que se elimina cualquier falla posible de campo. Y ya que no se requiere potencia para la excitación de campo, operan a mayor eficiencia. Las características de velocidad/torque son esencialmente lineales. Obviamente, la fuerza del campo no puede ser variada si variamos el voltaje a través del campo; la velocidad de control es mejorada variando el voltaje de armadura.

MOTORES SINCRONOS.

El motor sincrónico requiere de entradas de potencia c.d. y c.a., y tiene dos características que lo distinguen particularmente de los motores de inducción y de c.d. La primera característica es que corre a velocidades sincrónicas exactas sobre el rango completo de carga cero hasta carga completa - sin ninguna necesidad de ajuste de velocidad - hasta el punto en el que el motor sale de sincronía y se atasca por sobrecarga.

Son las características únicas del segundo motor sincrónico lo más importante en la mayoría de las plantas industriales, aunque: El factor de potencia operante de la máquina puede ser variado. Puede por lo tanto ser usado para mejorar el factor de potencia mientras conduce su carga asignada.

Los motores sincrónicos industriales son usualmente prácticos sólo en multicientos de tamaños de caballos de fuerza y mayores, pero son una excelente elección donde cargas pesadas están en continua operación - especialmente en aplicaciones de baja velocidad. Un motor sincrónico de baja velocidad usualmente cuesta menos que un motor de

inducción de baja velocidad y menos que un motor de inducción y un reductor de engranaje.

La eficiencia de los motores síncronos también es típicamente mayor que aquella de los motores de inducción, con la disparidad incrementándose a bajas velocidades. Y un punto o dos de ganancia en eficiencia puede volverse en un tremendo ahorro en la cuenta de electricidad para una operación mayor del motor en un ciclo de trabajo pesado.

El estator de un motor síncrono es similar al estator de un motor de inducción. Y el rotor contiene conductores de barra sólida, llamados devanado amortiguador (o devanado de jaula), acortado en cada terminal por un anillo amortiguador. En alguna extensión, esta porción del circuito eléctrico del rotor asemeja a aquella del rotor jaula de ardilla. Sin embargo, el rotor del motor síncrono también contiene un devanado de campo c.d.

Desde el arranque, el motor actúa exactamente como un motor de inducción. Con el estator energizado, el devanado amortiguador realiza lo mismo que las barras del rotor en un motor jaula de ardilla para impartir movimiento al rotor. Pero al aproximarse el motor a velocidad síncrona, se aplica voltaje C.D. al campo del devanado del rotor. La fuerza desarrollada por el campo c.d. ejerce el torque de tracción necesitado para vencer el deslizamiento y jala al motor a sincronía. Cuando el motor es sincronizado, continuará operando a velocidad síncrona a menos que sea sobrecargado al punto en el cual su capacidad de torque de tracción sea excedido.

El factor de potencia de un motor síncrono va adelantado en fase, y el torque de tracción se incrementa al incrementarse el campo de excitación. En años pasados,

la excitación del campo c.d. del motor sincrónico era siempre aplicado a través de escobillas y anillos de deslizamiento, pero en años recientes las máquinas sin escobillas se han vuelto comunes. Estos motores típicamente obtienen su excitación de la armadura (montada en el eje del motor) de un generador de c.d. La salida del generador que va al campo del motor es ajustado variando la excitación del generador.

MOTORES ELECTRICOS DE MAYOR SIGNIFICANCIA PARA PLANTAS DE INGENIERIA

Existe un número sin límite de tipos de motores eléctricos, los motores universales, motores de pasos, motores con arranque capacitivo, motores que corren con capacitores, motores capacitores de dos válvulas, motores capacitores de deslizamiento permanente, motores de inducción, motores de histéresis, motores resistivos de fase de deslizamiento, motores de reluctancia, motores de torque, motores de repulsión inducción, motores de polo blindado con devanado en corto circuito y servomotores en ambas versiones c.d. y c.a. La mayoría de estos tipos no tienen relación directa con la planta de ingeniería, porque son típicamente adquiridos con equipo, y la planta de ingeniería tiene poco o nada que decir en su selección.

El diagrama de motores que se muestra a continuación, sin embargo, son de particular significancia para las plantas de ingeniería, ya que éstas típicamente controlan su selección, especificación, y aplicación - ya sea para proyectos nuevos, modificaciones retroactivas, o reemplazos.

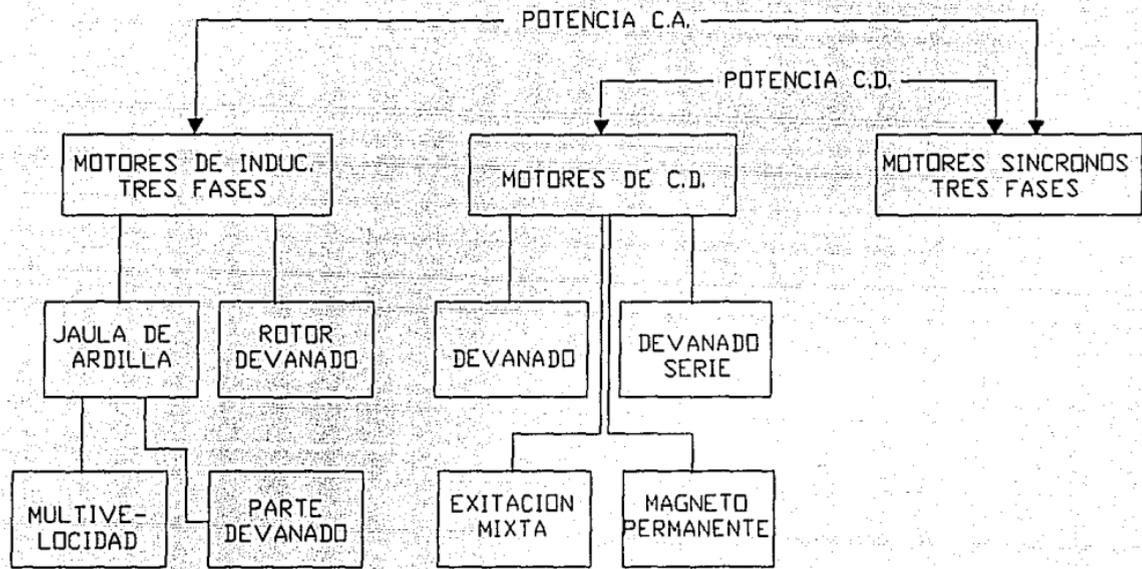


Fig. 4.1

CAPITULO V

SERVOMOTOPES

CAPITULO V

SERVOMOTORES

SERVOMEKANISMOS.

Un servomecanismo es un sistema de control realimentado en el cual la salida es alguna posición, velocidad o aceleración mecánica. Los servomecanismos son muy usados en la industria moderna, por ejemplo, en el funcionamiento automatizado de máquinas herramientas con instrucciones programadas.

SERVOMOTORES

Los servomotores que consideraremos son servomotores de dos fases, motores de corriente continua controlados en el inducido y motores de corriente continua de campo controlado. Primero consideraremos el efecto de la carga en la dinámica de los servomotores.

Efecto de la carga en la dinámica de los servomotores. La característica más importante del servomotor es la máxima aceleración que puede obtenerse. Para un par disponible determinado, el momento de inercia del rotor debe ser mínimo. Como el servomotor funciona bajo condiciones continuamente variables, de tiempo en tiempo se produce aceleración y desaceleración del rotor. El servomotor debe ser capaz de absorber energía mecánica así como generarla. Debe ser satisfactorio el funcionamiento del servomotor cuando se le utiliza como freno.

Sean J_m y f_m , respectivamente, el momento de inercia y la fricción del rotor y sean también J_L y f_L , respectivamente, el momento de inercia y la fricción de la

carga en el eje de salida. Suponga que el momento de inercia y la fricción del tren de engranajes son despreciables o están incluidos en J_L y f_L respectivamente. Entonces el momento de inercia equivalente J_{eq} y la fricción f_{eq} equivalente referida al eje del motor, pueden ser escritas como:

$$J_{eq} = J_m + n^2 J_L (n < 1) \dots \dots \dots (1)$$

$$f_{eq} = f_m + n^2 f_L (n < 1) \dots \dots \dots (2)$$

donde n es la relación de engranajes entre el motor y la carga. Si la relación de engranajes n es pequeña y $J_m \gg n^2 J_L$, el momento de inercia de la carga, referido al eje del motor es despreciable con respecto al momento de inercia del rotor. Similar argumento se aplica a la fricción en la carga. En general, cuando la relación de engranajes n es pequeña se puede obtener la función transferencia del servomotor eléctrico tomando en cuenta el momento de inercia y la fricción de la carga. Si, sin embargo, ni J_m ni $n^2 J_L$ son despreciablemente pequeñas una respecto a otra, hay que utilizar el momento de inercia equivalente J_{eq} para evaluar la función transferencia de la combinación motor-carga.

Ser omotores de dos fases. El servomotor de dos fases utilizado habitualmente en servomecanismos de instrumentación, es similar a un motor de inducción convencional de dos fases con excepción de sus consideraciones especiales de diseño. Utiliza un rotor en JAULA DE ARDILLA, el cual tiene una relación pequeña entre diámetro y longitud para llevar al mínimo el momento de inercia y para obtener una buena característica de aceleración. El servomotor de dos fases es muy robusto y confiable.

En muchas aplicaciones prácticas el rango de potencia en el cual se usan servomotores de dos fases va desde la fracción del volt hasta los centenares de volts.

En la figura 5.1 se puede ver un diagrama esquemático del servomotor de dos fases. Aquí una fase (campo fijo) del motor es continuamente excitado por la tensión de referencia, cuya frecuencia usualmente es de 60, 400 o 1000, y la otra fase (campo de control) es alimentado con la tensión de control (una señal con portadora suprimida) la cual está defasada 90° respecto a la tensión de referencia. La tensión de control es de amplitud y polaridad variable.

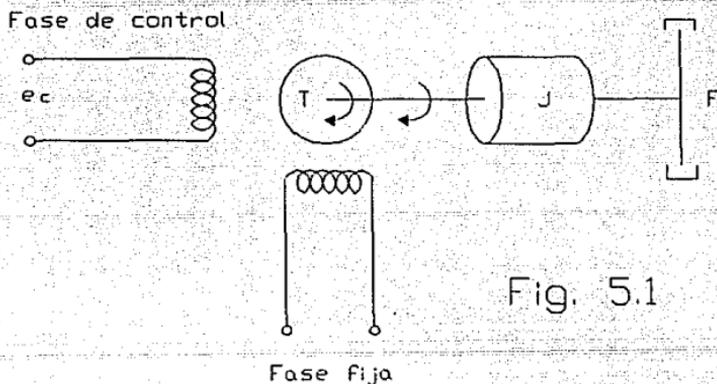


Fig. 5.1

Nótese que la tensión de la fase de control está defasada 90° con respecto a la tensión de la fase fija. Los devanados del estator para las fases fijas y de control están físicamente separados 90° en el espacio. Esas consideraciones se basan en el hecho de que el par resulta más eficiente sobre un eje cuando los ejes de los devanados de las fases están en cuadratura en el espacio y las tensiones de ambas fases están en cuadratura en el tiempo.

Los dos devanados del estator normalmente están excitados por una fuente de alimentación de dos fases. Si no se dispone de una fuente de alimentación de dos fases, se puede conectar el devanado de la fase fija a una fuente de fase única a través de un capacitor, el cual producirá el defase de 90°. El amplificador al que se conecta el devanado del control de fase es alimentado por la misma fuente de alimentación monofásica.

En el servomotor de dos fases la polaridad de la tensión de control determina el sentido de la rotación. La tensión instantánea de control $e_c(t)$ es de la forma:

$$e_c(t) = E_c(t) \text{ sen } \omega t \quad \text{para } E_c(t) > 0 \dots (3)$$

$$= -|E_c(t)| \text{ sen } (\omega t + \pi) \quad \text{para } E_c(t) < 0 \dots (4)$$

Esto significa que un cambio de signo en $E_c(t)$ invierte el sentido de rotación del motor. Como la tensión de referencia es constante, el par T y la velocidad angular θ también son funciones de la tensión de control $E_c(t)$. Si las variaciones de $E_c(t)$ son lentas comparadas con la frecuencia de alimentación de corriente alterna, el par desarrollado por el motor es proporcional a $E_c(t)$. En la figura 5.2 se ven las curvas de $e_c(t)$ en función de t , $E_c(t)$ en función de t y las curvas par $T(t)$ en función de t . La velocidad angular en estado de régimen es proporcional a la tensión de control $E_c(t)$.

Las características de estado de régimen de un servomotor de dos fases son expresadas por una familia de curvas de par-velocidad al aplicar la tensión nominal al devanado de fase fija y distintas tensiones al devanado de fase de control. Se puede obtener la función transferencia de un servomotor de dos fases de estas curvas de par-velocidad si ellas son líneas rectas paralelas y

equidistantes. Generalmente las curvas de par-velocidad son paralelas en un rango relativamente amplio de velocidad, pero pueden no ser equidistantes; es decir, para una velocidad determinada, el par puede no variar linealmente con respecto a la tensión de control. Sin embargo, en una región de baja velocidad las curvas de par-velocidad generalmente son líneas rectas y equidistantes en una zona de tensiones de control bajas. Como el servomotor raramente funciona a velocidades altas se pueden extender las zonas lineales de las curvas de par-velocidad a la zona de alta velocidad. Si se admite que son equidistantes para todas las tensiones de control, se puede considerar lineal al servomotor.

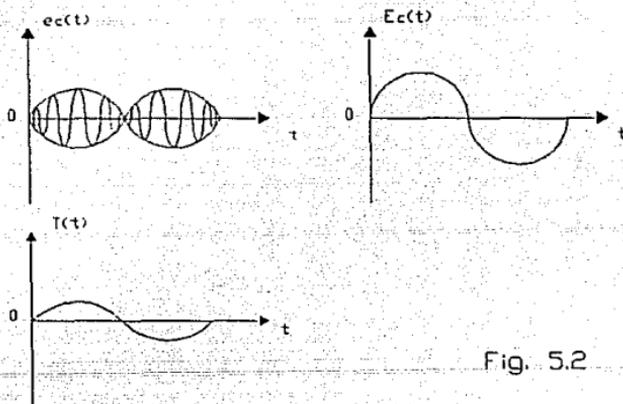
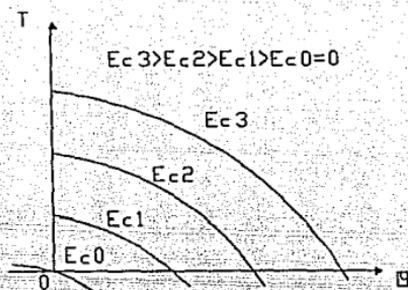


Fig. 5.2

En la figura 5.3 se ve un conjunto de curvas par-velocidad para diversos valores de tensiones de control. La curva par-velocidad correspondiente a tensión de control cero pasa a través del origen. Como la pendiente de esta curva es normalmente negativa, si la tensión de control de fase se vuelve igual a cero, el motor desarrolla el par necesario para detener la rotación.

Fig.5.3



El servomotor provee un par elevado a velocidad cero. Este par es necesario para una aceleración rápida. De la figura 5.3 se ve que el par T generado es función de la velocidad angular θ' del eje del motor y de la tensión E_c de control. La ecuación de cualquier curva de par-velocidad es:

$$T = -K_n \theta' + K_c E_c \dots \dots \dots (5)$$

donde K_n y K_c son constantes positivas. La ecuación de equilibrio de pares para el servomotor de dos fases es:

$$T = J\theta'' + f\theta' \dots \dots \dots (6)$$

donde J es el momento de inercia del motor y carga con referencia al eje del motor y f es el coeficiente de fricción viscosa del motor y carga con referencia al eje del motor. De las dos ecuaciones anteriores, se obtiene la siguiente ecuación:

$$J\theta'' + (f + K_n)\theta' = K_c E_c \dots \dots \dots (6b)$$

Notando que la tensión de control E_c es la entrada y el desplazamiento del eje del motor es la salida, se ve que la

función transferencia del sistema queda dada por:

$$\frac{\Theta(s)}{E_c(s)} = \frac{K_c}{Js + (f + K_n)s} \cdot \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} \dots\dots (7)$$

donde

$K_m = K_c / (f + K_n)$ = constante de ganancia del motor

$T_m = J / (f + K_n)$ = constante de tiempo de motor

En la figura 5.4 se ve un diagrama de bloques de este sistema. De la función de transferencia se puede ver que $(f + K_n)s$ es un término de fricción viscosa producido por el motor y la carga. Así K_n , la pendiente cambiada de signo de curva de par-velocidad, conjuntamente con f , define la fricción viscosa equivalente de la combinación motor-carga. Para curvas par-velocidad más empinadas, el amortiguamiento del motor es mayor. Si la inercia del rotor es suficientemente baja, durante la mayor parte del rango de frecuencias se tiene $T_m s \ll 1$ y el servomotor actúa como un integrador.

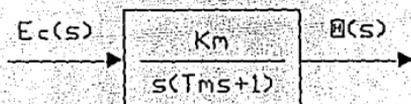


Fig. 5.4

La función transferencia dada por la última ecuación está basada en la suposición de que el servomotor es lineal. En la práctica, sin embargo, no es así. Para curvas de par-velocidad no muy paralelas y equidistantes, el valor de K_n no es constante y, por tanto, los valores de K_m y T_m tampoco son constantes; varían con la tensión de control.

CAPITULO VI

RUTAS MAS SIMPLES PARA
EL CONTROL DE POSDICION

CAPITULO VI

RUTAS MAS SIMPLES PARA EL CONTROL DE POSICION

LOS NUEVOS CHIPS PARA SERVOS PUEDEN CAMBIAR SUS PROPIEDADES PARA MANEJAR LOS CAMBIOS EN CARGAS, VELOCIDADES Y ACELERACIONES.

Cuando los diseñadores desarrollan controladores de servos, generalmente deben de ajustar la malla de realimentación para hecer el sistema estable. Este ajuste debe contar con factores que incluyen la constante de tiempo del motor, zonas muertas de tornillos reguladores, y cargas asimétricas que hagan torque al hardware de posicionamiento y al sistema.

El ajuste es usualmente directo cuando el sistema de posicionamiento mueve una carga que nunca cambia. Los diseñadores pueden ajustar el sistema una vez para la carga planeada. La necesidad de ajuste nunca cambia si el sistema se mueve sólo bajo un grupo de condiciones de carga o a un grupo de velocidades y aceleraciones.

Sin embargo, la situación es más complicada cuando el sistema de posicionamiento debe manejar una variedad de cargas o debe conducir cargas cuya inercia cambie durante el movimiento. Un sistema ajustado para un tipo de carga puede ser inestable si la inercia de la carga cambia dramáticamente. En general, las variables de la realimentación pueden tener que cambiar en tiempo real para manejar estas situaciones.

Dicho control puede ser difícil de implementar cuando se usa un microprocesador que opera por si mismo para hacer algoritmos de malla cerrada. Sin embargo, circuitos integrados desarrollados recientemente pueden

simplificar el diseño de la electrónica posicional. La clave benéfica que proveen es la habilidad de cambiar las propiedades en vuelo de filtración de la posición de realimentación, mientras se ejecuta un movimiento. Esto les permite reajustar efectivamente la malla de posición durante un movimiento.

El reajuste puede hacer a la malla estable para una carga cambiante, o puede permitir que la resolución de posición cambie. Esto puede habilitar el mismo sistema de control, por ejemplo, proveer movimientos de baja resolución a alta velocidad tan bien como alta resolución a bajas velocidades.

La disponibilidad de los nuevos chips está cambiando dramáticamente el diseño de equipos de posicionamiento. Por ejemplo, dichos chips pueden hacer posible el diseño de dispositivos de precisión como las tablas X-Y que pueden verdaderamente ser consideradas de propósito general. Hasta recientemente, este tipo de equipos tuvo que ser diseñado con un uso final claramente específico y una configuración en mente.

Por ejemplo, en el acercamiento tradicional, los ejes de posicionamiento que fueron diseñados para trabajar en el plano horizontal generalmente no podían ser esperados a funcionar propiamente si se montaban en otro plano. La razón es que reorientando los ejes de esta manera cambia las cargas y fuerzan a los vectores drásticamente. Las diferencias de carga pueden ser lo suficientemente significativas para que el control de posicionamiento necesite ser rediseñado para mantener el sistema estable en la nueva orientación.

El uso de nuevos chips de control puede hacer posible reorientar completamente los ejes sin rediseñar la

electrónica de control. Puede ser posible manejar drásticamente diferentes cargas o resoluciones de posicionamiento simplemente cambiando el filtrado que los chips de servo aplican a la realimentación de posición. En general, cargas y fuerzas en el sistema serán medidas usando instrumentos como interferómetros de laser. Esta información podría entonces ser usada para desarrollar un nuevo grupo de coeficientes de filtro que compensan las cargas y vectores de fuerza.

FUNDAMENTOS

Los beneficios de constantes de filtros ajustables se vuelven claros revisando como estos coeficientes afectan los fundamentos del servocontrol. Los sistemas tradicionales de servocontrol consisten de un motor, transductor de velocidad realimentación, transductor de posición realimentación, un amplificador de potencia servo que conduce al motor, electrónica de control. El amplificador de potencia manda una señal de salida al motor. Esta señal de salida es generada por la diferencia entre la señal de velocidad de realimentación digital y un comando de velocidad.

La electrónica de control genera el comando de velocidad. Los controles, los cuales están generalmente basados alrededor de un microprocesador, producen el comando integrando la diferencia entre la señal de posición de realimentación y un comando preprogramado de posición. Esta diferencia es multiplicada por algun factor de ganancia para producir el comando de velocidad que es alimentado al conductor del servomotor.

En operación normal, debe haber una apreciable diferencia entre la posición de los ejes controlados y la posición comandada. Esta señal de error de posición (o la

siguiente) genera el comando de velocidad. En algunas herramientas de maquinaria controladas con esta técnica de posicionamiento, la diferencia entre la posición de ejes comandada y la actual puede ser en orden de cientos de grados de arco. Esta diferencia es también algunas veces llamada error estático.

Una alternativa para operar dicho sistema con error alto posterior es usar un error pequeño, pero multiplicar el error por un alto factor de ganancia excedente. Desafortunadamente, esta aproximación tiene sus propios *drawbacks*. Dichos sistemas de alta ganancia frecuentemente tienen problemas en permanecer estables sobre rangos amplios de velocidades y cargas de operación.

Sin embargo, en algunos tipos de control de movimiento, casi cualquier cantidad de error posterior es inaceptable. Los ejemplos incluyen esas aplicaciones manejadas por movimientos X-Y. Típicos de dichas tareas son el taladreo de hoyos en tableros de circuitos impresos (PCBs) y emplazamiento automático de componentes de circuitos.

Afortunadamente, los controles pueden ser diseñados para producir casi cero error posterior. La técnica usual es anticiparse a cierta cantidad de error posterior integrando. La integración efectivamente causa que el procesador comande una mayor velocidad que lo que normalmente haría, reduciendo así la cantidad de error de posición.

Esta integración es básicamente una acción de filtrado que es aplicada a la posición de realimentación desde el codificador. Se pueden aplicar también otras operaciones a la posición de realimentación. Una es la diferenciación, la cual generalmente compensa por la

constante de tiempo mecánica del motor, incrementando o decrementando la realimentación de posición, dependiendo en que tan rápido cambia. En adición, la realimentación es multiplicada por una constante o término proporcional que es básicamente una ganancia.

NUEVOS CHIPS

Las tres operaciones descritas - proporcional, integral y diferencial (PID) - pueden ser pensadas como implementos de una característica de paso banda en la malla de realimentación de posición. Cambiando las constantes asociadas con cada operación, el sistema puede ser ajustado para estabilidad bajo diferentes cargas y resoluciones de posición.

Los chips de servocontrol desarrollados recientemente contienen funciones de filtrado PID. Las constantes de filtrado pueden ser cambiadas en comandos desde un microprocesador durante un movimiento. Los servochips anteriores proveían filtrado más limitado. Generalmente, estos chips implementaban solo la parte PD de las funciones PID. Esto es usualmente llamado filtrado de fase -lead porque introduce fase positiva sobre alguna banda de frecuencia. El efecto es simplemente ese de un filtro paso altas. Por supuesto, el filtrado de fase-lead no puede corregir el error posterior.

Un ejemplo clásico que ilustra la ventaja de cambiar los parámetros del PID en el vuelo es en el control de enormes cilindros de prensas. Al desenrollarse el papel de un rollo de alimentación, el peso e inercia del rollo cambia constantemente. Similarmente, puede haber un rollo atesador al final de la presa cuya inercia se incrementa constantemente. Las inercias cambiantes de los varios componentes pueden hacer el diseño de la electrónica de

control requerida todo un reto.

Otro ejemplo es el control de las juntas de los brazos de un robot. Las direcciones de las cargas e inercias cambian constantemente cuando el ángulo del segmento del brazo cambia a través del movimiento. Puede ser necesario cambiar la ganancia y las constantes de integración de la malla de realimentación para mantener la estabilidad bajo condiciones de carga variable.

La habilidad de cambiar los coeficientes del filtro puede ser también de ayuda cuando una cantidad diferente de error posterior sea deseada durante un movimiento dado. Como ejemplo, considere un movimiento X-Y que posiciona una jeringa para llenar una charola de tubos de prueba. Una vez que la jeringa ha terminado de llenar los tubos en un renglón dado, el movimiento al siguiente renglón debe ser tan rápido como sea posible. En adición, la boquilla de la jeringa debe estar precisamente sobre cada tubo en la charola para prevenir derramamientos.

El sistema de posición para esta aplicación se debe proveer para ambos movimientos de alta velocidad de renglón en renglón y en posicionamiento lento pero preciso sobre los tubos de prueba. Aquí, los coeficientes de filtrado pueden cambiar, permitiendo al error posterior crecer relativamente grande mientras se mueve de una terminal de la rueda a la otra. Esto permite un movimiento rápido. Pero mientras la boquilla se acerca al centro del tubo, el sistema de posicionamiento reduce el error posterior para obtener la precisión de posición necesitada.

EL PROBLEMA DE CAMBIAR CARGAS

En general, sólo recientemente las tablas X-Y pudieron ser diseñadas para operar en más de una

orientación bajo una variedad de condiciones de carga diferentes. Los servochips que contienen funciones de filtro con coeficientes programables pueden simplificar cambios en los controles de posicionamiento necesitados para acomodar diferente carga para estas tablas.

Para apreciar como pueden cambiarse las cargas para diferentes orientaciones, primero considere la carga en una tabla X-Y en el plano X-Y. Para una carga simple, la fuerza en los cojinetes de bolas lineales (con cuatro cojinetes presentes) es simplemente 0.25 veces la carga. Así la máxima carga que el eje puede llevar es:

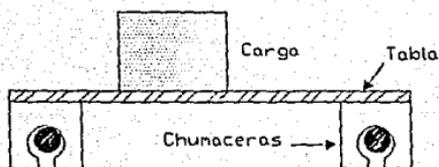
$$L = \frac{AL_n}{S_r} \quad (1)$$

donde L = máxima carga cargable en lb; L_n = grado de carga del cojinete en lb; S_r = factor de seguridad. Los requerimientos de caballos de fuerza para esta configuración son simplemente:

$$H_p = \frac{Lrv}{5,250} \quad (2)$$

donde H_p = caballos de fuerza, r = radio del tornillo regulador en plgs.; v = velocidad del motor en rpm.

El caso más interesante se desarrolla si la tabla de posicionamiento se mueve 90° para que el movimiento sea en el plano Y-Z. La máxima carga que el cojinete ve ahora, depende de la posición de la carga en el eje X y de la dirección de los cojinetes, si los casquillos de los cojinetes de bola abiertos son usados. Una configuración posible es representada como una armadura pinned-pinned estáticamente indeterminada. La carga P actúa en la dirección Z, causando reacciones iguales a P/2 en los pins.



Carga simple
plano X - Y

Sistema estaticamente indeterminado, plano Y-Z

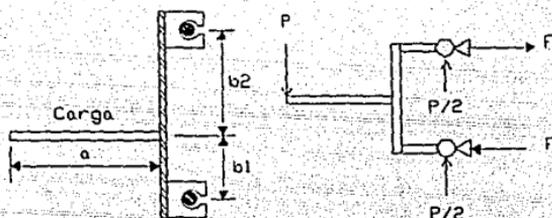


Fig. 6.1

Reacciones iguales y opuestas ocurren en la dirección X. La magnitud de estas fuerzas es:

$$F = \frac{Pa}{2(b_1 + b_2)} \quad (3)$$

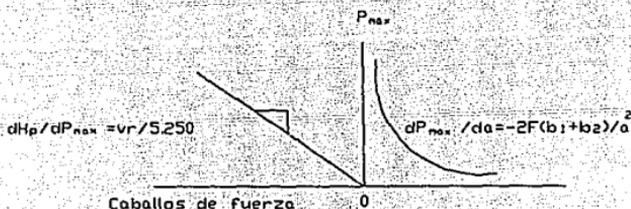
donde F = fuerza en el cojinete en lbg; P = carga aplicada; a = longitud de la viga voladiza en plgs.; b_1 = distancia del casquillo del fondo a la viga voladiza en plgs.; b_2 = distancia del casquillo más alto a la viga voladiza en plgs.

El factor de 2 crece de los dos casquillos representados por cada pin en el diagrama de fuerza. (Por simplicidad en este ejemplo, el peso de la viga voladiza y el plato de montaje son ignorados). Si el rango de la carga para el cojinete es denotado como F_{max} , entonces la carga máxima que puede ser aplicada a la viga es:

$$P_{max} = \frac{2(b_1 + b_2)F_{max}}{aSr} \quad (4)$$

Note que los requerimientos de caballos de fuerza para llevar la carga en esta configuración están dados en la ecuación 2, pero ahora son función de la carga y de la posición de la carga como en la ecuación 4. En casos como este, los coeficientes de filtro programados pueden ser necesitados para obtener movimiento de alto desempeño mientras se mantiene la estabilidad.

También, el verdadero truco para desarrollar parámetros de estabilidad en este caso está en las mediciones exactas de las fuerzas causadas por la gran carga estrecha. Puede ser necesario, estimar como se mueve la carga al despegue rastreandola con lasers y reflectores. Esto puede permitir el cálculo del máximo torque, el cual puede entonces ser usado para determinar coeficientes de filtro.



Efectos de carga
sobre posición

Fig. 6.2

FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE POSICION

En un sistema de posicionamiento controlado por un microprocesador o computadora, el procesador primero demanda un comando de posición. La realimentación de un codificador de posición es entonces substraída de la

palabra que representa el comando. Substrayendo la información de posición del comando de posición produce la diferencia entre el conductor de posición y la posición comandada. La diferencia total de posición es llamada el error posterior.

El error posterior es mandado a un convertidor digital /análogo para conversión a un voltaje análogo proporcional a la diferencia de posición. El voltaje entonces genera movimiento en el motor, generando una nueva posición, la cual intenta reducir el error posterior.

En sistemas que emplean servo-chips para asistir al procesador, los comandos de posición son demandados por el servo-chip, no por el procesador. Se puede programar la velocidad requerida, aceleración y posición. Se puede interrogar al chip y leer el registro de posición y obtener otra información de estado. El servo-chip puede interrumpir el proceso en el caso de situaciones críticas, como si el error de posición excediera ciertas barreras (como pudiera ocurrir si el motor se detuviese).

Durante un movimiento, un perfil de generador en el servo-chip manda una señal de posición a un nodo de suma digital. La posición requerida es comparada una vez por intervalo de muestra a la posición actual del motor. La señal de error resultante va a través del filtrado antes de ser mandado al convertidor digital /análogo.

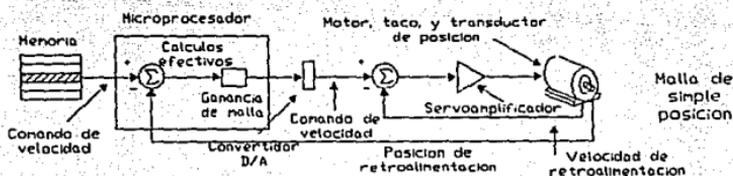


Fig. 6.3 (a)

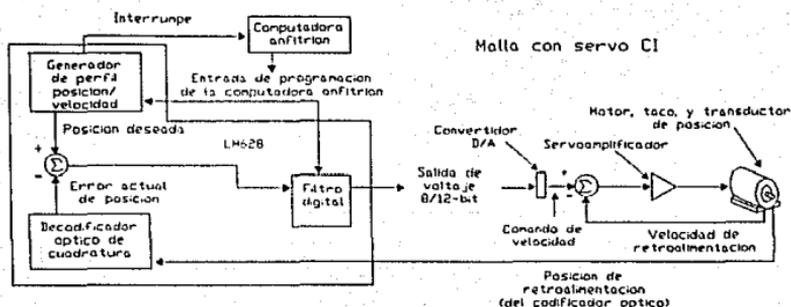


Fig. 6.3 (b)

AJUSTANDO EL ERROR DE POSICION

El desarrollo de chips especiales ha simplificado no sólo el servocontrol, pero también el ajuste de sistemas resultantes. Una herramienta prototipo para ayudar en el ajuste de tablas X-Y toma la forma de un tablero de conexión de media ranura para computadoras PC-compatibles. Dos servochips son evidentes en el esquemático simplificado del tablero descrito. El primero es el National Semiconductor Corp. LM628, el cual actualmente conduce la tabla X-Y. El segundo es un Hewlett-Packard Corp. HCTL 2000, el cual genera señales que pueden ser observadas en un osciloscopio mientras se ajustan los parámetros de PID de 16 bits del chip LM628.

El tablero prototipo es usado para unir un motor y un sistema de posicionamiento a los factores de sobretiro y mojado desarrollados en la malla de posición. La idea es poner la carga actual en la tabla X-Y y determinar la ventana de los parámetros PID que dan las velocidades requeridas bajo torque. El LM628 demanda una interrupción durante el proceso si no puede alcanzar la velocidad o

aceleración comandada. Un paquete de software acompañante traduce esta precaución en un error de mensaje que aparece en la pantalla de la pc. Este software también provee una interfaz de usuario que permite a un operador meter comandos de movimiento y filtrar parámetros para el chip 628 del tablero de pc.

El procedimiento de ajuste puede también ser usado para corregir errores mecánicos en el sistema. Por ejemplo, si el tornillo regulador en el sistema de posicionamiento es exacto sólo para 2mils/plgds., el balance podría ser programado en una malla de filtro de posición para compensar. Similarmente, el software podría también corregir por reacción y balance lineal en el tornillo regulador. Por ejemplo, una rosca de dos pasos diseñada para dar cinco vueltas/plgd. puede generar sólo 4.999 vueltas/plgd. Este tipo de error es acumulativo y puede ser fácilmente compensado en software.

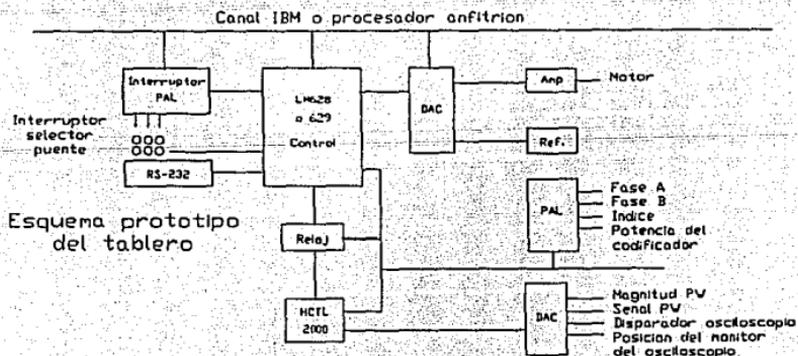


Fig. 6.4

CAPITULO VII

MOTORES DE PASOS

CAPITULO VII

MOTORES DE PASOS

Un motor paso a paso es un elemento de acción incremental electromagnético que convierte entradas de impulsos digitales en movimientos de salida de un eje analógico. En un motor paso a paso en movimiento, el eje de salida del motor gira incrementos iguales en respuesta a un tren de impulsos de entrada. Cuando está controlado adecuadamente, los pasos de salida de un motor paso a paso son iguales en número al número de los impulsos de entrada. Debido a que los sistemas de control modernos presentan a menudo movimientos de tipo incremental de un tipo o de otro, los motores paso a paso se han convertido en elementos de acción importantes en los últimos años. Por ejemplo, podemos encontrar control de movimiento incremental en todos los tipos de equipo periférico de ordenadores, tales como impresoras, armarios de cintas, conductores de cabezales, y mecanismos de acceso de memoria, así como en una gran variedad de máquinas herramientas y sistemas de control de procesos. La figura 7.1 muestra la aplicación de un motor paso a paso en el mecanismo de conducción de papel de una impresora. En este caso el motor está acoplado directamente a un rodillo portapapel, de manera que el papel es conducido un cierto incremento cada vez. La resolución típica de los motores paso a paso disponibles comercialmente abarca gamas desde pocos pasos por revolución hasta 800 pasos por revolución, e incluso superiores.

Existen motores paso a paso de una gran variedad de tipos, según sea su principio de funcionamiento. Los dos tipos más comunes de motor paso a paso son el tipo de reluctancia variable y el tipo de imán permanente. El

análisis matemático de estos motores es bastante complejo, ya que las características del motor son fuertemente no lineales. A diferencia de los motores de CD (corriente directa) y los motores de inducción, los modelos linealizados de un motor paso a paso son normalmente poco realistas. En este apartado describiremos el principio de funcionamiento, así como un modelo matemático simplificado del motor de reluctancia variable.

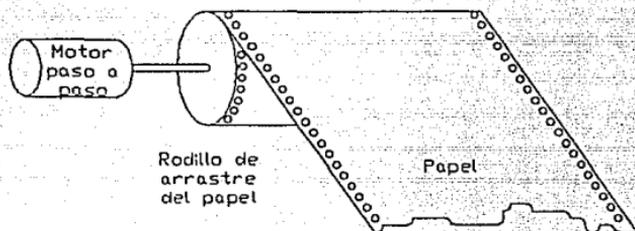


Fig. 7.1

El motor paso a paso de reluctancia variable tiene un estator devanado y un rotor no excitado. El motor puede ser del tipo de una sola unidad o de unidades múltiples. En la versión de unidades múltiples, el estator y el rotor constan de tres o más conjuntos separados de dientes. Los conjuntos separados de dientes sobre el rotor, normalmente laminados, están montados sobre el mismo eje. Los dientes en todas partes del rotor están perfectamente alineados. La figura 7.2 muestra un modelo típico rotor estator de un motor que tiene tres partes separadas sobre el rotor, o sea un motor trifásico. El motor paso a paso de reluctancia variable debe tener como mínimo tres fases para que tenga control direccional. Los tres juegos de dientes de rotor son magnéticamente independientes y están montados en un eje que está soportado por cojinetes. Dispuesto

alrededor de cada sección del rotor existe un núcleo del estator con devanados. Los devanados no se muestran en la figura 7.2. La figura 7.3 es un diagrama esquemático de los devanados del estator. En la figura 7.4 puede verse la vista frontal del estator de una fase y del rotor en un motor real.

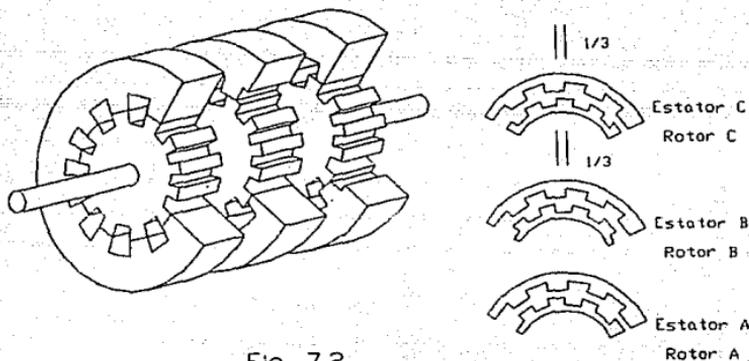


Fig. 7.2

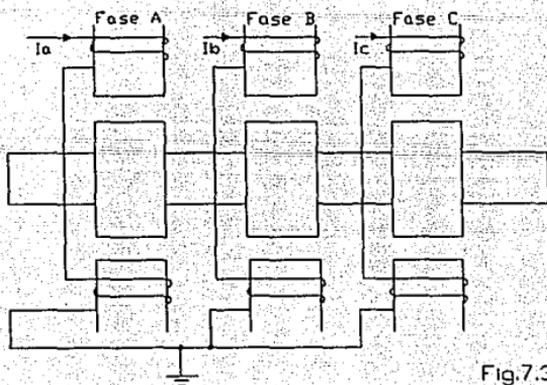


Fig. 7.3

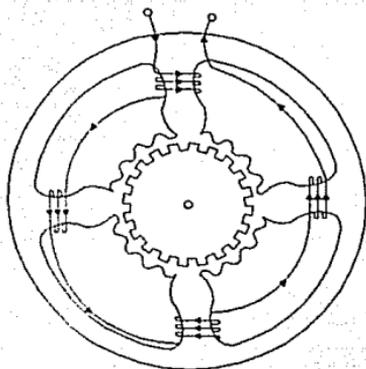


Fig. 7.4

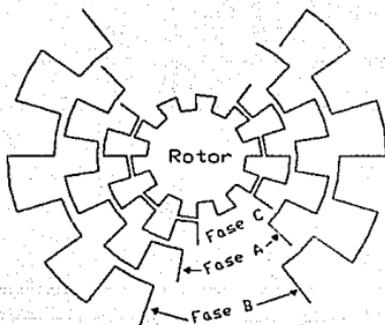


Fig. 7.5

En este caso el motor se ve en una posición tal que sus dientes están alineados con los de la respectiva fase del estator.

El rotor y el estator tienen el mismo número de dientes, lo que significa que el paso de dientes sobre el estator y el rotor es el mismo. Para hacer que el motor gire, las secciones de estator del motor trifásico están indexadas una tercera parte de un paso de diente, en el mismo sentido. La figura 7.5 muestra esta dirección para un rotor de 10 dientes. Por consiguiente, el diente de una fase del estator está desplazado 120° respecto a la fase del estator. Aquí los dientes de la fase C del estator pueden verse alineados con los correspondientes dientes del rotor. Los dientes de la fase A del estator están desplazados 120° en el sentido del reloj respecto a los de la fase C. Los dientes de la fase B del estator están desplazados 120° en el sentido del reloj respecto a los de la fase A o 120° en sentido contrario al reloj respecto a los de la fase C. Es

fácil ver que es necesario un mínimo de tres fases para dar control de sentido. En general, también son normales los motores de 4 y 5 fases, y se comercializan motores de hasta 8 fases. Para un motor de n fases, los dientes del estator deben estar defasados $1/n$ de paso de diente de una sección a otra.

El principio de funcionamiento del motor paso a paso de reluctancia variable es directo. Supongamos que a una fase cualquiera del devanado se le aplique una señal de c.d. La fuerza magnetomotriz ajustará la posición del rotor de manera que los dientes de la sección del rotor bajo la fase excitada estén alineados en oposición con los dientes de la fase excitada del estator. Esta es la posición de mínima reluctancia y el motor está en equilibrio estable.

Si se da tensión a la fase C en la figura 7.5, el rotor se posicionaria (en régimen permanente) como se muestra. También puede verse en la misma figura que si la señal de c.d. se aplica a la fase A, el rotor girará 12 grados en el sentido del reloj, y los dientes del rotor se alinearán en oposición con los dientes de la fase A del estator. Continuando de la misma manera, la secuencia de entrada CABCB hará girar el motor en el sentido del reloj en pasos de 12 grados.

Invirtiendo la secuencia de entrada se invertirá el sentido de rotación. O sea, la secuencia de entrada CBACB hará girar el motor en sentido contrario del reloj en pasos de 12 grados.

La curva en régimen permanente de cada fase es aproximadamente la que muestra la figura 7.6. La línea de 0 grados representa el eje de cualquier diente de la fase del estator a la que se ha aplicado tensión. El eje del diente

del rotor más cercano estará situado dentro de 18 grados 0 a cualquier lado de esta línea. El par de arranque correspondiente ejercido cuando se aplica también a esta fase puede verse en la figura 7.6. Las flechas marcan el sentido de movimiento del rotor.

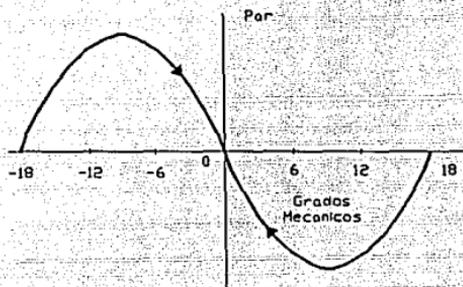


Fig. 7.6

Supongamos que los desplazamientos angulares positivos representan movimientos en el sentido del reloj. Supongamos también que se haya aplicado tensión a la fase C durante un cierto tiempo. Esto significa que la condición inicial del rotor será la que muestra la figura 7.5. Si ahora se aplica tensión a la fase A y la figura 2.12 representa la variación de par de la fase A, la posición inicial de los dientes del rotor estará en -12 grados. Así, que se de tensión a la fase A, el rotor se ajustará finalmente después de algunas oscilaciones, suponiendo que la inercia y la fricción sean tales que no exista rebase más allá del punto de 18 grados.

Puede observarse que la posición ± 18 grados también representa un punto de equilibrio. Esto es debido a que en esta posición el par de flexión es cero. Sin embargo es una posición de equilibrio inestable ya que la más ligera variación del eje respecto a esta posición hará que

el motor pase a 0 grados.

Si al aplicar tensión a una fase ocurre que el rotor está situado exactamente en el punto ± 18 grados permanecerá teóricamente en él. Sin embargo, en la práctica siempre existirán algunas imperfecciones mecánicas de construcción, y la asimetría resultante evitará cualquier bloqueo en el punto inestable.

Vamos a considerar ahora el motor paso a paso desde el punto de vista de paso único y vamos a intentar desarrollar las ecuaciones que gobiernan su comportamiento. Inicialmente se harán ciertas suposiciones para simplificar el desarrollo. Pueden hacerse modificaciones posteriores si se encuentra que alguna de estas suposiciones no es válida. Empezaremos escribiendo la ecuación del circuito eléctrico del devanado del estator.

Supongamos

$e(t)$ = tensión aplicada por fase

R = resistencia del devanado por fase

$L(\theta)$ = inductancia del devanado por fase

$i(t)$ = intensidad por fase

$\theta(t)$ = desplazamiento angular

La ecuación intensidad de una fase del estator se escribe

$$e(t) = Ri(t) + \frac{d}{dt} [iL(\theta)] \quad (1)$$

$$= Ri(t) + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{d}{dt} L(\theta) \quad (2)$$

$$e(t) = Ri(t) + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{d}{d\theta} L(\theta) \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

El término, $L(\theta)(di/dt)$ representa la fuerza electromotriz del transformador, o fuerza electromotriz autoinducida, y el término $i[dL(\theta)/d\theta](d\theta/dt)$ representa la fuerza contraelectromotriz debida a la rotación del rotor. Hemos supuesto antes que la inductancia es función sólo de $\theta(t)$, el desplazamiento angular. No se ha supuesto ninguna dependencia de la intensidad. Esto reflejará directamente nuestro procedimiento para obtener el par desarrollado por el motor.

La energía en el entrehierro puede escribirse

$$W = 1/2 L(\theta) i^2(t) \quad (4)$$

De los principios elementales de conversión de energía electromecánica, sabemos que el par en un sistema rotativo de excitación única viene dado por

$$T = \frac{\delta}{\delta \theta} [W(i, \theta)] \quad (5)$$

en donde W es la energía del sistema expresada explícitamente en función de $i(t)$ y de $\theta(t)$. Por consiguiente,

$$T = 1/2 i^2(t) \frac{d}{d\theta} [L(\theta)] \quad (6)$$

Este par se aplica entonces al rotor y la ecuación del movimiento se obtiene como

$$T = J_m \frac{d^2\theta(t)}{dt} + B_m \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (7)$$

en donde J_m es la inercia del rotor y B_m el coeficiente de rozamiento viscoso, J_m y B_m también pueden incluir los efectos de cualquier carga.

Para completar la expresión del par de la ecuación (6), necesitamos conocer la forma de inductancia $L(\theta)$. En la práctica la inductancia del motor en función del desplazamiento puede aproximarse mediante una onda coseno; o sea,

$$L(\theta) = L_1 + L_2 \cos r\theta \quad (8)$$

en donde L_1 y L_2 son constantes y r es el número de dientes de cada sección del rotor. Sustituyendo la ecuación (8) en la (6), se obtiene

$$t = -1/2 L_2 r i^2(t) \sin r\theta = -K_{I2}(t) \sin r\theta \quad (9)$$

que es la aproximación sinusoidal de la curva estática de par de la figura 7.6.

Ahora, vamos a aplicar estas ecuaciones a un motor trifásico. Supongamos que se esté en la posición de equilibrio cuando se da tensión a la fase A. Entonces la inductancia y el par para la fase A vienen dadas por

$$L_A = L_1 + L_2 \cos r\theta \quad (10)$$

$$T_A = -K_{I2} \sin r\theta \quad (11)$$

respectivamente. Para el rotor de diez dientes considerado anteriormente, $r = 10$, la fase B alcanza su posición de equilibrio 12 grados detrás del punto de referencia, suponiendo que la secuencia ABC represente el movimiento directo. De manera similar, la posición de equilibrio de la fase C está 12 grados adelantada respecto al punto de referencia. Por tanto, las inductancias y los pares para las fases B y C se escriben como sigue:

$$L_B = L_1 + L_2 \cos(10\theta - 120) \quad (12)$$

$$L_C = L_1 + L_2 \cos(10\theta + 120) \quad (13)$$

$$T_B = -K_{iB}(t) \sin(10\theta - 120) \quad (14)$$

$$T_C = -K_{iC}(t) \sin(10\theta + 120) \quad (15)$$

Los circuitos eléctricos de las tres fases están aislados de manera que las tres fases tienen su ecuación diferencial de la forma de la ecuación (3).

El par total desarrollado en el rotor es la suma algebraica de pares de las tres fases. Así

$$T = T_A + T_B + T_C \quad (16)$$

La no linealidad de las ecuaciones de par excluye el uso de modelos linealizados para la representación de un motor paso a paso. Por tanto, los estudios reales de un motor paso a paso usando las ecuaciones presentadas anteriormente pueden realizarse sólo mediante simulación con un ordenador. En la figura 7.7 puede verse una representación de diagrama de bloques del motor, que puede usarse para la simulación con un computador analógico o digital.

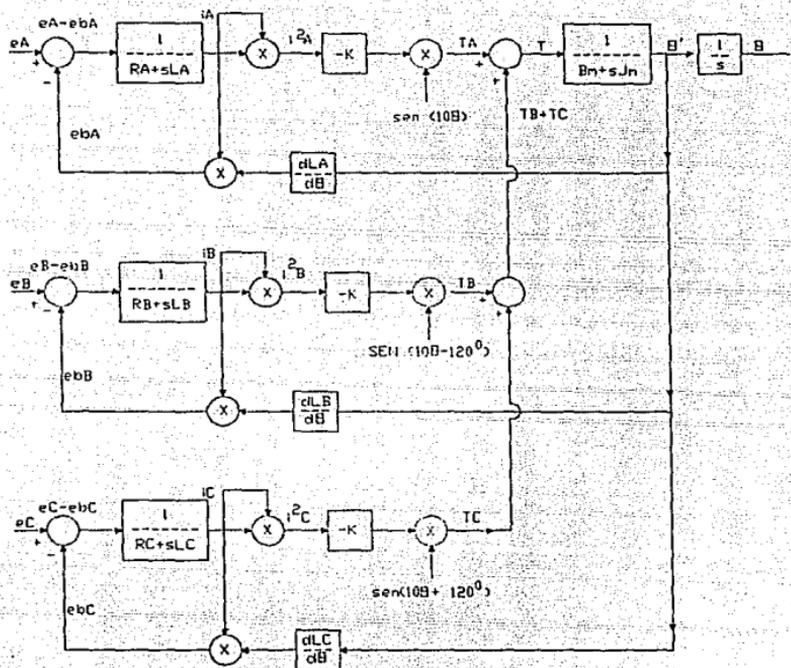


Fig. 7.7

CAPITULO VIII

MOTORES DE PASOS, ENTRANDO AL
TERRITORIO DE LOS SERVOMOTORES

CAPITULO VIII

MOTORES DE PASOS.

Entrando al territorio de los servomotores.

AUN CUANDO LOS MOTORES DE PASOS HAN CAMBIADO POCO EN ESTOS AÑOS, LOS CONTROLADORES ELECTRONICOS QUE LOS HAN ALIMENTADO HAN MEJORADO DRAMATICAMENTE PARA REDUCIR COSTOS, ACELERAR VELOCIDADES Y POSICIONAR MAS PRECISAMENTE.

Los motores de pasos han dado fuerza a una amplia variedad de sistemas de control de movimiento. Pero estos motores no han sido adecuados para algunas aplicaciones de alta velocidad y alta precisión. Sin embargo, los nuevos conductores interruptores, pueden hacer que los motores de pasos sean prácticos para dichos usos proveyendo velocidades de 6,000 rpm y hasta más. Los sistemas de micropasos refinados manejan movimientos exactos hasta 0.1 micrón. Y dichos controladores generalmente son más pequeños y menos costosos que sus predecesores.

El funcionamiento mejorado resulta de numerosos factores. Por ejemplo, los motores ahora operan a voltajes más altos. Los nuevos MOSFETs y los transistores interruptores bipolares de alta velocidad permiten a los conductores interruptores correr a frecuencias más altas. Híbridos comunes, aplicaciones específicas de CIs (ASCIs), y arreglos programables (PALs) también habilitan a los conductores a utilizar algoritmos de control más sofisticados. Además las fuentes de poder se han vuelto más pequeñas, resultado de pérdidas menores provenientes de diseños de circuitos eficientes.

UNA EVOLUCION

Los antiguos motores de pasos obtenian su alimentación de conductores unipolares o bipolares que usaban control de corriente L/R. Los sistemas que operaban en modo paso-completo o medio-paso, son todavía ampliamente usados por que son simples y no caros, y en muchos casos continúan proveyendo un desempeño adecuado. Pero el torque del motor va en decadencia rápidamente en control L/R al incrementarse la velocidad. El circuito disipa el calor excesivo y puede posicionar motores con precisión no mejor que medio-paso.

Las técnicas de Voltaje-Segunda-Inserción (VSI) permiten a los motores operar más eficientemente y a velocidades mayores. Y los conductores VSI pueden proveer mejor resolución que medio-paso. Un regulador interruptor de paso-bajo provee corriente estática al motor en espera. El regulador interruptor prende completamente para cada comando de paso, aplicando un alto voltaje al motor. Sin embargo, los sistemas VSI incurren en altos picos de corriente, lo que hace que los conductores sean caros, y que la corriente del motor caiga a altas velocidades.

LAS ULTIMAS TECNICAS

Los motores de pasos operan más eficientemente y a velocidades mayores cuando son alimentadas por sistemas interruptores. Los conductores controlan la corriente con mayor precisión al prender y apagar la corriente a altas frecuencias. Un sensor de corriente y un circuito de retroalimentación fijan la corriente promedio controlando el interruptor de alimentación de tiempo-encendido.

Los sistemas de interrupción de corriente

constante pueden proveer mayores velocidades que los sistemas VSI y L/R. También pueden operar a mejor resolución que medio-paso.

Hasta ahora, los conductores interruptores producían voltajes de pico en un rango de 20 a 40 volts. Pero los nuevos interruptores de alto desempeño entregan hasta 350Vdc, nivel que permite operaciones a altas velocidades antes imposibles.

Los motores de paso de alto-voltaje usualmente corren a 3000 rpm (como 10000 1.80 paso/s) y ocasionalmente a velocidades de hasta 5000 o 6000 rpm. Los motores de paso han sido corridos a velocidades tan altas como 12000 rpm, pero producen muy poco torque útil a dichos niveles.

MICROSTEPPING

Los motores de pasos no están libres de problemas. La forma de onda pulso-tipo en la cual operan, excitan resonancias mecánicas en sistemas de movimiento. Sin los seguros adecuados, las resonancias pueden causar que los conductores pierdan pasos. Aun más, el tamaño del paso limita la resolución.

Si operamos un motor de pasos en modo de microstepping, se enreda el problema de resonancia. El modo divide cada paso convencional a pasos más pequeños balanceando las corrientes en las dos fases de un motor. La resolución puede ser de 25000 o más pasos por revolución en motores operando con muy poca carga o en sistemas de malla cerrada. Sin embargo, un motor microstepping normalmente cargado puede retardar los comandos de posición por varios micropasos. El motor puede estar en sincronía con comandos sólo en las posiciones de paso completo y medio.

UN CONTROLADOR MODULAR

Los controladores, para motores clasificados hasta cerca de 150 W, hacen uso extensivo de híbridos comunes, aplicaciones específicas de CIs (ASCIs), y arreglos lógicos programables (PALs). El interruptor de alimentación toma lugar a través de CIs de potencia y MOSFETs de potencia.

Los nuevos controladores están basados en una serie de módulos. Un sistema enlazado consiste de un módulo de conducción traductor (con tasa de 2 o 3.5-A) y un controlador que comprende un oscilador o un tablero de indicación.

El oscilador y el tablero de indicación se unen directamente al conductor. El conductor-traductor puede también conectarse a un PCB de otro sistema o hacer conexiones a través de conectores de pines tipo tornillo.

Los módulos conductores contienen traductor y circuitería de amplificador de potencia. Los módulos son aproximadamente 1/8 el tamaño de dispositivos viejos, en parte porque los interruptores operan a alta frecuencia (20kHz). El interruptor de alta frecuencia también evita el ruido del motor que usualmente se presenta a bajas frecuencias.

El tablero del oscilador contiene un generador de pulso cuya frecuencia es determinada por un potenciómetro externo. Los rangos de aceleración y desaceleración son ajustables sobre un rango de 50ms a 2s. El tablero también puede ser controlado a través de señales de pulso externas. El rango del pulso es regulado con 0.3%.

La tarjeta indicadora genera flujos de pulsos y señales de adelanto-atraso en respuesta a comandos de una computadora patrón. Un tablero-encendido EEPROM almacena 259 líneas de comandos de movimiento. La unidad maneja rangos de aceleración y desaceleración, velocidad, distancia a viajar, tiempos de retardo, información repetición de línea, y control externo.

Dos puertos de salida controlan los dispositivos electromecánicos o la conducción de señales para controles programables o computadoras. El tablero también contiene un puerto RS-232 y 16 entradas de control discreto y una interfaz de datos paralelos. El programamiento toma lugar usando un programador tipo clave a través del puerto RS232, o a través de la interfaz de dato paralelo. Se dispone también de un programa menú-conducción para computadoras personales.

PAQUETES DE CONDUCTORES

Tamaño pequeño, bajo costo, y alto desempeño también están incluidos en los nuevos diseños de Paquetes de Conducción por Anaheim Automation. Los dispositivos contienen un conductor de motor de pasos, indicador, circuiteria de interfaz, y fuente de poder. El tamaño del paquete va desde 6x6.25 plg. hasta 10x12x5.5 plg.

Se encuentran disponibles tres diferentes tipos de conductores. Uno consiste en un conductor binivel con reloj y provee control de dirección, paso dual completo, medio paso, y control de poder encendido-apagado. Un segundo tipo contiene capacidad de indicación. Otro combina un conductor binivel con generador de pulso sesgado y manual que son selectores de control de línea.

Un ejemplo adicional de como las técnicas avanzadas están siendo aplicadas puede ser encontrado en paquetes de conductores de operación de línea de Superior Electric para motores de pasos cuyos rangos van hasta $3\frac{1}{2}$ hp. Las opciones incluyen indicadores, osciladores, pasos completos y medios, o micropasos de $1/10$ a $1/125$ paso. Un formato de control numérico estándar RS-274 forma la base para la estructura del comando de indicación.

BONOS DE ESTADO SOLIDO

Los controladores de los motores de pasos modernos ahora incluyen características de protección, programación, y comunicación que antes eran imposibles o muy costosos. Una nueva línea de conductores por ejemplo, se protegen a si mismos del incorrecto enganche del motor, de la baja alimentación de voltaje, y del alto descenso de calor de temperatura. Además de las condiciones de falla de las señales de los conductores a través de dispositivos de LEDs y señales compatibles TTL.

Los interruptores DIP seleccionan los tamaños del paso que van desde $1/20$ hasta un paso completo y niveles de corriente de 0 a 130% en proporción. Esta característica permite la velocidad del motor y las salidas de potencia antes no posibles. Los conductores corren sin calentarse tanto y con más calma, resultado de una alta frecuencia cambiante.

Existe un nuevo paquete indicador que realiza una aislación de 8 bits ópticamente, entrada paralela y un puerto serial RS-232. El indicador acomoda rangos de pulso hasta 200 KHz para operaciones de micropasos hasta de 3000 rpm.

CONTROLADORES DE MICROPASOS.

Los conductores microprocesadores son típicamente regulados por un simple chip controlador. Un nuevo chip de control provee posicionamiento exacto con $\pm 0.036\mu$ y una resolución en exceso de 50,000 pasos por revolución.

El controlador, el cual es fabricado usando técnicas de CMOS, simultáneamente controla la corriente en cada uno de dos conductores de puente-H independientes. Switchando la frecuencia para el circuito PWM corre en un rango de 20 a 200 kHz.

El chip contiene un generador negativo sesgado, un arreglo hecho posible por la demanda de baja potencia de la estructura CMOS. Como resultado, el controlador, a diferencia de otros, pide una alimentación sencilla de 12V.

El sistema se protege a sí mismo de alto voltaje, corriente y temperatura. Un circuito limitador de corriente opera a dos niveles. El primero, el cual es de tiempo limitado, opera a 40% arriba de la escala. Aquí, la vuelta de pernos no dispara el sistema. Un segundo punto de disparo opera instantáneamente a 250%. Un cierre de bajo voltaje mantiene las salidas bajas hasta que la alimentación y el voltaje bias negativo alcancen niveles seguros.

LAS COMPUTADORAS PERSONALES CADA VEZ MAS UTILIZADAS

Los industriales usan cada vez más computadoras personales para programar o direccionar controladores de motores de pasos. Asymtek, por ejemplo, produce un controlador micropasos de tres ejes que es programado a través de una IBM PC o computadora compatible. Los

controladores accionan soldadores, dispensación de fluidos, y máquinas cortadoras laser, inspeccionan aparatos, tablas x-y y una variedad de otros equipos de control de movimiento.

El programar toma lugar a través del software de un menú-conducción. Un operador une los comandos para una secuencia de movimiento en la PC y salva los movimientos completos en un disco floppy. La PC directamente controla al motor a través de puertos RS-232C para secuencias de movimiento de prueba. Las secuencias son entonces transferidas al controlador y guardadas en EEPROM. La memoria guarda hasta 2,000 comandos, cualquiera de los cuales puede ser automáticamente repetido.

La Corporación Compumotor ofrece un arreglo diferente. Ha desarrollado un indicador micropasos en una tarjeta que se coloca en el tablero madre o en el chasis de expansión de la PC. La PC controla un paso del motor a través de cada tarjeta y una simple PC puede acomodar numerosas tarjetas. El software para el sistema es en Basic modificable.

El indicador contiene una interfaz inteligente que hace la carga de trabajo de la PC mucho más simple. Existen comandos sencillos que controlan la aceleración y desaceleración del motor. Se pueden almacenar hasta 300 comandos en el dispositivo. Movimientos almacenados son disparados en comandos, permitiendo a la PC manejar otras tareas mientras se ejecutan los movimientos. La PC puede también generar movimientos de forma especialmente contorneada, haciendo posible cambios constantes de sesgos de aceleración - funciones de seno y logarítmicas, por ejemplo.

La unidad también puede registrar la posición del motor en unidades incrementales o absolutas, y la posición del conductor del motor es reportada en de motor o de codificador. Estos atributos hacen del indicador la mejor opción para los motores de pasos y los servos. La unidad soporta interrupciones de limite de fin-de-viaje, entradas de disparo, y una salida programable. Una interfaz codificadora compatible-TTL es compatible con la mayoría de los codificadores ópticos.

En otros casos, las computadoras personales sirven como ayuda al seleccionar motores de pasos. El software de la Co. Design Components calcula el torque requerido y disponible para un sistema de conducción de un motor de pasos. Los cálculos están basados en datos que el operador proporciona en respuesta a ejecuciones, para conductores directos, tangenciales, de tornillo regulador, o de engranaje. El resultado puede ser comparado con el torque disponible de fabricación de motores 23, 34, y 42 teniendo 1, 2, o 3 grupos. Los datos del motor en el software cubren ambos modos, paso completo y medio paso en los tres niveles de voltaje.

EFFECTO DEL VOLTAJE SOBRE LA VELOCIDAD DEL MOTOR

Los conductores interruptores mantienen la corriente constante en los motores de pasos modulando el voltaje. Pero los conductores mantienen la corriente sólo hasta la velocidad donde el motor desarrolla una $cemf$ (fuerza contraelectromotriz) igual a la línea de voltaje máxima disponible. Así la velocidad del motor es aproximadamente proporcional al voltaje disponible.

El efecto que la línea de voltaje tiene en la velocidad del motor se vuelve clara en la gráfica

siguiente. En un caso un conductor entregó 85 Vpico y en otro caso proveyó 240 Vpico. Los conductores, ambos recientemente desarrollados son transformadores - aisladores, protectores de si mismos, unidades recirculantes con un traductor.

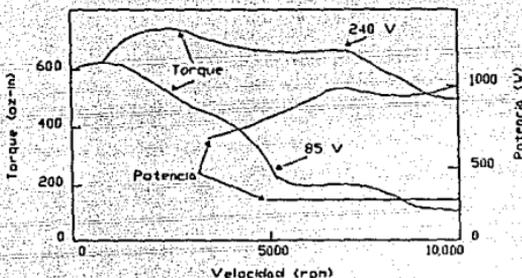


Fig. 8.1

MOTORES DE PASOS VS SERVOS.

Los motores de pasos generalmente no compiten directamente con los servomotores excepto en una angosta banda de rangos de torque, y aún ahí, sólo para relativamente pocas aplicaciones. Los servomotores son típicamente más poderosos que los de pasos y usualmente con mayor precisión de control. Pero ya que los dos tipos de motores son usados en aplicaciones similares, sus volúmenes relativos de ventas y crecimiento son pertinentes.

De acuerdo a un estudio reciente, las ventas de los motores de pasos fueron de \$75 millones en 1985, sólo cerca del 41% de los \$184 millones para servomotores. Pero en años recientes, las ventas de los de pasos se han incrementado a un rango mayor. Las ventas de los de pasos preveen para 1990 \$94 millones, y los servomotores de \$222 millones.

CAPITULO IX

PRESICION DEL STEPPING CON SOFTWARE

CAPITULO IX

PRECISION DEL STEPPING CON SOFTWARE

LAS RUTINAS SIMPLES DE SOFTWARE PROVEEN CONTROL PRECISO DE LOS MOTORES DE PASOS.

Un controlador de estado sólido para motores de paso usualmente contiene un microcontrolador de chip sencillo que maneja tareas de posicionamiento. Hoy en día, los microcontroladores son ampliamente utilizados en este campo porque incorporan numerosos "timers" y contadores en un chip. Estos timers y contadores, a su vez, pueden manejar tareas asociadas con el desarrollo de señales de control necesitadas para mover un motor de pasos.

Así mismo, los microcontroladores son frecuentemente utilizados para manejar incrementadamente el "microstepping" en aplicaciones de posicionamiento. El microstepping puede tener sentido donde un paso completo de un motor de pasos provea un incremento de posición muy basto. En el microstepping, los devanados del motor de pasos deben recibir suficiente corriente para incrementalmente posicionar al rotor entre pasos completos. Los timers y contadores provistos con un microcontrolador, cuando están combinados con la circuiteria de conducción apropiada, pueden fácilmente generar las señales de control.

Se necesitan dos algoritmos básicos de software para conducir un motor de pasos común de dos fases en modos de stepping y microstepping. Para propósitos de ilustración, estos pueden ser fácilmente desarrollados para un microcontrolador ampliamente usado, el 68HC11. Este particular microcontrolador provee nueve resistencias de 16

bits asociadas con funciones de timer/contador. Un registro detiene la cuenta de un reloj de corrida libre, el cual es derivado tomando una subfrecuencia del reloj MPU. Cinco registros son nombrados registros de comparación de salida. El reloj de corrida libre y los registros de comparación de salida son usados para sintetizar las señales de control del motor de pasos. (El chip también contiene tres registros de captura de entrada que no son usados en esta aplicación).

La propiedad básica de estos registros es la habilidad para generar señales en respuesta a ciertos eventos. Típicamente, un registro es cargado con algunos números y los contenidos de los registros son continuamente comparados a la cuenta en el registro contador de corrida libre. Cuando los contenidos de un registro de comparación de salida se unen con aquellos del registro contador de corrida libre, pueden tomar lugar tres eventos. Primero, una bandera es siempre puesta en unión. Segundo, una interrupción puede ser generada para iniciar la ejecución de una rutina especialmente diseñada. Finalmente, una pata del puerto de salida externo puede ser fijada o también borrada.

Algoritmo básico

El acercamiento básico para generar un paso del motor via software es primero, determinar el rango del paso requerido, luego calcular el periodo de tiempo necesitado entre los pasos que ocurren en este rango. El microcontrolador es entonces programado para contar este periodo antes de mandar una señal al motor para mover un paso.

La implementación del algoritmo en el 68HC11

requiere que un registro de comparación de salida sea cargado con un valor correspondiente al tiempo necesitado para un paso del motor. Cuando el valor en el registro del reloj de corrida libre alcanza este valor de paso programado, el registro de comparación de salida genera una señal de interrupción. Esta señal de interrupción es usada para iniciar una rutina que dé un paso en el motor.

Así, un largo valor programado dentro del registro de comparación de salida resulta en un rango menor de paso de motor. Valores más pequeños generan rangos más altos. Ya que el microcontrolador corre mucho más rápido que cualquier motor de pasos, el registro de comparación de salida no debe ser programado con un valor que genere una interrupción más rápida que el rango máximo de paso del motor seleccionado. (Este rango máximo es generalmente en el orden de uno o dos milisegundos.)

La rutina del stepping genera señales que dan potencia a electromagnetos en el motor de pasos para mover el rotor un paso. Como repaso, un motor de paso contiene un número de magnetos permanentes montados radialmente en un eje de rotación. Los electromagnetos en la casa estacionaria proveen un campo magnético. Los magnetos permanentes en el eje se alinean con los electromagnetos que tienen la polaridad propia. Así, interrumpiendo la polaridad de los electromagnetos, los magnetos en el eje de rotación son llevados a un alineamiento magnético, causando una rotación en el eje de un paso.

La variedad más común de motores de paso emplea dos devanados para generar los campos magnéticos en el estator. Así, se deben generar dos señales de control para dar potencia a estos motores de dos fases. (Otros tipos de motores de paso con fases adicionales también son

disponibles. Aun motores de cinco fases son usados en algunas aplicaciones.)

La rutina de software del stepping usa un tablero de búsqueda para unir señales de polaridad propia con el devanado correspondiente. La técnica puede manejar motores de paso de cualquier fase, aunque la rutina proveída aquí usa un tablero para un motor de dos fases.

La función primaria de la rutina de stepping es realizar un tablero de búsqueda que selecciona señales de control de la polaridad apropiada para conducir las dos bobinas del motor. Hay un set de códigos de control de motor para cada fase del motor.

La posición actual del motor es guardada en un byte variable llamado Fase. La Fase variable es incrementada o decrementada por uno cada vez que se ejecuta la rutina. La fase variable se incrementa por rotaciones en sentido del reloj y se decrementa por rotaciones en sentido contra reloj.

Cuando la nueva posición es calculada, los dos bits menos significativos de la Fase son cubiertos, convirtiendo esta variable a un valor de rango cero a tres. En esta forma, la Fase sirve como índice dentro del tablero llamado Tabulador de Giro (turntab) y señala los niveles apropiados para que conduzcan las bobinas del motor. (De hecho, el tablero de turntab realiza una conversión de binario a código de Gray.)

El número total de pasos que toma el motor es programado en un byte variable llamado Pasos (Steps). En el programa implementado aquí, el valor puede ir del rango de uno a 255. El rango del paso es arreglado por una cantidad

de 16 bits guardada en la variable `Oc4time`. El valor en `Oc4time` es adicionado al valor de la corriente en el timer de corrida libre para determinar el tiempo que debe transcurrir para el paso actual.

Cada vez que ejecuta la rutina, decrementa un contador que contiene un número total de pasos requeridos para el movimiento. Una de las últimas tareas que la rutina maneja es un chequeo del valor del contador para ver si todos los pasos en el movimiento han sido completados. Si el movimiento es completo, el valor del contador es cero. Un valor cero causa que la rutina ponga una bandera de realizado (`done`); si no, la bandera permanece limpia.

Microstepping.

El microstepping de un motor de pasos viene de aplicar niveles de voltaje variantes a las bobinas del motor. Estos niveles de voltaje normalmente van del rango de voltaje cero a voltaje de paso completo.

Existen varias formas de alimentar el rango de voltaje necesitado a un circuito de conductor de motor. El uso de un convertidor digital/análogo o comparadores externos puede algunas veces ser apropiado. Pero estos componentes pueden también ser voluminosos y muy costosos para algunas aplicaciones simples. En contraste, el método usado en esta implementación emplea una circuitería más simple. Aquí, el procesador sintetiza un modulador ancho de pulso (PWM) de onda cuadrada que es usado para producir un promedio diferente de nivel de c.d. dependiendo del ciclo de trabajo de los pulsos generados. Un circuito convertidor externo PWM a c.d. produce la c.d., la cual varía linealmente entre 0 y 5V al cambiar el ciclo de trabajo del PWM.

La implementación del microstepping 68HC11 usa dos puertos de salida, uno para cada bobina del motor. Cada puerto de salida produce una onda cuadrada PWM que es usada para dar potencia a una bobina. Las señales de PWM son generadas al fijar y limpiar cada puerto de salida a intervalos variantes. Si se cambia el intervalo de tiempo en el que el puerto de salida es limpiado efectivamente cambia el ciclo de trabajo.

La técnica emplea tres registros de comparación de salida para producir las dos ondas cuadradas PWM. Un registro arregla el periodo básico del ciclo PWM. Los otros registros de comparación de salida varían el ciclo de trabajo de los puertos de salida.

El periodo básico de ambas ondas cuadradas es determinado empíricamente. El valor usado (1.28 mseg. en este ejemplo) es generalmente una solución intermedia que minimiza la interrupción en lo alto mientras se maximiza la respuesta.

La rutina principal pasa tres parámetros a la rutina de interrupción del microstepping: el periodo de onda cuadrada, y la duración del tiempo de cada puerto de salida es mantenido en estado bajo durante cada ciclo. La rutina ejecuta una vez cada periodo de onda cuadrada. Esta rutina inicia cuando el valor del timer de corrida libre iguala a aquel del periodo de la forma de onda.

La rutina de interrupción básicamente manda los dos puertos de salida bajos a iniciar un nuevo periodo de forma de onda, y actualiza los tres registros de comparación de salida con nuevos valores que determinan cuanto tiempo deberían los dos puertos de salida permanecer bajos para sintetizar el ciclo de trabajo necesitado.

Una vez que la rutina de interrupción ha cargado el registro de comparación de salida con los valores apropiados, el hardware del timer realiza el resto de las tareas necesitadas para generar señales PWM. Por ejemplo, cuando el registro de comparación de salida para un canal sale de tiempo, su correspondiente puerto de salida crece automáticamente. Al final de cada onda cuadrada, el registro de comparación de salida que detiene el valor del periodo, saca de tiempo y limpia los dos puertos de salida conduciendo las bobinas del motor, forzandolos a ambos a un estado bajo para iniciar otro ciclo. El timer entonces genera una interrupción para reiniciar la rutina de servicio del microstepping.

Refinamientos.

Los procedimientos básicos del stepping descritos aquí son adecuados por sí mismos para aplicaciones donde el control de precisión de aceleración o desaceleración no es necesario.

Sin embargo, las cargas movibles de los motores de pasos con inercia significativa pueden requerir aceleración y desaceleración controladas para mejor realización. Existen varias técnicas de software para desarrollar específicos perfiles de velocidades para manejar dichas aplicaciones.

FUNCIONES INTERNAS DEL TIMER/CONTADOR

Un modelo completo del timer/contador MC68HC11 contiene nueve registros de 16 bits. Cinco de estos, cuatro registros de comparación de salida y el contador de corrida libre, son usados para desarrollar señales de conducción del motor de pasos. Los valores en los cinco son

continuamente comparados al valor del contador de corrida libre derivado del sistema de reloj. Cuando los dos valores se unen, pueden ocurrir varios eventos: Se prende una bandera, puede ser generado un vector de interrupción, o una patita del puerto de salida externo B puede ser fijada o limpiada.

Para esta aplicación, el OC4 genera la interrupción que inicia la rutina que hace que el motor de un paso. Así, el valor programado en el OC4 determina el rango del paso.

Los registros OC1, OC2 y OC3 toman parte generando señales de PWM que hacen que el motor dé un micropaso entre pasos completos. El OC1 arregla el periodo básico del ciclo de PWM limpiando los puertos de salida PA5 y PA6 simultáneamente, y generando una interrupción. El OC2 y OC3 individualmente varían el ciclo de trabajo de PA6 y PA5, respectivamente, habilitando los puertos de salida después de haber sido limpiados por el OC1.

Registros contadores utilizados

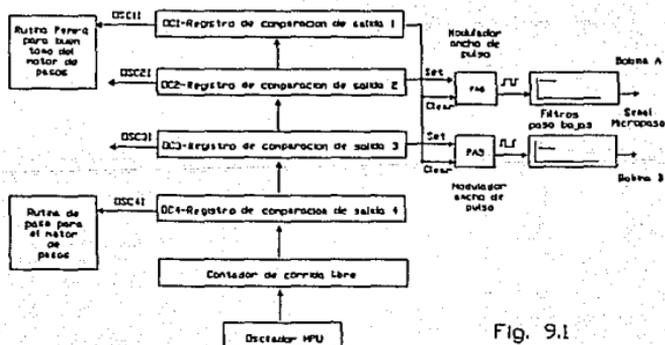


Fig. 9.1

GENERANDO UN PASO

Un microprocesador mueve un motor de pasos proveyendo una secuencia de voltaje de paso (usualmente +12V) a los devanados del motor. El circuito de conducción del motor aquí ilustrado usa el Puerto C bits 0 y 1 (PC0, PC1) para proveer pulsos de pasos completos. En una aplicación típica, el procesador leería entradas o comandos de un programa de control para determinar el número de pasos que va a tomar y la velocidad del stepping.

Una segunda parte del circuito maneja la generación de micropasos de las ondas cuadradas PWM que el procesador genera. Esta parte del circuito usa 2.5 V como punto central de referencia. El voltaje de entrada arriba y abajo del punto central resulta en polaridades opuestas en los conductores de salida. Así, voltajes de c.d. variables entre 0 y 5 V pueden ser usados para ajustar bien la posición del motor linealmente en sentido del reloj o sentido contra reloj con respecto a la posición normal del motor de paso.

Los puertos A de bits 5 y 6 (PA5, PA6) alimentan la forma de onda del PWM al circuito convertidor PWM a C.D. Un filtro Butterworth de dos polos con una frecuencia de cutoff de 100 Hz filtra la forma de onda. Una señal PWM con un ciclo de trabajo del 10% desarrolla un nivel de c.d. de alrededor de 0.5V; un ciclo de trabajo de 90% desarrolla alrededor de 4.5V.

El valor variable de C.D. es alimentado al circuito de conducción del motor para dar un micropaso al motor. Los interruptores digitales MC14066 dan la ruta a señales de pasos completos o micropasos al conductor del motor. Un propósito general el pin I/O (PA3) controla los

interruptores bajo control de software.

El MC14066 contiene cuatro interruptores independientes capaces de controlar señales digitales o analógicas. Es útil en señales de compuerta, interrupción, modulación, o demodulación. La diafonía entre interruptores es típicamente menos de -50 dB a 8 MHz. Los interruptores transmiten frecuencias hasta de 65 MHz a 10 Vcd.

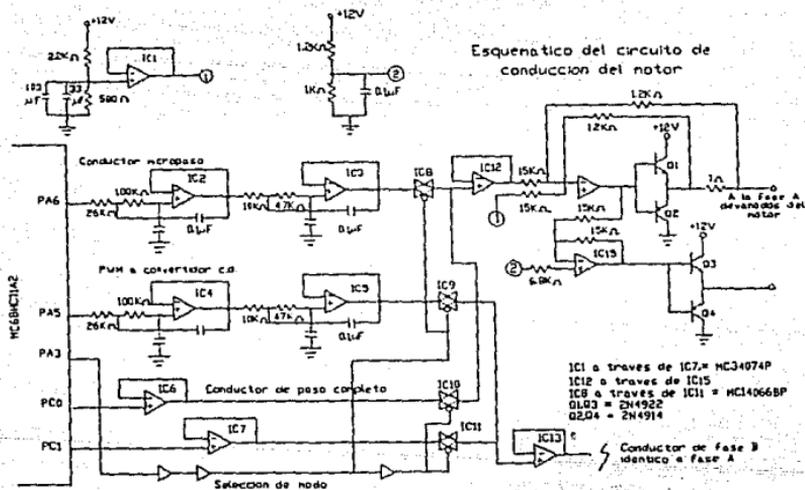


Fig. 9.2

STEPPING Y MICROSTEPPING POR MEDIO DE SOFTWARE

Una rutina de interrupción genera un paso completo del motor, dando servicio al registro número cuatro de comparación de salida. La rutina debe ser dada por cuatro datos: cuantos pasos debe tomar, que tan rápido, en que dirección, y el comando para iniciar el paso. La variable "Pasos" contiene en número de pasos; el rango del paso es arreglado por la variable OC4tiempo. Este valor es sumado al valor de la corriente en el timer de corrida libre para determinar el nuevo tiempo del paso que es guardado en OC4.

La rutina lee la dirección de rotación de CWCCSW. El stepping del motor se inicia limpiando la bandera de Realizado. Una vez que la rutina empiece, no hay ningún otro software de búsqueda hasta que el stepping esté completo.

Después de que el número programado de movimientos esté completo, la bandera de Realizado es puesta para indicar al programa principal que el motor está descansando en su nueva posición. Así, cuando la bandera de Realizado esté toda en unos, el motor no estará dando vuelta. Cuando la bandera de Realizado esté limpia, la rutina de Paso estará rotando al motor.

Al final de la rutina de Paso se preparan unas líneas de código para regresarse al programa principal. El número de pasos que queda se decrementa y se prueba para que sea checado por cero. Si quedan cero pasos, la rutina ha completado su misión, y la bandera de Realizado es puesta. Si la variable "Pasos" no es cero, la rutina deja la bandera de Realizado limpia. Finalmente, la interrupción pendiente que generó OC4 es limpiada guardando el patrón

apropiado en TFLG1 antes de que se complete la rutina de "Pasos".

La rutina de servicio de interrupción que generan las dos formas de onda del PWM para dar un micropaso al motor, es mucho más chica que la rutina de paso completo. Esto es porque la mayoría del trabajo es hecho por el hardware del timer/contador en el procesador. La generación del PWM usa tres registros de comparación de salida. El OC1 arregla el periodo básico de ambas ondas cuadradas reseteando siempre los dos puertos de salida PA5 y PA6. El OC2 prende el puerto de salida PA5 y determina que tan bajo será el PA5. Similarmente, el OC3 prende a PA6 y determina cuan bajo se mantiene el PA6. De esta manera, OC2 y OC3 varían el ciclo de trabajo de las ondas cuadradas. La rutina principal pasa parámetros a la rutina por medio de las variables Periodo, A(bajo) y B(bajo).

La rutina Pwmirq corre una vez por cada periodo de onda cuadrada cuando el contenido de OC1 igual a aquel del contador de corrida libre. El propósito de la rutina es actualizar los tres registros de comparación de salida con los nuevos valores. El registro de timer-contador, llamado TCNT, es leído una vez y guardado en la locación de almacenamiento temporal de 16 bits Timetemp. Este valor tiene el byte doble del número de Periodo adicionado a él. La suma es luego guardada en OC1. Este valor representa el punto en tiempo del siguiente tiempo fuera del OC1.

Luego, el tiempo bajo para la bobina A, Alow (A bajo), es adicionado al Timetemp y guardado en OC2. Este es el tiempo en el que PA5 permanecerá bajo. Finalmente el tiempo para la bobina B para permanecer bajo, Blow (B bajo), es adicionado al Timetemp y guardado en OC3. Este es el periodo en el que PA6 permanecerá bajo. La interrupción

pendiente de OC1 se limpia y la rutina de interrupción termina.

Ningún software conectado con la generación del PWM se ejecuta hasta que el Pwmirq corra de nuevo. Una vez que la rutina termina, el timer del hardware se hace cargo. Cuando el OC2 sale de tiempo, pone a PA5 en estado alto. Cuando el OC3 sale de tiempo, pone a PA6 en estado alto. Al final del periodo de onda cuadrada, OC1 sale de tiempo, limpia a PA5 y PA6, y genera una interrupción para reentrar a la rutina Pwmirq.

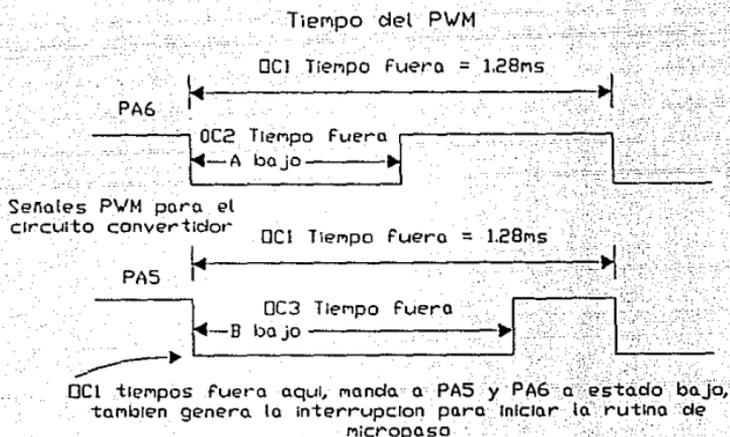


Fig. 9.3

RUTINA DE INTERRUPCION DE PASO COMPLETO

•	VARIABLES	GLOBALES		
ALLHIGH	EQU	\$FF		
OC4TIME	RMB	2	INTERRUPT	TIME
			(NORMALLY 5mS)	
CMCCSW	RMB	1	ROTATION	DIRECTION
			\$FF=CCW, 0=CCW	
PHASE	RMB	1	CURRENT	MOTOR
			POSITION (0,1,2,3)	
STEPS	RMB	1	NUMBER OF STEPS TO	
			TAKE (1 TO 255)	
DONE	RMB	1	MOTOR	STATUS
			\$FF=DONE, 0=STEPPING	
OC4CLR	EQU	X00010000	PATTERN TO	CLEAR
			PENDING OC4	
•			INTERRUPT	
	PSCT			
STEP	EQU	•	ENTRY POINT	FROM
	LDD	TCNT	OC4 INTERRUPT	
			GET CURRENT	TIMER
	ADD	OC4TIME	VALUE	
			CALCULATE	NEXT
	STD	TOC4	INTERRUPT TIME	
			AND PUT IN	OUTPUT
	BRSET	DONE, #ALL	COMPARE REGISTER 4	
			HIGH.EXITSTEP IS	
			STEPPING ENABLED?	
	BRCLR	CMCCSW, #ALLHIGH, CCW		
CW	EQU	•	ROTATE	MOTOR
			CLOCKWISE	
	INC	PHASE	INCREMENT	MOTOR
			POSITION INDICATOR	
	BRA	CHANGE		
CCW	EQU	•	ROTATE	MOTOR
			COUNTER CLOCKWISE	
	DEC	PHASE	DECREMENT	MOTOR
			POSITION INDICATOR	
CHANGE	EQU	•	CALCULATE	INDEX
			INTO TURNTAB	
	LDAB	PHASE	GET THE NEW	MOTOR
			POSITION	
	CLRA	CLEAR	OUT	THE MOST SIGNIFICANT
				PART OF THE D REG
	ANDB	#X00000011	MASK OFF	THE 2
			LEAST SIGNIFICANT BITS	
	ADD	#TURNTAB	ADD	THE INDEX TO
			THE TABLE ADDRESS	
	XGDY		AND PUT	THE SUM
			INTO THE X INDEX	
			REGISTER	

	LDAA	O, X	CONVERT	INTO	PHASE
			NUMBER	DRIVE	COIL
			INFO		
	STAA	PORTC	STEP THE MOTOR		
	DEC	STEPS	REDUCE THE	NUMBER	
			OF REMAINING		
			STEPS		
	BNE	EXITSTEP	IF ZERO THEN	DONE,	
			AND SET THE	DONE	
			FLAG		
	LDAA	#ALLHIGH	GET THE VALUE \$FF		
	STAA	DONE	TO SET THE	DONE	
EXITSTEP	EQU	*	CLEANUP THE	STEP	
			ROUTINE AND EXIT		
	LDAA	#OC4CLR	GET THE PATTERN TO		
	STAA	TFLG1	CLEAR THE	PENDING	
			INTERRUPT		
	RTI		EXIT	INTERRUPT	
			ROUTINE		

	TABLE	TO	CONVERT	THE	PHASE	INDICATOR	INTO
			STEPPER				
				MOTOR	CONTROL	INFORMATION	
		COIL		B	A	CH	CCW
TURNAB	FCB	#00000000	L	L	1	*	0
	FCB	#00000001	L	H	1	1	1
	FCB	#00000011	H	H	1	1	2
	FCB	#00000010	H	L	V	1	3

RUTINA DE INTERRUPCION DEL MICROSTEPPING

	GLOBAL VARIABLES		
	BSCT		
PERIOD	RMB	2	TIME BETWEEN OC1 INTERRUPTS (1.28mS)
ALOW	RMB	2	DUTY CYCLE FOR COIL A
BLOW	RMB	2	DUTY CYCLE FOR COIL B
TIMETEHB	RMB	2	TEMPORARY SCRATCH STORAGE
OC1CLR	EQU	#00010000	PATTERN TO CLEAR PENDING OC1 INTERRUPT
	PSCT		

PWMIQ	EQU	*	ENTRY POINT FOR PWM
	LDD	TCNT	UPDATE ROUTINE
	STD	TIMETMP	GET CURRENT OF FREE
	ADDD	PERIOD	RUNNING TIMER
	STD	TOC1	PUT IN TEMPORARY
	LDD	TIMETMP	STORAGE
	ADDD	ALOW	CALCULATE NEXT
	STD	TOC2	PERIOD INTERRUPT
	LDD	TIMETMP	AND PUT IN OUTPUT
	ADDD	BLOW	CAPTURE REGISTER 1
	STD	TOC3	GET STORED VALUE OF
	LDA	#OC1CLR	TCNT
	STAA	TFLG1	CALCULATE TIME FOR
	RTI		COIL A DUTY CYCLE
			AND PUT IN OUTPUT
			CAPTURE REGISTER 3
			CLEAR PENDING OC1
			INTERRUPT
			AND EXIT FROM PWM
			ROUTINE

CAPITULO X

UNA NUEVA MIRADA
AL MICROSTEPPING

CAPITULO X

UNA NUEVA MIRADA AL MICROSTEPPING

LOS SISTEMAS DE CONTROL DE MOVIMIENTO DE LOS MICROSTEPPING SON USUALMENTE ALTERNATIVAS MENOS CARAS PARA LOS SERVISISTEMAS

Los motores de pasos tienen varias cualidades que los hacen particularmente útiles para sistemas de control. Son firmes cuando paran, producen un alto torque por su tamaño físico, y no usan escobillas lo que los hace virtualmente libres de mantenimiento.

Sin embargo, los motores de pasos tienen una seria desventaja cuando son utilizados para posicionamiento preciso. Los motores de pasos híbridos estándar tienen tamaño de paso relativamente grande, usualmente $1/200$ de una revolución o 1.8°. Dicho tamaño puede causar oscilaciones en el eje del motor en puntos de resonancia que ocurren a bajas velocidades. Pero existe una técnica ampliamente usada que retiene las ventajas de los motores de pasos y sobrepasa la rudeza de baja velocidad y baja resolución. La técnica es llamada microstepping.

El microstepping incrementa la resolución de posición y suavidad de los motores de pasos híbridos convencionales. Esto se hace con control electrónico en los circuitos de conducción. El conductor subdivide cada paso completo electrónicamente en un número grande de pasos más pequeños. Por ejemplo, un conductor microstepping que subdivide cada paso completo de un motor de 200 pasos/rev en 125 micropasos produce 25,000 pasos/rev ($200 \times 125 = 25,000$).

Los motores y conductores deben proveer alta resolución deposición en aplicaciones como fabricación de semiconductores. Un sistema de 25,000 pasos/rev conectado a un tornillo regulador en un tablero X-Y puede posicionar una oblea de silicón en una parte en 250,000/plg. Esta alta resolución posicional usualmente elimina cabezas de engranaje u otros reductores mecánicos de otra manera necesitados para poner cadenas de alambre y muestras de prueba en obleas expuestas de C.I. Pero muchas aplicaciones que no necesitan alta resolución pueden también beneficiarse del microstepping.

La ventaja más grande del microstepping es una operación suave y la eliminación de resonancia sobre su rango entero de velocidad, típicamente de 0 a 3,000 rpm. Una operación suave permite una utilización de torque completo y libertad de ruido y uso mecánico.

La exactitud verdadera de un sistema microstepping es usualmente menor que su resolución. El sistema de exactitud es una función compleja de la exactitud del motor, de tolerancias electrónicas, y de errores en transmisión mecánica. Pero la combinación del microstepping y de la suave operación ha habilitado los sistemas de microstepping para volverlos estándar en sistemas de posicionamiento X-Y requiriendo de 1 μ plg. a 0.001 plg. de resolución, y polidura de precisión, recodos, y máquinas de terminación de superficie. Otras aplicaciones de control de movimiento incluyen exploración óptica e inspección, fabricación media de memoria de disco, y fabricación de fibras ópticas.

Los sistemas de microstepping son generalmente fáciles de instalar y usar porque no tienen requerimientos de ajuste o instalación como los servosistemas típicos. Y

son estables y libres de ser impelidos cuando se detienen.

COMO TRABAJA EL MICROSTEPPING.

Los motores de paso híbridos estándar 1.80 son frecuentemente usados en sistemas de microstepping. La vista seccional transversal de un motor de pasos típico muestra la cadena laminada del rotor y los dientes del flujo del canal entre el rotor y el estator. Las laminaciones son usadas en lugar de hierro sólido para reducir corrientes parásitas y otras pérdidas que disminuyen el torque a altas velocidades. El estator también consiste de un grupo de laminaciones con bobinas de longitud devanadas a través de la cadena. Se conectan cuatro bobinas juntas para formar la fase A y las otras cuatro para formar la fase B.

Cuando la corriente fluye a través de la fase A, el flujo magnético que fluye a través del rotor y del estator hacen que el motor se alinie a si mismo en una posición de mínima reluctancia. Este flujo fluye radial y axialmente a través del rotor y el estator en tres maneras dimensionales lo que es más complejo que las escobillas estándar del servomotor. Cuando la corriente interrumpe la fase B, el rotor se mueve 1.80.

Un conductor de paso convencional completo hace que el motor de pasos energice alternadamente la fase A y la fase B con corrientes bipolares. Pero decremента gradualmente la corriente en una fase mientras simultáneamente incrementa la corriente en la otra fase, de esta manera es posible mantener posiciones (micropasos) intermedias. Además, un conductor microstepping trabaja proporcionando la corriente en dos fases de acuerdo a la relación seno-coseno.

Un conductor microstepping mueve el motor en pequeños incrementos cuando los pulsos que recibe de una fuente externa crean incrementos en la función seno-coseno. Los comandos seno-coseno son generados con circuitería que consiste de contadores, memorias de sólo lectura (ROM), y convertidores digital/análogo (DAC), o con microprocesadores y DACs.

Se necesita un amplificador en cada fase para producir exactamente las corrientes comandadas en las bobinas del motor. La corriente de conducción es alimentada por amplificadores lineales, amplificadores operacionales de potencia, o amplificadores PWM. Los amplificadores PWM son los más ampliamente usados por su alta eficiencia, usualmente sobre 95%.

La corriente actual producida por el amplificador es sensada con resistencias de precisión o dispositivos de efecto Hall. Una malla de realimentación compara corrientes comandadas con corrientes actuales y corrige cualquier error.

El amplificador produce corrientes en respuesta a pulsos que recibe de un indicador. Los pulsos del indicador representan comandos para aceleración, desaceleración, velocidad, y distancia del motor. El indicador convierte comandos de alto nivel de conmutadores accionados con el pulgar, computadoras o microprocesadores, o controladores lógicos programables (PLC) dentro del flujo de pulsos apropiado.

La frecuencia y el número exacto de pulsos son controlados con exactitud para movimientos de precisión. La alta resolución posicional de los sistemas de micropasos requiere pulsos de altas frecuencias a velocidades altas de

motor. Un conductor de 25,000 pasos/rev, por ejemplo, necesita 1,000,000 pulsos/seg. para correr a 40 rev/seg. (2,400 rpm). Estas altas frecuencias son generalmente difíciles de producir directamente en una computadora o PLC y debe ser generada con lógica especial.

Para generar pulsos, un procesador dentro del indicador controla un oscilador o rango multiplicador en respuesta a comandos de alto nivel de la computadora principal. Los pulsos de salida son contados y continuamente monitoreados para asegurar que se produzca el número correcto. Los perfiles de movimiento típicos son triangulares, trapezoidales, o parabólicos.

Existen indicadores sofisticados que controlan múltiples ejes simultáneamente. Algunos tienen la habilidad de monitorear la posición actual del eje con un codificador externo e inmediatamente corregir cualquier error de posición.

Seccion transversal del motor de pasos

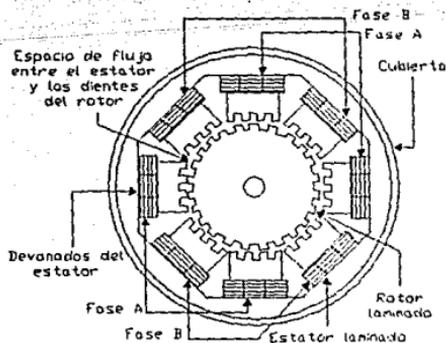


Fig. 10.1a

Un motor de pasos convencional tiene 50 dientes en el rotor y dos devanados en la fase del estator. Un pulso conductor de paso completo rota el eje del motor 1.8 grados. El rotor y el estator son hechos de hierro laminado para minimizar las pérdidas de corriente de eddy.

La corriente de fase conductora para un motor de pasos convencional es una onda cuadrada. La corriente positiva para la fase A (100%) y corriente cero para la fase B (0%) simultáneamente hace que los dientes se alineen bajo el polo de la fase A. Cincuenta dientes en la circunferencia del rotor crean 50 posiciones naturales de detención. Dividiendo 360 grados por 50 posiciones da un paso mecánico de un ángulo de 7.2 grados. Por esta razón, el movimiento será ± 3.6 grados cuando se energiza o desenergiza una fase simple del motor. Pero la corriente para ambas fases es controlada en una secuencia de cuatro estados durante operación normal. Esta secuencia multiplicada por los 50 dientes del rotor crea los 1.8 grados de ángulo de paso o 200 pasos/rev del motor.

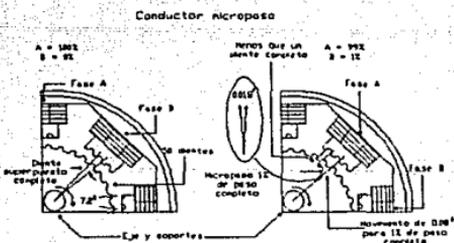
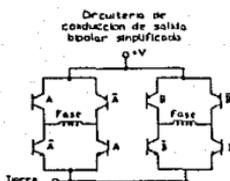


Fig. 10.1b



SECUENCIA DE INTERRUPCIÓN:

	A	Ā	B	B̄
1	On	OFF	On	OFF
2	OFF	On	On	OFF
3	OFF	On	OFF	On
4	On	OFF	OFF	On
1	On	OFF	On	OFF

Fig. 10.1c

Señales de conduction de onda cuadrada para fase A y B

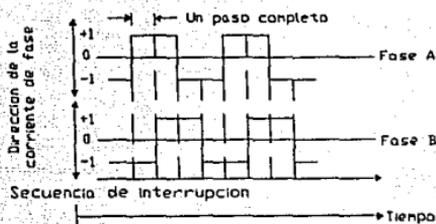


Fig. 10.1d

Los sistemas microstepping típicamente usan motores de pasos híbridos convencionales (usualmente 200 pasos completos/rev) y control de corriente para posicionar el rotor entre posiciones normales de paso completo. Los conductores de paso completo producen corrientes de bobina de prendido o apagado, pero los conductores de microstepping usan ondas de seno y coseno para proporcionar corrientes suaves entre fases, incrementando lentamente la corriente en una fase mientras decremента la corriente en la otra. Si las corrientes de fase son detenidas en valores intermedios, el rotor mantiene una posición intermedia muy exacta y repetitiva.

Conductor micropaso

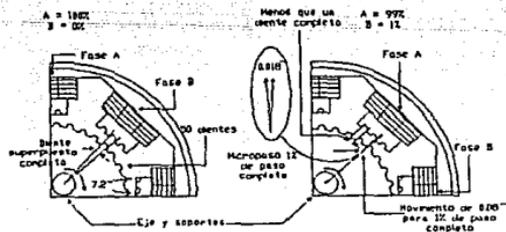


Fig. 10.2a

Señales de conduction seno/coseno para fase A y B

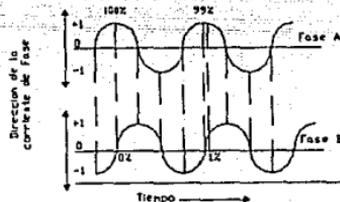
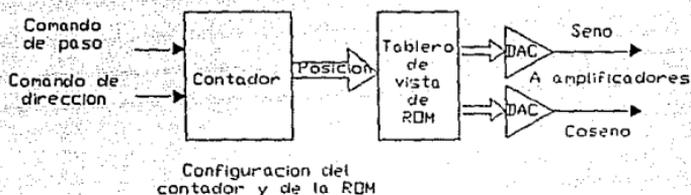


Fig. 10.2b

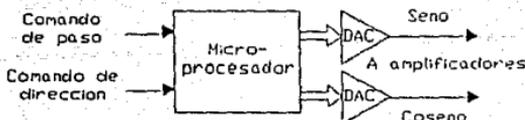
Un ensamble típico del conductor contiene control electrónico y fuente de poder. El conductor recibe señales de paso y dirección de un indicador o controlador de movimiento programable. El conductor lógico consiste de un contador y un tablero de búsqueda ROM, o un microprocesador, y dos convertidores DACs. La circuitería lógica determina el nivel de la corriente correcta para cada fase del motor y las señales del convertidor digital DAC a ondas seno y coseno del conductor.

Ensamble del conductor de Micropaso



Configuración del contador y de la ROM

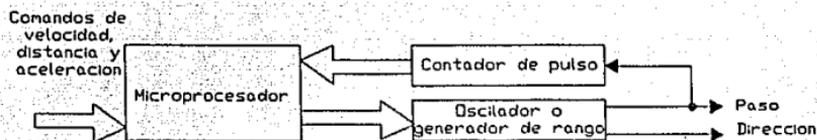
Fig. 10.3



Configuración del microprocesador

El ensamble del indicador del microstepping produce señales de paso y dirección necesitadas por la etapa de conducción. Una aproximación utiliza un microprocesador y un oscilador o generador de corriente para convertir comandos de distancia, velocidad y aceleración de conmutadores accionados con el pulgar, computadoras personales, o PLCs a señales lógicas.

Ensamble indicador del Micropaso



Sistema de control micropaso con todos los componentes interfasados

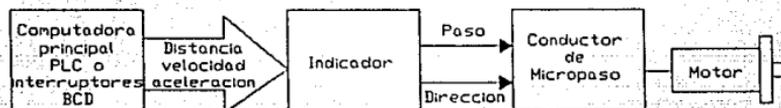


Fig. 10.4

Un perfil de velocidad ampliamente usado para sistemas de control de movimiento es el trapezoidal. El motor se acelera linealmente desde interrupción hasta velocidad preestablecida, corre a una velocidad constante por un tiempo prescrito, y desacelera linealmente para detenerse. Frecuentemente se hacen movimientos cortos por aceleración lineal para la primera mitad de la distancia deseada y desaceleración para la segunda mitad. Esto es conocido como perfil de movimiento triangular. Perfiles más complejos son también posibles, como los parabólicos.

Perfiles típicos de control de movimiento

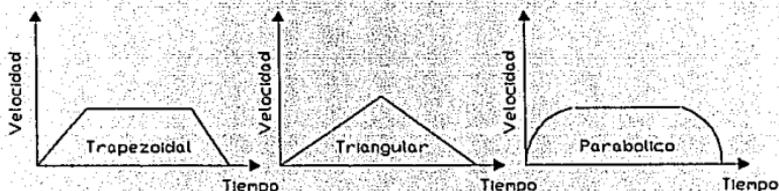


Fig. 10.5

Además, se pueden mezclar niveles de velocidad múltiples y aceleraciones (y desaceleraciones) para satisfacer virtualmente cualquier problema de control de movimiento.

Los sistemas de control del motor Microstepping y de conductores vienen en una amplia variedad de tamaños estándar y configuraciones en paquete. La mayoría de los sistemas consisten de un motor y un ensamble de conductor el cual contiene electrónica de control y fuente de poder. El indicador es usualmente una unidad separada la cual convierte comandos de distancia, velocidad, o aceleración en pasos y señales de dirección necesitadas por la electrónica de conducción. Otras configuraciones combinan el indicador con la electrónica de conducción y tienen una fuente de poder y un motor separados.

Donde usar los Microsteppings

Aún cuando el microstepping provee resolución de posición incrementada y suavidad, el simple montaje y libertad de desplazamiento, no son apropiados para todas las aplicaciones de control de movimiento. Los sistemas simples de microstepping operan a malla abierta. No cuentan con dispositivos de realimentación de posición para garantizar que la posición del eje sea correcta. Normalmente esto no es un problema para aplicaciones donde las cargas del eje son relativamente constantes, como los tableros X-Y, los exploradores, y las máquinas de paquete.

Para acabar con los problemas de incertidumbre de posición del eje, una regla de diseño aceptada es seleccionar un motor con el doble del torque computado. También, la rigidez de la posición del eje es una función del torque dado y de la carga. La alta eficiencia de los

motores de pasos en torque por volumen y torque por ampere usualmente minimiza cualquier problema utilizando un motor más largo. De hecho, un motor de pasos que provee el doble de los requerimientos de torque dados puede ser aún físicamente más pequeño que un servomotor con especificación similar.

Cargas del eje que son largas e intermitentes en exceso del torque disponible (el cual decrece con la velocidad) del motor, pueden hacer que el motor se pare o pierda posición. Las aplicaciones con demandas de torque que son ampliamente variadas, como robots industriales, usualmente necesitan un sistema de malla cerrada que puede responder a estos requerimientos eficientemente. Pero estos sistemas son mucho más caros. Se deben adicionar dispositivos de realimentación, como codificadores y transformadores de coordenadas, y un más sofisticado sistema de control. Estos elementos de realimentación tienden a ser más frágiles que el motor en sí.

La repetibilidad de un sistema de posicionamiento es usualmente el parámetro de diseño más importante. Los microsteppers de malla abierta son muy repetitivos si los elementos son seleccionados como se ha mencionado.

Los sistemas con largas y variadas fricciones que cargan un gran porcentaje del torque disponible del motor pueden producir errores de posición significantes. Como guía, el eje se desplazará alrededor de un grado cuando un torque igual a la mitad del torque del motor dado sea aplicado. Esto no es problema para sistemas con cargas repetibles, como los tableros del conductor del tornillo regulador o de los exploradores. Pero los expertos usan un motor más grande que lo que los cálculos del torque indicarian normalmente, simplemente para mejorar el sistema

completo de rigidez.

MICROPASO DE MALLA CERRADA O SERVO C.A. SIN ESCOBILLAS.

Los motores de paso normalmente corren a malla abierta (sin posición o velocidad de realimentación), y este modo de operación es satisfactorio para varias aplicaciones. Pero siempre existe un potencial para un sistema de malla abierta para detenerse si la carga de repente se vuelve excesiva o si el motor es acelerado demasiado rápido. Como consecuencia, un motor de paso de malla abierta debe ser reducido y corrido a menos que su potencial de torque completo.

Los sistemas de malla cerrada generalmente ofrecen mejor confiabilidad que los sistemas de malla abierta porque continuamente monitorean la posición y velocidad actual. Esto minimiza los errores entre el movimiento comandado y el actual. Mientras que los sistemas de malla cerrada potencialmente proveen un control más ajustado que los sistemas de malla abierta, usualmente son más complejos y caros. Una razón es que los dispositivos de realimentación son frecuentemente caros y frágiles porque deben tener alta exactitud y resolución. Como dispositivos de precisión de medición, deben ser unidos al motor o carga y protegidos de la contaminación ambiental.

Un servosistema sin escobillas ideal utilizaría un motor de alto torque-a-inercia de bajo costo con un sensor simple de alta resolución.

Cuando es conmutado externamente por el motor de paso de dos fases, el motor se comporta exactamente como un servomotor sin escobillas de tres fases. La información de posición del sensor interno determina cuando la corriente

debería ser interrumpida en cada bobina. La magnitud de la corriente determina el torque.

Una comparación de un motor de paso híbrido con un transformador de coordenadas sin escobillas, ilustra que ambos contienen los mismos componentes del rotor y estator. El transformador de coordenadas es altamente inmune al ruido porque no es un dispositivo incremental y puede operar en el mismo medio rudo que el motor. La información de la amplitud modulada de cada uno de los 50 polos magnéticos del transformador de coordenadas es subdividido en 256 posiciones discretas con una resolución de rotación total de 12,800 (50 x 256) pasos/rev. El sistema de control utiliza esta información de posición para conmutar el motor y cerrar las mallas de posición y velocidad.

Con esta aproximación, el torque completo que produce la capacidad del motor de pasos puede ser usada sin detenerse como un sistema de malla abierta. Si el torque demanda aproximarse a la capacidad del motor dada, el sistema sólo bajará su velocidad. La aceleración y desaceleración es grandemente mejorada y es típicamente diez veces mayor que en un sistema de malla abierta. El control de malla cerrada también mejora la rigidez del eje. Como todos los servos, la corriente es suministrada cuando se requiere que el torque rote el eje. Esto significa que el motor trabaja en frío. Así que, un micropaso de malla cerrada externamente conmutado es realmente lo mismo que un servo c.a. sin escobillas.

Un modelo de un controlador típico combina la fuente de poder, el indicador y la electrónica de conducción en un paquete. Cada indicador/conductor almacena múltiples programas de movimiento en memoria (EEPROM) no volátil. Se seleccionan ocho programas en una variedad de

formas incluyendo interruptores BCD, controladores programables, o una computadora por una interfaz RS232C. Una vista de corte de un motor/resolvedor integral muestra un rotor de múltiples cadenas y un resolvedor separadamente localizado en la terminal opuesta de la cubierta. El resolvedor incremental o absoluto provee una señal de retroalimentación estrechamente acoplada para control de malla cerrada.

CAPITULO XI

FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO DE CONTROL NUMERICO DIDACTICO

CAPITULO XI

FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO DE CONTROL NUMERICO DIDACTICO

Este equipo, está diseñado para cubrir técnicas y principios en el campo de control directo de máquinas.

Los tipos de motor que más se usan en control, son el Servomotor de D.C. (Corriente Directa) y el Motor de Pasos. Cada motor puede ser usado por separado, en situaciones donde la alimentación directa o control de malla abierta se requiera, y en cada caso la malla puede cerrarse dandonos una muestra de control posicional con o sin la computadora.

La utilización de una interfaz de la computadora, da de alta al sistema, lo que permite a la computadora leer el dato del codificador del sistema y controlar los motores del sistema en base a decisiones hechas por computadora, bajo programas de control. De esta manera se tiene una selección de componentes comunes encontrados en diferentes tipos de sistemas de control, enlazados por la computadora, formando un sistema de control numérico.

En este equipo se han usado diferentes familias de componentes electrónicos, que incluyen Circuitos Lineales, (TTL, LSTTL), Amplificadores Operacionales Lineales, CMOS, Interruptores Análogos, y Dispositivos Optoelectrónicos.

Este Equipo Educativo consta de varias partes que se mencionan a continuación.

Control Manual.

Está disponible usando los interruptores montados en el panel:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Control Análogo de Velocidad | Servomotor |
| 2. Control Análogo Posicional | Servomotor |
| 3. Control de Velocidad PWM (fuente análoga) | Servomotor |
| 4. Velocidad Digital PWM y control de dirección | Servomotor |
| 5. Control de Velocidad (Temporizado) | Motor de Pasos |
| 6. Control de Dirección | Motor de Pasos |

Control Por Computadora

Está disponible usando una computadora PC IBM como estándar, cuyo software está disponible en ROM, con los siguientes programas a cubrir:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Control Posicional Incorporando Absoluto | Codificador
Servomotor |
| 2. Control de Velocidad PWM | Servomotor |
| 3. Control Posicional Incorporando Incremental | Codificador
Motor de Pasos |
| 4. Control de Estimulo | Motor de Pasos |

Diseño de plano abierto

El tablero de circuitos impresos ha estado diseñado para asegurar que toda la circuitería relevante sea claramente visible, incorporando catorce puntos de prueba y varios leds para fácil localización de señales.

Simulación de fallas

Pueden introducirse dieciseis fallas al sistema por medio de interruptores. Las fallas son típicas a las que se encuentran en un Sistema Industrial. Estas partes pueden ser localizadas por el estudiante usando equipos de prueba estándar.

Amplio rango de aplicación

Los circuitos usados son típicos de aquellos usados en aplicaciones industriales, ya sea desde pequeños plotters o impresoras, hasta las más grandes máquinas de herramientas.

Este sistema es una herramienta perfecta para el entrenamiento de Ingenieros de servicio, que serán responsables del servicio de mecanismos controlados por computadora.

El control por computadora de los motores servo y de pasos nos muestra las dos aplicaciones típicas del sistema, los dos métodos típicos de la realimentación, un codificador absoluto y un codificador incremental.

NOTA:

Cuando se corra la unidad por computadora, se debe checar que los interruptores estén en posición apropiada para la conexión de la computadora.

Se aconseja tener el servo switchado al "pot" (potenciómetro) de control cuando se usan los programas del motor de pasos, de otra manera todo dato mandado a correr éste, causará que el servo sea energizado erróneamente.

Así mismo, es aconsejable tener al motor de pasos apagado cuando se corre el servo, ya que al mandar algún dato para energizar al servo puede causar que el motor de pasos sea indexado.

PROGRAMA DE CONTROL DEL SERVOMOTOR

El servomotor es controlado posicionalmente por la computadora por el uso de un disco codificador incremental. El código usado en el disco es el Código de Gray, que para usarlo en la computadora se convierte a binario.

El servomotor es controlado variando el dato mandado al canal de datos. Variando el valor del "bit" 8 podemos controlar la dirección de rotación y velocidad del servomotor (el "bit" 7 controla dirección y los "bits" del 0 al 6 controlan velocidad).

Para Correr el Programa

El programa se corre presionando la clave 1. Esta es la instrucción de salto a la localización BC70 que es la dirección de inicio para este programa en particular. La información del usuario es entonces desplegada (y la salida de la impresora si está prendida) seguida por el cursor:

```
"DESTINATION ? 2/3"
```

La computadora está entonces lista a aceptar un valor hexadecimal de dos dígitos como entrada. Ya que el codificador solo usa 7 "bits", el máximo valor que se puede meter es 7F (hex). Después de que se ha metido el valor destinado, la computadora lee y convierte el presente valor del codificador. La computadora compara los dos valores para asegurar que no son iguales todavía, si lo son, el programa regresa al cursor de destinación.

Asumiendo que los valores son diferentes, la computadora entonces decide cual es la trayectoria más corta para alcanzar la destinación y energizar por consiguiente al servomotor. Mientras el motor gira, la computadora está constantemente leyendo el codificador para asegurarse que no se ha alcanzado la destinación.

Tan pronto como los dos valores se igualan el servomotor se desenergiza. La computadora entonces hace una pausa antes de recheckar la lectura del codificador para asegurar que el servomotor no ha excedido su destinación.

Este proceso se continúa hasta que se llega a una posición estable. Cuando esto pasa, el programa regresa, despliega el cursor de destinación y está listo para aceptar otros dos dígitos hexadecimales.

COLOCACION DE LOS INTERRUPTORES CUANDO SE CORRE EL PROGRAMA SERVO.

- SW1 - P.W.M.
- SW3 - DIGITAL
- SW6 - ABSOLUTE
- SW7 - COMPUTER

Los demás interruptores pueden estar en cualquiera de sus posiciones.

DISCO CODIFICADOR

El disco codificador está diseñado para representar valores usando "7" bits desde 00 a 7F. El bit menos significativo, está en el diametro de afuera del disco y es el que cambia más frecuentemente. El 00 está representado por el área blanca, el 01 es todo blanco

apartado del menos significativo, el 02 todo blanco apartado de los dos "bits" exteriores, etc., siguiendo la regla del Código de Gray al 7F que es el "bit" más interior negro y el resto es blanco. Como se puede ver cuando el área está blanca, el "bit" no está colocado y cuando el área está negra el "bit" está colocado.

CODIGO GRAY A BINARIO

El Código Gray se usa en mecánica, óptica y mecanismos contadores de electrónica ya que la carga o señal cambian igualmente lo que ayuda a tener lecturas exactas. Esto se lleva a cabo por que la adición de uno a cualquier número resulta en un sólo cambio de un bit.

El Código de Gray es un código "Binario" como tal, pero su valor no es 8421. Su medida es el doble del número binario menos uno.

La siguiente tabla muestra como trabajan los valores del código gray:

DECIMAL	GRAY 15 7 3 1	BINARIO 8 4 2 1	RAZON PARA EL CODIGO GRAY
0	0 0 0 0	0 0 0 0	código cero
1	0 0 0 1	0 0 0 1	1
2	0 0 1 1	0 0 1 0	3 - 1
3	0 0 1 0	0 0 1 1	3
4	0 1 1 0	0 1 0 0	7 - 3
5	0 1 1 1	0 1 0 1	7 - 3 + 1
6	0 1 0 1	0 1 1 0	7 - 1
7	0 1 0 0	0 1 1 1	7
8	1 1 0 0	1 0 0 0	15 - 7
9	1 1 0 1	1 0 0 1	15 - 7 + 1
10	1 1 1 1	1 0 1 0	15 - 7 + 3 - 1
11	1 1 1 0	1 0 1 1	15 - 7 + 3
12	1 0 1 0	1 1 0 0	15 - 3
13	1 0 1 1	1 1 0 1	15 - 3 + 1
14	1 0 0 1	1 1 1 0	15 - 1
15	1 0 0 0	1 1 1 1	15

El algoritmo para hacer funcionar el Código de Gray a binario es que el "bit" más significativo se mantiene sin cambio y por lo tanto si el número de unos a la izquierda es par, el "bit" se mantiene sin cambio, pero si el número de unos es non, el "bit" se cambia.

PROGRAMA DE CONTROL DEL MOTOR DE PASOS

Está diseñado para mostrar el principio básico de como trabaja un codificador lineal en conjunción con un arreglo de rosca de dirección como se podría encontrar por ejemplo en un torno central.

El motor de pasos se corre emitiendo una secuencia de patrones de "bits" de la computadora con un retardo definitivo entre cada patrón de bit. El patrón de bit causa diferentes polos dentro del motor de pasos para que se energice y así estos polos se energizan a una secuencia de juego lo que causa que el motor de pasos rote. Variando el retardo entre los patrones de bit causa que la velocidad de rotación del motor de pasos sea cambiada, (entre más pequeño/corto sea el retardo, más rápida será la velocidad de rotación). Si los patrones de bit son mandados al motor de pasos también más rápido se parará el motor de pasos. Esto es porque hay una cierta cantidad de inercia en los pasos que necesita ser vencida, los pasos por lo tanto no pueden exceder una óptima velocidad de rotación y se saltarán pulsos.

La secuencia de patrones de bit para este motor de pasos es 10, 6, 5, 9 (Decimal) que, cuando se aplican a los pasos causarán que el motor cambie de dirección. Para invertir esta dirección es cuestión de aplicar a la inversa los patrones (por ej. 9, 5, 6, 10).

PARA CORRER EL PROGRAMA

Las instrucciones de uso son desplegadas en la pantalla.

"Start Position" ? 2/3(Posición de inicio ? 2/3)

Si el montaje de la armadura no está en la posición de "Home" (inicio), la posición de inicio puede ser estimada leyendo el valor de la escala y metiéndolo acordemente. El programa entonces basa su posicionamiento futuro alrededor de este valor como si no fuera posible checar el valor que haya entrado anteriormente.

Si en su lugar se desea trabajar desde la posición de "Home", cualquier posición de inicio puede ser introducida y pasada por alto.

Después de introducirlo, la computadora responde con:

"Target Position" ? 2/3(Posición de Blanco ? 2/3)

La computadora responde corriendo el motor de pasos hasta que se alcanza la posición "Home" mientras despliega 'Go to "home" position' (vaya a la posición de "Home"). Esto también, automáticamente, luego resetea la base a "00" para futuros posicionamientos, así entrando "00" inmediatamente después de la rutina de "Home", no traerá respuesta.

Cualquier valor de blanco entre 00 y 60 (hexadecimal) puede ser introducido y la computadora entonces corre el motor de pasos a esta posición basada en su posición de base. Sesenta es la posición más lejana disponible de "Home" dentro de la longitud de la ranura e introduciendo cualquier valor mayor causa que el mecanismo

se atore.

Cuando los valores de inicio y blanco han sido metidos en la computadora, primero tiene que decidir sobre la dirección de la corriente a correr del motor de pasos, para llegar a la posición deseada. Luego usa la diferencia entre los dos valores como una comparación del número de cambios del negro al blanco lo cual detecta la escala lineal cuando el detector es movido a través de l. Cuando el valor de conteo del número de cambios se vuelve igual a la diferencia en los valores, la posición de blanco se ha alcanzado. Esta posición de blanco es ahora almacenada y usada como la nueva posición de base.

Al moverse el montaje de la armadura a lo largo de la rosca, la posición de corriendo es desplegada en la pantalla hasta que se alcanza la posición de blanco.

LECTURA DE LOS CODIFICADORES

El codificador de "Home" es leído, cargando el valor de memoria en la localidad 8001 y desplegando los "bits" 0 al 6. El "bit" 7 es entonces probado para ver si es 0 ó 1. (1 es el valor cuando la montura está en la posición de "Home"). Como el "bit" 7 no se usa en el codificador absoluto, este codificador está encendido todo el tiempo. El codificador incremental lineal sólo es switchheado cuando el switch 6 está en la posición "INC" al usar el "bit" 6 de la localidad de memoria, que también es usada en el codificador absoluto. Cargando el valor desde 8001 y adicionandolo con 40 hex (0100 0000 binario) sólo este "bit" es leído. La computadora checa un cambio en este "bit" cuando la montura de la armadura se mueve a través de la escala lineal y cada vez que el valor del "bit" cambia el contador se incrementa.

FACILIDADES ADICIONALES EN EL PROGRAMA

Al estar corriendo el motor de pasos entre su posición de inicio y de blanco, el proceso puede ser pausado sosteniendo cualquier clave excepto la barra de espacio y la tecla "Esc". Presionando la barra de espacio, para el programa hasta que se presione otra clave. Presionando la tecla "Esc" el control regresa al programa monitor.

POSICIONES DE LOS SWITCHES PARA EL PROGRAMA DE PASOS

SW1 - SERVOSW4 - BUSSW6 - INCSW7 - COMPUTADORA

Otras posiciones de interruptores no afectarán la corrida del programa.

MOTOR DE PASOS ESTIMULADO POR FASES

El programa de estimulación para el motor de pasos podría usarse para mostrar la secuencia de los patrones del bit en el bus de datos. El programa es inicializado usando la clave F3. Esta primeramente despliega mensajes introductorios y luego espera la entrada de las llaves F y R ("Forward"-Adelante y "Reverse"-Reversa). Cada vez que se presiona una llave, los leds muestran el cambio en el patrón (10,6,5,9 Decimal) representado en binario, en los 4 bits más significativos del bus de datos los leds y el motor de pasos se mueven un paso.

Una vez que se ha seleccionado la dirección presionando ya sea F ó R, cualquier clave puede ser usada para continuar el ciclo, pero sólo F ó R invertirán el patrón, y por consiguiente la dirección del motor de pasos.

SECUENCIA DEL PATRON DE BITS

	<u>L.E.D'S</u>
10.....	1 0 1 0
06.....	0 1 1 0
05.....	0 1 0 1
09.....	1 0 0 1

PROGRAMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL P.W.M.

Empezando el programa, el display es utilizado para desplegar mensajes del usuario y luego pedir una entrada de dos digitos hexadecimales para la velocidad del servomotor. El valor introducido es llevado a la localidad de memoria 8000H, la cual, cuando es decodificada por la unidad, es puesta en el canal de datos. Esto causa que el P.W.M. sea dispuesto en proporción al valor almacenado en el canal de datos.

Valores hasta, e incluyendo 7F Hex causarán que el servomotor rote en dirección contra reloj, cualquiera arriba de 80 Hex causará una rotación conforme la dirección del reloj. El 80 Hex no causa rotación ya que el binario para 80 es 1000 0000 el cual por supuesto sólo asienta el "bit" 7 que es la dirección del "bit".

Tan pronto como un valor ha sido introducido, el programa está listo para aceptar otro valor, así el valor introducido en el canal es solo desplegado en el canal del "led". Para parar el motor se introduce 80 Hex ó 00 Hex ya que ambos valores lo pararán.

POSICION DE LOS INTERRUPTORES CUANDO SE CORRE EL CONTROL DE VELOCIDAD P.W.M.

SW1 - PWM
SW3 - DIGITAL
SW6 - ABSOLUTO
SW7 - COMPUTADORA

Las demás posiciones de interruptores no afectan la corrida del programa.

SECCION DE HARDWARE

Este sistema de entrenamiento ha sido diseñado para cubrir técnicas y principios en usos diarios en el campo de control directo de máquinas. Los dos tipos más comunes de motor utilizados para propósitos de control son, como ya se ha mencionado, el Servomotor de C.D. y el Motor de Pasos aún cuando para algunas funciones de mayor escala se utilizan sistemas hidráulicos donde se requiere alta potencia; éstos son utilizados en ocasiones en conjunción con motores servo y de pasos en sistemas híbridos donde la potencia de la hidráulica y el control de precisión de la electrónica son requeridos.

Ambos motores, el servo y el de pasos se utilizan en este sistema. Ambos pueden ser utilizados por separado en situaciones donde el control de malla abierta o alimentación directa se requieran, el control de malla puede ser cerrado proveyendo una demostración del control posicional con o sin la utilización de la computadora. La utilización de una interfaz de computadora permite a la misma leer el dato del codificador del sistema y controlar el sistema de motores en base a las decisiones realizadas por computadora bajo programas de control. Así se tiene una selección de componentes comunes encontrados en varios tipos diferentes de sistemas de control todos unidos por una computadora formando un sistema de control numérico por computadora.

En la industria no sólo es un amplio rango de técnicas y dispositivos de control utilizados, sino también una variación considerable de tipos de dispositivos de

control utilizados en funciones similares a los que se encuentran. Por esta razón un número diferente de familias de componentes electrónicos se han utilizado. Esto incluye Circuitos Lineales, TTL, LSTTL, Amplificadores Operacionales Lineales, CMOS, Interruptores Análogos, y Dispositivos Opto-electrónicos.

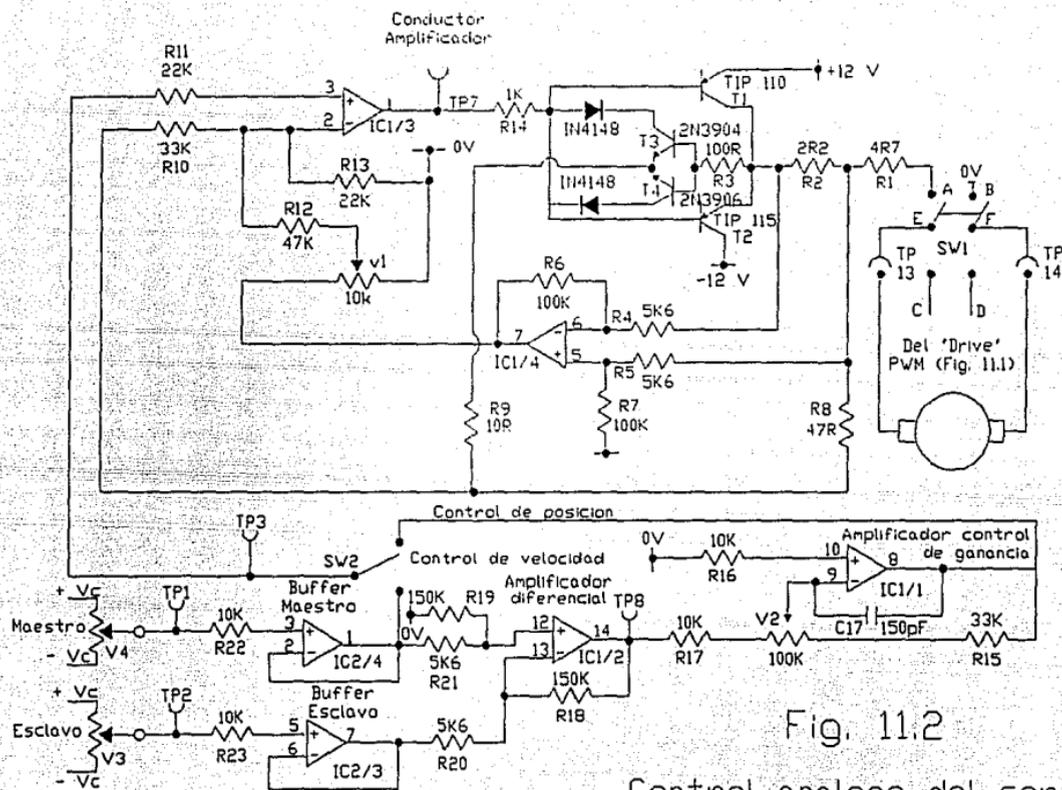
SERVO MOTOR

CONTROL ANALOGO. (Diagrama 2).

El servomotor está equipado con un potenciómetro de 360 grados (servo potenciómetro) V3 en su flecha de salida y se provee un potenciómetro multiturno V4 como medio de entrada manual análoga; cada uno de éstos, siendo conectado a un "buffer" amplificador IC2/3 e IC2/4 y suplido con voltajes de control V+ y V- por la fuente de poder (diagrama 1) para ser utilizado en un sistema de control análogo.

i) CONTROL ANALOGO DE VELOCIDAD:

El potenciómetro V4, conectado vía su amplificador "buffer" es conectado vía el SW2 y una resistencia de entrada R11 al conductor amplificador IC1/3 y transistores de salida. El conductor final es una etapa de salida bipolar o "totem pole" la cual utiliza un par complementario de transistores de potencia T1 y T2 con sus respectivas protecciones: transistores T3 y T4 y una fuente de voltaje "split" (las referencias de voltaje están a \pm). Sólo un transistor conduce a cualquier tiempo y los transistores operan en sus regiones lineales pasando una corriente a través del servomotor a 0V proporcional al voltaje de entrada desde el potenciómetro de control al ser el voltaje de control continuamente variado de -VC a través



de cero a +VC, para que la salida del conductor amplificador oscile entre el riel de la fuente de voltajes y cause que ya sea T1 ó T2 empiece a prenderse. La corriente resultante fluye a través del motor, R1 y R2 son medidas como caída de voltaje a través de R2 por la corriente midiendo el amplificador IC1/4 el cual retroalimenta al conductor amplificador via el potenciómetro V1. El efecto de este potenciómetro es alterar la respuesta del circuito del conductor a la corriente medida y así ajustar la resistencia de salida negativa del circuito para compensar gran carga reactiva inductiva del servomotor. Cualquier corriente excesiva fluyendo en el circuito del motor causa una caída de voltaje a través de R1 suficientemente larga para prender uno de los transistores T3 ó T4, el cual en turno afianza ("clampea") la base de T1 ó T2 limitando así la máxima disipación de los transistores de salida. El voltaje de la juntura de R1 y R2 es también retroalimentado al conductor amplificador via R8 y R10 para completar el circuito de control de malla cerrada en la forma normal proveyendo una señal medida en la entrada inversora al amplificador el cual cuenta-balancea el valor del blanco en la entrada no inversora. Por este medio el motor puede ser controlado a toda velocidad en una dirección a través de cero a toda velocidad en la otra dirección. (Se ha asumido que la velocidad del motor es directamente proporcional a la corriente inducida. Esta es una suposición común en dichos circuitos pero, donde ocurren largas variaciones en carga o donde se requiere extrema precisión, la corriente medida del circuito será reemplazada por un tacogenerador que produce un voltaje proporcional a la velocidad media. La circuitería implicada se comporta en la misma manera mostrada aquí).

ii) CONTROL ANALOGO DE POSICION.

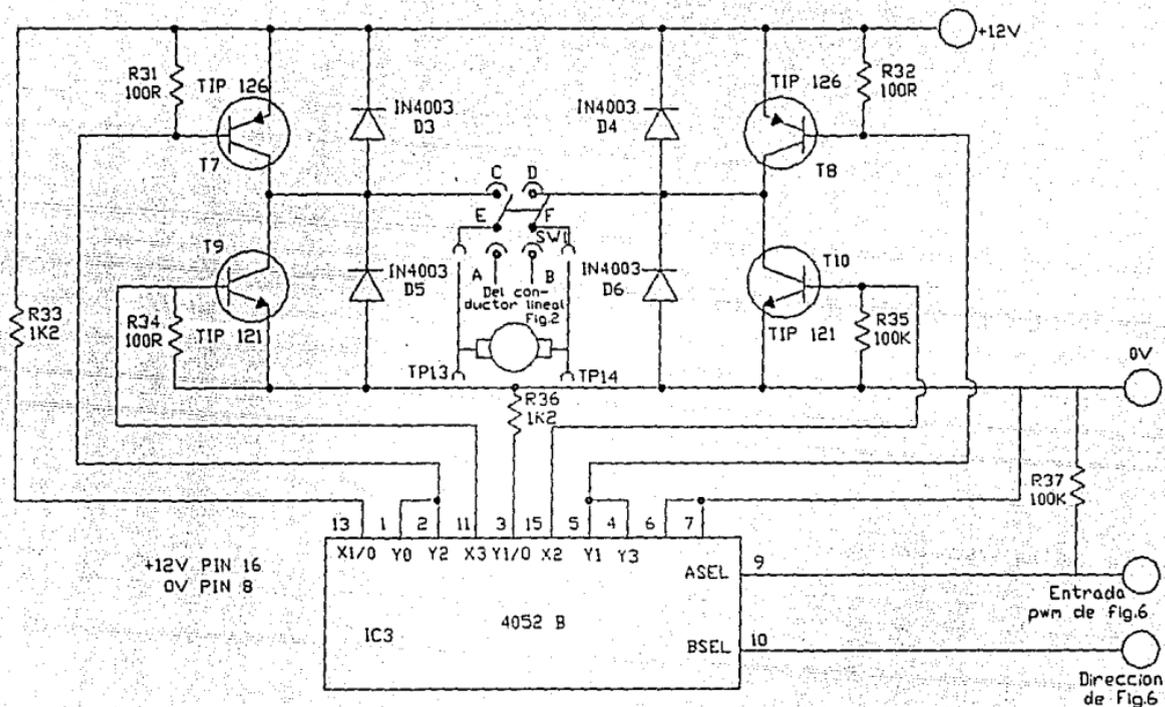
Un par de amplificadores IC1/1 e IC1/2 son interrumpidos dentro del circuito por el SW2 en el modo de control de posición. La función del amplificador IC1/2 es proveer una diferencia de señal proporcional a la diferencia entre la indicada por el maestro (manual) potenciómetro V4 y el potenciómetro esclavo V3 (servo). Esta diferencia de señal es además amplificada por la ganancia del control del amplificador IC1/1 la cual provee el control del sistema de ganancia de malla cerrada via potenciómetro V2 y alimentado via el SW2 al conductor amplificador IC1/3, ocasionando que el motor conduzca correctamente y por lo tanto, la señal disminuirá rápidamente hasta cero, cuando la flecha de salida del motor está en la correspondiente posición de blanco. La inercia en el sistema de conducción y bajo del "damping" del circuito de control puede causar un sobretiro y oscilación pero se asume que los sistemas industriales que utilizan estas técnicas han sido diseñados para superar este problema. Las consideraciones de diseño no se discutirán aquí, solamente cabe señalar que la ganancia del sistema tiene un marcado efecto en su estabilidad. La ganancia de control V2 es puesta en "Damping" critico (mojado critico), por ejemplo, en respuesta a un cambio rápido en la entrada (valor de blanco) la salida responde moviendo y levemente sobretirando antes de regresar al blanco sin aterrizaje. El ajuste de V2 resultará en una respuesta lenta y tarda al aproximarse la salida al blanco sin el sobretiro, o en la oscilación debida a la alta ganancia donde la salida se sobretira y aterriza repetitivamente. El voltaje de entrada del maestro puede ser encontrado en la prueba del punto 1, el voltaje de entrada del esclavo en la prueba del punto 2 y la salida del amplificador diferencial en la prueba del punto 8. El

voltaje de entrada del conductor amplificador está en la prueba del punto 3 y el voltaje de salida en la prueba del punto 7.

CONTROL DIGITAL (Diagrama 7)

Interrumpiendo el SW1 a la posición PWM, se conecta al servomotor a un tipo diferente del arreglo de transistor de conductor. Esto es un arreglo de puente "H" unipolar el cual utiliza dos pares de transistores T7 y T10 y T8 y T9 conectados como un puente con pares de transistores diagonalmente opuestos conduciendo juntos y causando que la corriente a través de la carga sea controlable en cualquier dirección desde una simple fuente de voltaje. Estos transistores son corridos en una interrupción en lugar del modo lineal y por lo tanto saturados y encendidos; los transistores "Darlington" son utilizados para minimizar la corriente de base requerida. Su utilización está hecha de 4 diodos volante D3, D4, D5 y D6 a través de los transistores del puente, el propósito de éstos es proveer una ruta para la corriente residual en una rosca inductiva del motor al estar apagado y así permitir a la corriente fluir hasta que la energía almacenada sea disipada y también para dispersar la reversa generada al apagarse los transistores sin causar daño a los mismos.

Si un par de transistores se prende continuamente, entonces el motor correrá a velocidad completa. Si se apaga el motor, no correrá. Prendiendo y apagando los transistores con un radio marca-espacio variable, causa que el motor sea energizado durante la marca y desenergizado durante el espacio, así corre a una velocidad variable proporcional al radio marca espacio. En un tren de pulsos continuo, equivalente a la duración o anchura del pulso, la técnica de variar o modular dichos



Conductor Puente H
Servo del PWM
Fig. 11.7

pulsos es conocida como "Modulación de Ancho de Pulso" (P.W.M).

En este circuito, la interrupción o conmutación es realizado por un interruptor análogo CMOS. Este contiene los FETS lógicos y de interrupción necesarios para marcar la ruta de la corriente a través de las resistencias R33 y R36 a las bases de los transistores requeridos. Las resistencias R31, R32, R34 y R35 sirven para mantener polarizados los transistores y disipar cualquier carga almacenada en la base del transistor resultando así, en un apagamiento rápido y positivo.

RELOJES P.W.M. (Diagrama 6)

Con el SW3 en la posición Análoga la señal P.W.M. es derivada de un reloj de libre corrimiento y de un modulador de anchura de pulsos análogo, siendo las dos mitades de un 556 "dual timer" IC5. Esto permite controlar el ancho del pulso variando el voltaje de control del modulador por medio de un potenciómetro análogo simple V5. El tiempo constante del circuito astable está dado por R53 y R54 y C13. Dicho tiempo debe ser lo suficientemente lento para que los transistores de salida se prendan y apaguen sin dificultad, pero también suficientemente rápido para evitar la molestia debida al alto ruido de audio del motor. Esta señal se encuentra en la prueba del punto 4.

Volteando el SW3 a la posición *digital* permite a la circuitería del conductor tomar su señal PWM del modulador de ancho de pulso digital. Este circuito toma los 7 "bits" menos significativos del canal de datos y carga un contador variable IC8 con el dato (0 a 127). El dato en el canal de datos está a niveles de TTL por lo que tiene que ser amortiguado y convertido a niveles de CMOS (12V en este

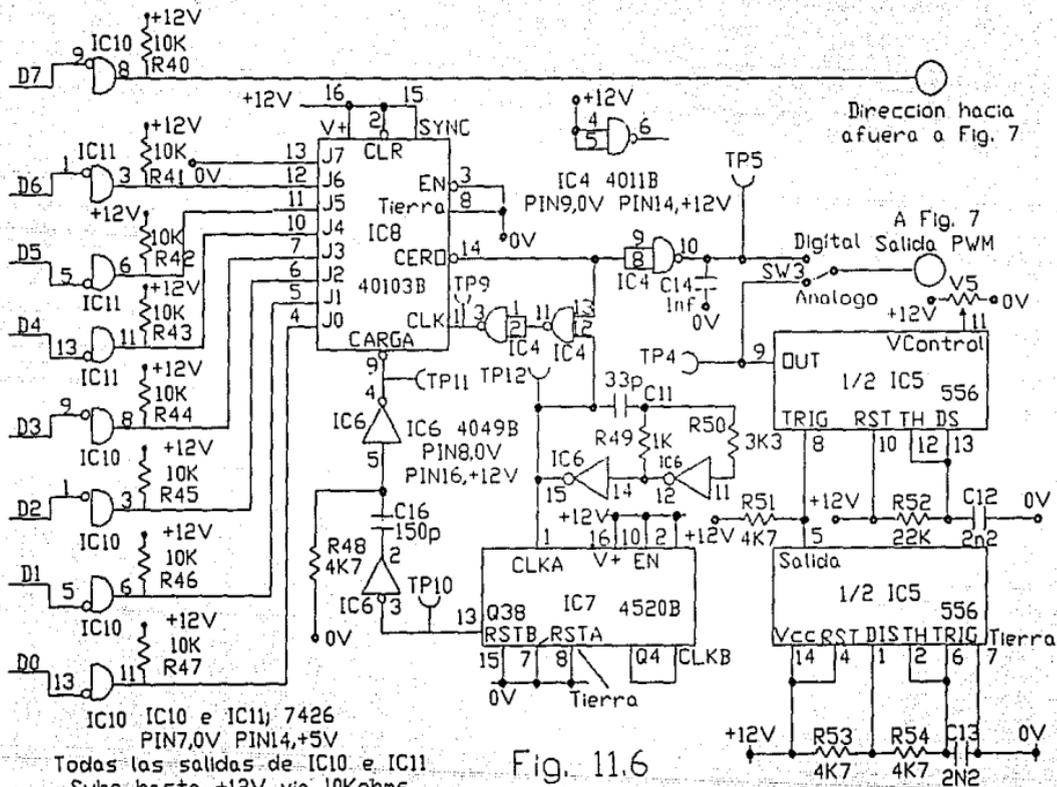


Fig. 11.6

Moduladores Ancho de Pulso

caso); esto se logra utilizando compuertas TTL, que se conectan a voltajes mayores a 5V. Las salidas del 7426 son elevadas a 12V via las resistencias R40 a R47 de 10K para completar el cambio de nivel. Un reloj más rápido (2 MHz) generado por dos inversores de IC6 con retroalimentación capacitiva a través de C11, envia los pulsos a un contador secundario IC7 que cuenta desde 0 hasta 127 mientras simultáneamente lleva el tiempo del primer contador descendente hasta cero. Cuando este contador maestro alcanza el cero, detecta los cambios en la salida (terminal 14) y evita que el reloj via IC4 tome el tiempo del contador hasta el siguiente grupo de 128 pulsos. El estado de este cero detector de salida es por lo tanto un tren de pulsos en su propia corrección de frecuencia $1/128$, frecuencia de reloj que tiene un tiempo marca de $n/128$ donde n es el valor en el canal de datos de los "bits" cero a través de 6. Esta señal está disponible en la prueba del punto 5.

El "bit" 7 del canal de datos es utilizado para controlar la dirección del control PWM. Esto se logra utilizando el circuito del interruptor analógico IC3 para seleccionar la base del conductor a uno u otro de los pares de transistores en el puente como se describió con anterioridad.

INTERFASE DE LA COMPUTADORA (Diagrama 3)

La unidad puede aceptar datos en su canal de datos desde dos fuentes ya sea el canal de datos de la computadora o los interruptores manuales de entrada de datos, el dato seleccionado por SW7 que habilita el "latch" IC21 tipo octal "D" o el "data latch" IC9 octal transparente.

El canal de datos de la computadora también acepta datos de entrada desde BD0 hasta BD7 del "latch" IC19 octal transparente, cada uno de los cuales tiene salidas triestado conectadas a la unidad del canal de datos D0 hasta D7. Cuando se seleccionan datos de computadora, el dato es cerrado desde el bus de datos BD0 bidireccional de la computadora hasta BD7 sólo en la dirección "N".

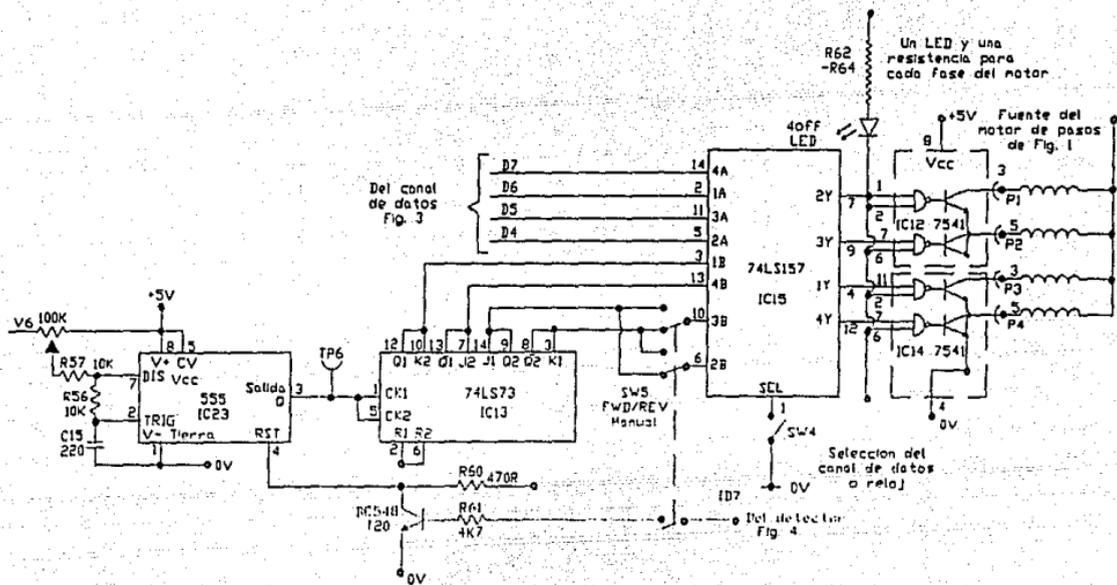
La dirección decodificadora de la interfaz está diseñada para aceptar ya sea puertos direccionales del decodificador completos "OUT"0, "OUT"1 y "OUT" o semidecodificador direccionando BA0 hasta BA7 en conjunción con un bloque de selección de línea "SEL". Dependiendo del tipo de computadora utilizada con la unidad, pueden ser puertos mapeados o memorias mapeadas y dependiendo del grado de decodificación disponible dentro de la computadora, pueden ser tres puertos individuales, tres localidades de memoria discretas o tres localidades de memoria imitadas a lo largo del bloque seleccionado de memoria. En cualquier caso, las imitaciones o ecos no se extenderán más allá del área seleccionada.

El mayor direccionamiento del decodificador es realizado por IC17 e IC0 74LS155, que son de tres a ocho líneas decodificadoras. Los decodificadores sólo se habilitan durante el bloque "SEL" y sus salidas pueden ser eslabonadas selectamente para formar las direcciones base que están en compuerta juntas por los dos colectores abiertos invirtiendo los "buffers" (amortiguadores) para formar la dirección base $N*4$ que, en conjunción con las líneas de dirección BA0 y BA1 son decodificadas para formar las direcciones discretas N, N+1 y N+2, de las cuales N y N+2 son utilizadas y N+1 está disponible para expansión.

MOTOR DE PASOS (Diagrama 8)

El motor de pasos seleccionado es del tipo de dos a cuatro fases, el cual es el motor de pasos más utilizado. Las cuatro espirales del motor se conectan en configuración estrella a una fuente común, las otras conexiones de motor son puestas a tierra por los transistores del conductor, que en este caso son TTL conductores integrados compatibles dual tipo 75451 IC12 e IC14. Esta configuración es de conductor unipolar y es utilizada interrumpiendo un patrón de dos fases en un tiempo determinado para producir un campo rotatorio, y cuyo rotor de magneto permanente rastrea paso por paso. Se hace notar que si dos fases opuestas se energizan juntas, el resultado es una cancelación del campo magnético que permite al motor ser invertido libremente aún cuando dos espirales estén de hecho energizadas. En algunas aplicaciones se pueden encontrar diferentes formas de conductores, por ejemplo, se pueden utilizar dos pares de espirales o cuatro espirales individuales en conjunción con "H" puentes de conductores similares a aquellos utilizados con el servomotor de esta unidad, para que las espirales sean energizadas en cualquier dirección mejorando así, ya sea la exactitud del paso, o el torque del motor.

Los conductores pueden ser interrumpidos por el SW4, el cual opera la línea seleccionada de un cuadro multiplexor de dos líneas 74LS157 IC15 para aceptar entradas de los cuatro bits más significativos del canal de datos D4 hasta D7 o de las salidas de un "flip flop JK dual" 74LS73 IC13. Cuando se conduce del canal de datos, los efectos de energizar varias combinaciones de campo pueden ser investigadas utilizando la entrada manual de datos en los interruptores y la computadora puede ser utilizada para adelanto o reversa de un simple paso o para aplicaciones multipaso. Cuando se conecta a los



CONDUCTOR DEL MOTOR DE PASOS

Fig. 11.8

"flip-flops", éstos proveen un circuito contador "hardware" el cual codifica un corrimiento libre de reloj multivibrador astable, formado por un circuito "timer" 555 IC23 con el potenciómetro de control V6 como RA y R59 como RB en su circuito de reloj con el capacitor C15.

Las dos secciones del 74LS73 están conectadas en cruce para generar así el patrón de "bit" requerido cambiando el estado alternadamente. Las salidas de uno de los dos "flip-flops" pueden invertirse por el cambio del interruptor SW5 doble polo proveyendo así el uso manual de funciones inversas. El detector de posición de "Home" provee una señal en la línea de dato ID7 que es también interrumpida por el SW5 y utilizada para encender el transistor T20 que aplica un "reset" al reloj IC23 proveyendo así una manera de parar el motor cuando se alcanza la posición de "Home" pero permitiendo al reloj reemplazar cuando se selecciona la dirección opuesta en el SW5.

CODIFICADORES (Diagrama 4)

Los codificadores utilizados son optoelectrónicos en ambos casos y se han hecho en un tamaño más largo de lo normal que se encontraría en la industria. Esto es realizado de tal forma que el estudiante pueda observar como operan.

CODIFICADOR INCREMENTAL

Una fuente óptica reflejada y un detector son utilizados para detectar líneas negras y blancas en una escala lineal. La salida cambia de 0 a 1 y de regreso a 0 para cada línea blanca y negra dando así dos cambios detectables por periodo de escala. Si dos detectores fueran

dispuestos 90 grados fuera de fase (en "cuadratura"), la detección del sentido de una señal cuando la otra cambia de 0 a 1 da un sentido de dirección, pero al ser la unidad conducida por el motor de pasos desde una computadora, esto no es necesario ya que la computadora ya sabe la dirección en la que se está conduciendo. Comúnmente se usan varios tipos de codificadores incrementales en la industria, probablemente el más común de éstos es el "Inductosyn", transductor inductivo que da una salida senoidal cuando el sensor se mueve en y fuera de fase con el transmisor y el tipo franja de codificador óptico que mueve dos enrejados que se pasan el uno al otro como un ventilador de "Hit and Miss" (Dar y Fallar) creando así, un patrón senoidal de luz en un detector. En cualquiera de estos casos, las salidas senoidales pueden tener una salida secundaria en cuadratura y son referidas a menudo como salidas seno y coseno. Dichas salidas son normalmente niveladas por medio de un circuito disparador "Schmitt" antes de ser alimentadas a una computadora. Los codificadores incrementales son mucho más baratos de producir y pueden lograr altas resoluciones más fácilmente que los codificadores absolutos pero sufren una pérdida de memoria cuando se remueve la alimentación al transmitir en tiempo real.

CODIFICADOR ABSOLUTO

El codificador "Shaft" ha sido ampliamente utilizado por varios años como medio de codificar digitalmente la posición de un dispositivo rotatorio. Los codificadores mecánicos y ópticos son comunes en la industria. Si el código es Absoluto el codificador puede leer la actual posición en cualquier tiempo como un número codificado. En el diseño de codificadores absolutos el código utilizado es de particular importancia y el más común de éstos es el código cíclico de "Gray". Considere

por un momento un código binario como si fuera una verdadera representación binaria de los números decimales 7 y 8, por ejemplo 0111 y 1000. Si esto se tiene que leer por cuatro detectores individuales, ya sea mecánicamente u ópticamente, la línea divisoria entre los dos códigos es extremadamente importante ya que si uno o más de los detectores estuvieran levemente fuera de línea, el codificador podría leer 1111 ó 0000 o de hecho cualquier código del cero decimal al quince puramente debido a la desviación de los mismos. El código "Gray" fué desarrollado con esto en mente y la investigación del código pronto mostrará que sólo un "bit" en el código cambia por un incremento o decremento de una posición, así, el máximo error debido a la mínima desviación es una posición y por lo tanto la exactitud del codificador es igual a su resolución.

El codificador absoluto utiliza un emisor infrarrojo a un lado de un disco transparente produciendo un patrón de código opaco y un detector infrarrojo al otro lado para cada "bit" del código y de nuevo el tamaño del codificador es tal que el código puede ser fácilmente visto.

DETECTOR DE POSICION DE "HOME"

De nuevo, un interruptor reflectivo óptico se utiliza para detectar la presencia de un objeto. Todo lo que se requiere aquí es simple detección y esta técnica puede ser encontrada en la industria por medio de "micro-interruptores" o detectores de aproximación inductivas y capacitivas.

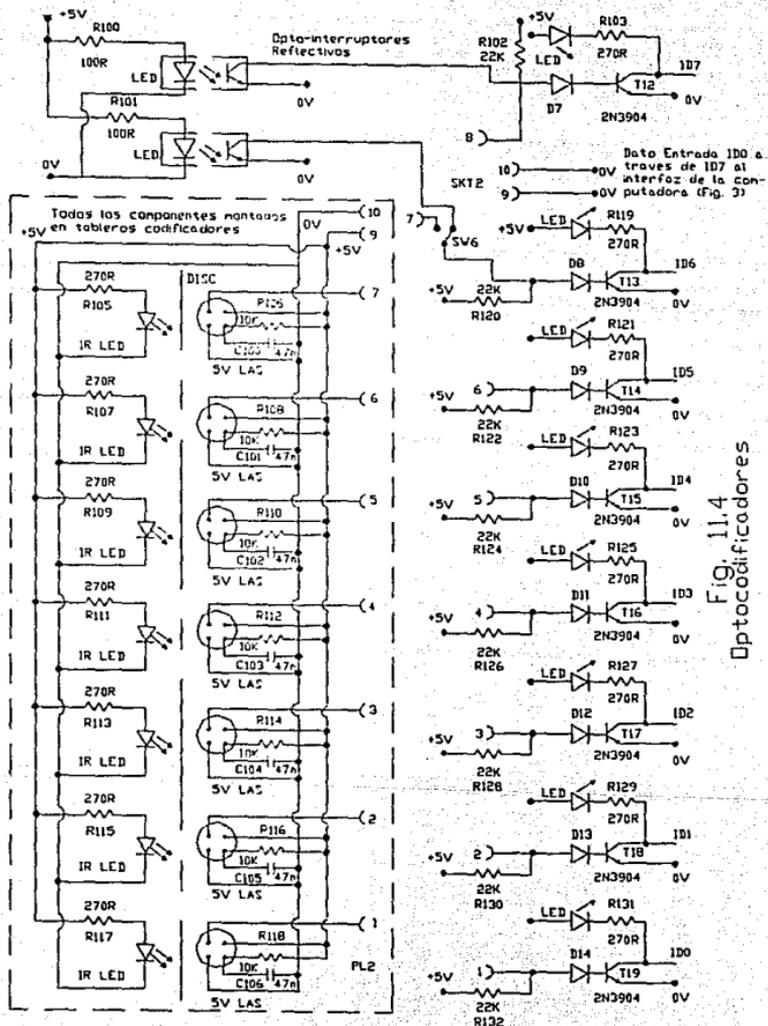


Fig. 11.4
Optocodificadores

INDICADOR DE "STATUS" DEL "BUS" DE DATOS (Diagrama 5)

La indicación del valor puesto en el "bus" de datos de la unidad interna es lograda utilizando un circuito integrado ULN2003 IC25, el cual contiene siete transistores "Darlington" cuyo "led" siete del conductor representa los "bits" de datos D0 hasta D6. La indicación del remanente del "bit" 7 es llevado a cabo mediante un emisor común que interrumpe el transistor T11 y un "LED". Todos los "LEDs" en el circuito son alimentados por una fuente de 5V vía su respectiva resistencia 470R limitadora de corriente.

FUENTES DE PODER (Diagrama 1)

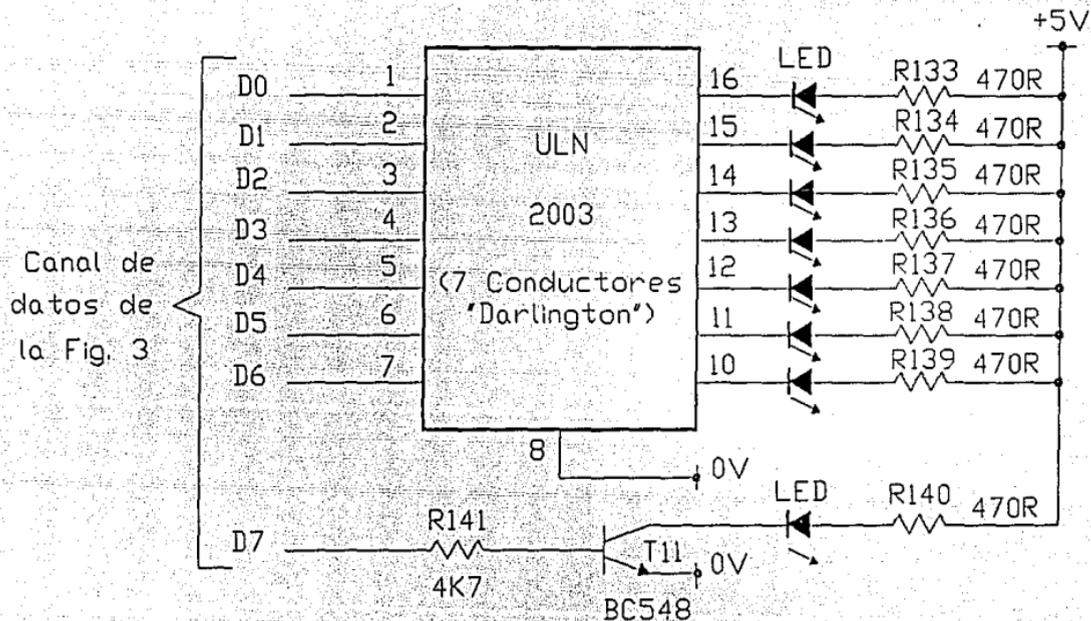
La fuente principal de la unidad es alimentada por medio de un conector IEC con un fusible integrado y un interruptor. La fuente es entonces alimentada a dos transformadores toroidales (Toroidal: forma de toro - moldura cilíndrica, superficie de revolución engendrada por una circunferencia que gira alrededor de un eje que no pasa por su centro.) montados bajo el panel. Las salidas de C.A. de los transformadores son 15-0-15 y 6-0-6, respectivamente, y son alimentadas vía los bloques de la terminal a la circuitería en el tablero del circuito de impresión.

La entrada de 12V vía F1 es alimentada a un puente rectificador BR1 y la salida CD es facilitada por un capacitor C1 de 1,000 μ faradios. El voltaje no regulado es alimentado por medio de 3R3 10W, resistencia R40 montada bajo panel y conectada mediante los bloques terminales a la línea de alimentación común del motor de pasos. La alimentación es entonces regulada por el 7805 de voltaje positivo de tres terminales REG1 con sus capacitores C2,C3

ajustados para prevenir oscilación y proveer la alimentación de +5V para toda la circuitería TTL, "LEDs", etc.

Las dos líneas de 15V están alimentadas mediante los fusibles F2 y F3 al puente rectificador BR2, el cual está conectado como dos rectificadores de onda completos produciendo una alimentación de $\pm 15V$ con respecto a la toma central del transformador. Las alimentaciones son facilitadas por los capacitores C4 y C5 de 1,000 μ faradios. Estas alimentaciones son reguladas a $\pm 15V$ por REG4 78L15 y REG5 79L15 respectivamente, para formar las alimentaciones para los amplificadores operacionales. También son regulados por REG2 7812 y REG3 7912 para $\pm 12V$ para el servomotor y alimentaciones del CMOS.

Las alimentaciones $\pm 15V$ son reguladas para proveer los voltajes de control para la circuitería del control análogo. Esto es logrado utilizando un diodo zener Z1 llevando corriente de la fuente de 15V mediante R29 (1K8) para proveer un voltaje de referencia de 4.7V al amplificador operacional IC2/2 de entrada no inversora. Esto, en turno, controla un transistor NPN T5 por medio de la resistencia limitadora de corriente de base R26 ocasionando que conduzca hasta dicho tiempo cuando el voltaje de emisor realimenta por medio de R28 a la entrada inversora del amplificador balanceando el voltaje de referencia. Dicho voltaje provee un potencial regulado igual al voltaje del zener pero de corriente mayor llevando capacidad para los potenciómetros del servo. La R27 (1K) provee una protección límite de corriente de corto circuito. El voltaje de control negativo es generado por IC2/1 el cual tiene su entrada no inversora amarrada a 0V y su entrada inversora conectada a un potencial dos a uno dividido entre $V_{control+}$ y $V_{control-}$ formado por R25 y R24;



CANAL DE DATOS INDICADOR DE ESTADO

Fig. 11.5

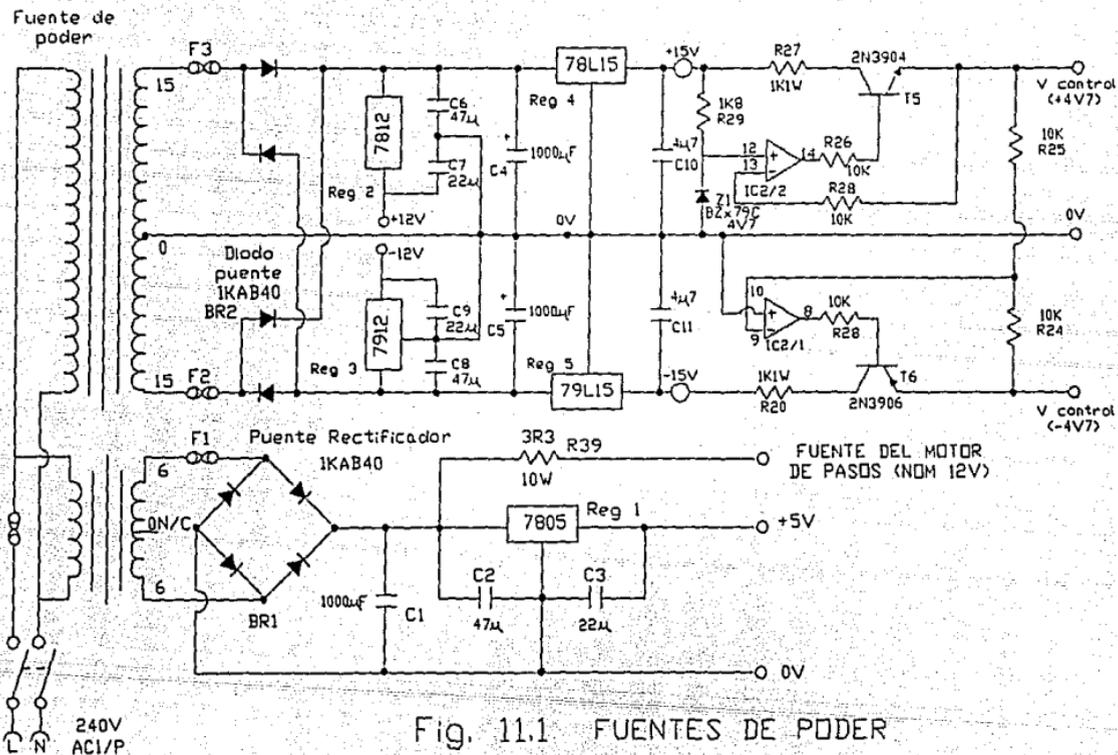


Fig. 11.1 FUENTES DE PODER

la salida de este amplificador es alimentada mediante R23 para conducir la base de un transistor T6 PNP, así el $V_{control-}$ es regulado a un voltaje igual y opuesto a $V_{control+}$.

PROCEDIMIENTOS DE OPERACION-ENTRADA DE DATOS MANUAL

INTERRUPTOR No. 7 - ABAJO

1. SERVO MOTOR

a) CONTROL DE VELOCIDAD DEL P.W.M.

INTERRUPTOR No. 1 - ARRIBA

INTERRUPTOR No. 3 - ABAJO

CONTROL DE VELOCIDAD CON POTENCIOMETRO P.W.M.

CONTROL DE DIRECCION CON ENTRADA MANUAL DE DATOS

INTERRUPTOR No. 7

b) CONTROL DE VELOCIDAD ANALOGA

INTERRUPTOR No. 1 - ABAJO

INTERRUPTOR No. 2 - ARRIBA

CONTROL DE VELOCIDAD Y DIRECCION CON SERVO POTENCIOMETRO

c) CONTROL ANALOGO POSICIONAL

INTERRUPTOR No. 1 - ABAJO

INTERRUPTOR No. 2 - ABAJO

INTERRUPTOR No. 6 - ABAJO

CONTROL DE POSICION CON SERVO POTENCIOMETRO

d) CONTROL DE VELOCIDAD DIGITAL

INTERRUPTOR No. 1 - ARRIBA

INTERRUPTOR No. 3 - ARRIBA

CONTROL DE VELOCIDAD CON ENTRADA MANUAL DE DATOS

INTERRUPTORES 0-6

CONTROL DE DIRECCION CON ENTRADA MANUAL DE DATOS -

INTERRUPTOR 7

2. MOTOR DE PASOS

INTERRUPTOR No. 1 - ABAJO INTERRUPTOR No. 3 - ARRIBA

INTERRUPTOR No. 4 - ARRIBA

INTERRUPTOR No. 6 - ARRIBA

CONTROL DE DIRECCION CON INTERRUPTOR No. 5 CONTROL DE VELOCIDAD CON RELOJ DE PASOS

PROCEDIMIENTO DE OPERACION - ENTRADA DE DATOS POR
COMPUTADORA

INTERRUPTOR No. 7 - ARRIBA

1. INTERRUPTOR EN PC IBM O COMPATIBLE

POSICIONAR LOS INTERRUPTORES COMO SIGUE:

- No. 1 - ARRIBA
- No. 3 - ARRIBA
- No. 4 - ARRIBA
- No. 5 - DERECHA
- No. 6 - ABAJO

2. TECLEAR 1

SE TERMINA EL PROGRAMA CON <ESC>

TERMINE EL PROGRAMA CON <ESC>

POSICIONE LOS INTERRUPTORES COMO SIGUE:

- No. 1 - ABAJO
- No. 2 - ABAJO
- No. 4 - ABAJO
- No. 6 - ARRIBA

TERMINE EL PROGRAMA CON <ESC>

POSICIONE LOS INTERRUPTORES COMO EN INCISO 6.

FUNCIONES DEL CONTROL DE INTERRUPTORES

- SW1. - INTERRUMPE AL SERVOMOTOR ENTRE LOS TRANSISTORES CONDUCTORES ANALOGOS Y P.W.M.
- SW2. - INTERRUMPE EL CIRCUITO DE CONTROL DEL SERVO ANALOGO DEL CONTROL DE VELOCIDAD AL CONTROL POSICIONAL
- SW3. - INTERRUMPE EL PUENTE CONDUCTOR "H" ENTRE LAS SEÑALES DERIVADAS DEL P.W.M. ANALOGAS Y DIGITALES
- SW4. - INTERRUMPE LA CIRCUITERIA CONDUCTORA DEL MOTOR DE PASOS ENTRE SU PROPIO RELOJ Y EL CANAL DE DATOS
- SW5. - INTERRUMPE EL RELOJ DECODIFICADOR DE LIBRE CORRIDA DEL MOTOR DE PASOS DE IZQUIERDA A DERECHA
- SW6. - INTERRUMPE EL "BIT" 6 DEL DATO DEL CODIFICADOR DE ABSOLUTO A INCREMENTAL
- SW7. - INTERRUMPE EL CANAL DE DATOS ENTRE LA ENTRADA DE DATOS DE LA COMPUTADORA Y MANUALMENTE

PUNTOS DE PRUEBA Y SUS SEÑALES

<u>PP</u>	<u>FUNCION</u>	<u>NIVEL</u>	<u>VELOCIDAD</u>
01	POT MAESTRO ANALOGO	I/P	+- 5V CONTROL
02	POT ESCLAVO ANALOGO	I/P	+- 5V CONTROL
03	CONduc. AMP. ANALOGO	I/P	+-15V ANALOGA
04	PWM ANALOGO	O/P	CMOS 15 KHz
05	PWM DIGITAL	O/P	CMOS 15 KHz
06	RELOJ DE PASOS	TTL	50 Hz
07	CONduc. AMP. ANALOGO	O/P	+15V ANALOGA
08	DIFERENCIA ANALOGA	O/P	+15V ANALOGA
09	PWM RELOJ DIGITAL RAPIDO	CMOS	2 MHz
10	PWM DIGITAL/RELOJ	128	CMOS 15 KHz
11	PWM DIGITAL PULSO CARGADO	CMOS	15 KHz PULSO
12	PWM DIGITAL RELOJ MOD	CMOS	2 MHz BLOQUE
13	SERVOMOTOR	+	+-12V ANALOGO / PWM
14	SERVOMOTOR	-	+-12V ANALOGO / PWM

NIVELES TTL SON +5V

NIVELES DE CMOS SON +12V

SEIS PUNTOS SON PROVISTOS POR 0V

TODAS LAS VELOCIDADES SON APROXIMADAS

POT: POTENCIOMETRO

AMP: AMPLIFICADOR

MOD:

FUNCIONES DE FALLA DE INTERRUPTORES (FSW)

<u>FSW</u>	<u>FUNCION</u>	<u>NORMAL</u>
01	CORTOCIRCUITOS BITS 5 Y 6 DEL CODIFICADOR	ABIERTO
02	CIRCUITOS ABIERTOS BIT 6 DEL CODIFICADOR	CERRADO
03	TIERRA BIT 6 DEL CODIFICADOR	ABIERTO
04	CIRCUITOS ABIERTOS BIT 6 DEL CODIFICADOR	CERRADO
05	CORTOCIRCUITOS BITS 6 Y 7 DEL CODIFICADOR	ABIERTO
06	CIRCUITOS ABIERTOS SERVO POT I/P	CERRADO
07	CORTOS MAESTRO POTENCIOMETRO A +V CONTROL	ABIERTO
08	CIRCUITOS ABIERTOS BUFFER ESCLAVO MALLA f/d	CERRADO
09	TIERRAS PWM SEÑAL F/R	ABIERTO
10	CIRCUITOS ABIERTOS No.1 DRIVER DEL STEPPER	CERRADO
11	CORTO CIRCUITOS CONDUCTORES 1 Y 2 DE PASOS	ABIERTO
12	CIRCUITOS ABIERTOS No.1 DRIVER DEL STEPPER	CERRADO
13	CORTOCIRCUITO BUS DE DATOS BITS 6 Y 7	ABIERTO
14	CIRCUITO ABIERTO BUS DE DATOS BIT 7	CERRADO
15	TIERRA COMPUTADORA DIRECCION DECODIFICADOR	ABIERTO
16	CIRCUITO ABIERTO DATOS DE COMPUTADORA BIT 7	CERRADO

INSTRUCCIONES BASICAS DE USO

Antes de realizar cualquier actividad, los interruptores se deben encontrar de la siguiente forma:

SW1 abajo
SW2 arriba
SW3 arriba
SW4 abajo
SW5 derecha
SW6 abajo
SW7 abajo

Los interruptores de entrada de datos manual debeb estar en la posición de abajo.

Conecte Encienda.

La unidad está ahora en posición para el control manual del servomotor utilizando la circuiteria del servo análogo.

Al cambiar el SW2 a la posición baja el control se cambia a control de velocidad análoga.

Cambie el SW1 hacia arriba para transferir el servo motor al conductorr PWM. La velocidad puede ser controlada por los interruptores de entrada de datos manuales con control de dirección en el "bit" 7.

Cambie el SW3 hacia abajo, la entrada PWM es entonces derivada del modulador análogo y controlada por el potenciómetro PWM, teniendo en cuenta que el "bit" 7 sigue controlando la dirección de la entrada de datos manual.

Regresando el SW3 a la posición de arriba y cambiando de posición al SW7, se posiciona el servomotor bajo control de computadora.

Ahora se interrumpe SW1 de regreso a la posición de abajo y lentamente el SW2 para dejar al servomotor bajo su propia posición de control análogo y poder movernos al motor de pasos.

Asegúrese que todos los interruptores de entrada de datos manual estén todos abajo y se devane la rosca guía a una posición manualmente trabajable.

Cada uno de los cuatro "bits" más significativos ("bits" 7, 6, 5, 4) de los interruptores de entrada manual, energiza una fase del motor de pasos. Moviéndolos en secuencia, causarán un campo rotatorio al pasar alrededor del motor y permitirán la investigación de los patrones que se requieren para cada dirección de rotación.

Cheque que el SW6 esté en la posición de abajo ("Home") con SW5 en la posición derecha y SW4 arriba. Esto conecta el reloj de corrida libre y decodifica al conductor del motor de pasos y la montura empezará a moverse hacia la terminal de mano derecha de la rosca guía a una velocidad puesta por el reloj potenciómetro de pasos. Cuando alcanza su posición de "Home", se detendrá pero puede girar en reversa moviendo el SW5 a la posición izquierda. El motor puede echarse en reversa o cambiar su velocidad en cualquier momento utilizando el SW5 y el control de reloj de pasos.

Regrese el SW4 a la posición baja y switchee el SW7 hacia arriba y el motor de pasos está ahora bajo control de computadora.

TABLA DE SELECCION DE INTERRUPTOR

- INTERRUPTOR No. 1 - CONDUCTOR DE SERVOMOTOR - ARRIBA: PWM
ABAJO : ANALOGO (SERVOMOTOR)
- INTERRUPTOR No. 2 - FUNCION DEL SERVOMOTOR (ANALOGO) -
ARRIBA: VELOCIDAD ABAJO : POSICION
- INTERRUPTOR No. 3 - SELECTOR DEL PWM -- ARRIBA: DIGITAL
ABAJO : ANALOGO (PWM POT)
- INTERRUPTOR No. 4 - SELECTOR DEL CONDUCTOR DEL MOTOR DE
PASOS
ARRIBA: RELOJ PROPIO (RELOJ DE PASOS)
ABAJO : BUS DE DATOS
- INTERRUPTOR No. 5 - DIRECCION DEL MOTOR DE PASOS -
IZQUIERDA: (RELOJ PROPIO)
DERECHA:
- INTERRUPTOR No. 6 - SELECTOR DEL CODIFICADOR -
ARRIBA: INCREMENTAL
ABAJO : ABSOLUTO
- INTERRUPTOR No. 7 - SELECTOR DE LA FUENTE DEL DATO
ARRIBA: COMPUTADORA
ABAJO : MANUAL

INTERFAZ DE HARDWARE

La Interfaz IBM alimentada con el Entrenador CNC MKI puede normalmente ocupar cualquier rendija vacante en el canal de una IBM PC/XT.

La interfaz es localizada en la dirección J00H, y no debería ocurrir ningún conflicto de dirección con las otras rendijas de tarjetas. Si de cualquier modo algunas rejillas de tarjetas especiales o de clientes están incluidas en su sistema, por favor cheque que éstas estén localizadas en direcciones no conflictivas.

DIDACTEC Equipo de Entrenamiento de Enseñanza
19 Peel Street, Marsden, Huddersfield
HD7 6BW
United Kingdom

Este disco contiene los siguientes programas:

READ .ME - Esta pantalla

DIDACTEC.EXE - Programa de Control para el CNC Trainer

MKIBRUN10.EXE - Paquete corrida-tiempo de BASIC

CONTROL.BAS - Código de Fuente para el DIDACTEC.EXE

IBM Version Issue 01. Cheque que el CNC Trainer sea conectado y luego tecleando:

DIDACTEC <ENTER>

Para correr el programa

PROGRAMA

```

10  REM * DIDACTEC ENGINEERING TEACHING EQUIPMENT *
20  REM * SKELETAL PROGRAM FOR C.H.C. TRAINER MK1 *
30  REM * THIS SOURCE MAY BE MODIFIED AND RE-COMPILED BY
    STUDENTS *
40  REM * PROGRAM MODIFICATIONS 25:02:89 *
50  REM * INCREMENTAL ENCODER MARK/SPACE RATIO IMPROVED *
60  REM * ABSOLUTE ENCODER MASKED TO 7 BIT *
70  CLS:REM clear screen
80  LOCATE 10,24:PRINT" D I D A C T E C"
90  LOCATE 11,24:PRINT"-----"
100 LOCATE 12,24:PRINT" C H C T R A I N E R"
110 LOCATE 13,24:PRINT"-----"
120 LOCATE 14,24:PRINT" M K 1"
130 FOR DELAY=1 TO 3000:NEXT DELAY
140 CLEAR
150 CLKX=500:REM * USE 800 FOR 8MHZ CLOCK ETC *
160 DIM MAC(185),DUR(185)
170 DIM STA(4)
180 FOR I=1 TO 185:DUR(I)=0:NEXT I
190 ONOFFS="ON ";ONOFF=1
200 SOUND 400,6
210 SELS="1,2,3,4,5"
220 SCREEN 0,0,0
230 CLS
240 LOCATE 4,23:PRINT" --- MAIN MENU ---"
250 LOCATE 7,23:PRINT"Servo Motor Control - 1"
260 LOCATE 10,23:PRINT"Stepper Motor Control - 2"
270 LOCATE 13,23:PRINT"Toggle Sound (now ";ONOFFS;" ) - 3"
280 LOCATE 16,23:PRINT"Help - 4"
290 LOCATE 19,23:PRINT"Exit Program - 5"
300 LOCATE 22,23:PRINT" Select Option:";
310 VS=INKEYS:IF VS="" THEN 310
320 IF INSTR(SELS,VS)=0 THEN 310

```

```

330 IF VS="2" THEN 2650
340 IF VS="4" THEN 3510
350 IF VS="5" THEN CLS;END
360 IF VS<>"3" THEN 390
370 IF ONOFF=1 THEN ONOFF=0 ELSE ONOFF=1
380 IF ONOFF$="OFF" THEN ONOFF$="ON ":GOTO 270 ELSE
ONOFF$="OFF":GOTO 270
390 GOSUB 2590
400 LOCATE 2,25:PRINT"--- SERVO MOTOR CONTROL ---"
410 LOCATE 11,14:PRINT CHR$(24);" ";CHR$(25);";";CHR$(26);"
420 LOCATE 19,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CONTINUE:"
430 VS=INKEY$:IF VS="" THEN 430
440 OUT &H300,0
450 GO SUB 2460
460 LOCATE 3,18:PRINT"-- S E R V O M O T O R C O N T R
O L --"
470 LOCATE 8,25:PRINT"Enter initial speed
(7F/FF)";:A=B:B=53:HELFX=1:GOSUB 336
480 INITIALX=DECIMALX
490 LOCATE 11,25:PRINT"Enter final speed
(OO/80)";:A=11:B=51:HELFX=2:GOSUB 336
500 FINALX=DECIMALX
510 LOCATE 14,25:PRINT"Enter number of sets of samples ";
520 VS=INKEY$:IF VS="" THEN 520
530 IF VS="h" THEN HELFX=5:GOTO 3650
540 SETSX=INSTR(HE$,VS)-1:IF SETSX<0 OR SETSX>8 THEN 520
550 LOCATE 14,57:PRINT SETSX
560 FOR LOOPX=1 TO SETSX
570 SOUND 800,8*ONOFF
580 OUT &H300,INITIALX
590 LOCATE 19,29:PRINT"NOW LOGGING SET:":LOOPX
600 FOR DELAY=1 TO 4000:NEXT DELAY
610 INX=(IMP(&H302) AND 127):IF INX<>0 THEN 610
620 IF FINALX=>128 THEN WAIT &H302,(64 OR 196) ELSE WAIT
&H302,(1 OR 129)

```

```

630   OUT      &H300,FINALX
640           CTOTALX=0:COUNTX=1
650   WHILE    CTOTALX<=640
660   FOR      COMPDEL=1 TO 10:NEXT COMPDEL
670   INX=(INP(&H302) AND 127)
680   IF      MAG(COUNTX)=INX THEN
        DUR(COUNTX)=DUR(COUNTX)+1:CTOTALX=CTOTALX+1
690   WEND
700   OUT      &H300,0
710   NEXT    LOOPX
720   FOR      IX=1 TO COUNTX:DUR(IX)=INT(DUR(IX)/SETSX):NEXT IX
730   LOCATE   19,25:PRINT"LOGGED DATA NOW BEING PROCESSED."
740   REM      .....
750   REM      *** Gray to decimal conversion ***
760   REM      .....
770   FOR      JX=1 TO COUNTX
780   YX=MAG(JX) AND 64
790   LASTX=YX/2
800   FOR      IX=5 TO 0 STEP -1
810   MASKX=MAG(JX) AND (2IX)
820   RESULTX=(MASKX XOR LASTX)
830   YX=YX+RESULTX
840   LASTX=RESULTX/2
850   NEXT    IX
860   MAG(JX)=YX
870   NEXT    JX
880   REM      .....
890   REM      *** Graphical output ***
900   REM      .....
910   GOTO   1030
920   OFFSET=0
930   SCREEN 2:CLS
940   FOR      KX=1 TO COUNT
950   IF      FINALX>=128 THEN HEIGHTX=(1200-MAG(KX)) ELSE
        HEIGHTX=MAG(KX)+70

```

```

960 FOR COLUMNX=1 TO DUR(KX)
970 PSET(OFFSET+COLUMNX,HE1GHTX)
980 NEXT COLUMNX
990 OFFSET=OFFSET+DUR(KX)
1000 NEXT KX
1010 LOCATE 10,30:PRINT"Hit any key to continue";
1020 VS=INKEY$:IF VS="" THEN 1020
1030 REM *****
1040 REM *** Control routine ***
1050 REM *****
1060 HE$="0123456789ABCDEFabcdef"
1070 RANGEX=ABS(MAG(COUNTX)-MAG(2))
1080 FOR BELL=1 TO 2:SOUND 800,8*ONOFF:NEXT BELL
1090 REM *****
1100 REM *** Display ***
1110 REM *****
1120 SCREEN 0,0,0:GOSUB 2460
1130 LOCATE 3,17:PRINT"-- S E R V O H O T O R C O N T R
O L --"
1140 GOSUB 1720
1150 LOCATE 19,29:PRINT"Enter New Position:";
1160 DHAXX=127:HELFX=3
1170 COSUB 1860
1180 REM *****
1190 REM *** Control variables setup ***
1200 REM *****
1210 DSTARTX=DECIMALX+RANGEX:D2STARTX=DECIMALX-RANGEX
1220 IF DSTARTX>128 THEN DSTARTX=DSTARTX-128
1230 IF D2STARTX<0 THEN D2STARTX=D2STARTX+128
1240 IF INITIALX>127 THEN DSTARTX=D2STARTX
1250 ACCELX=INITIALX:DECELX=FINALX:STX=FINALX XOR 128
1260 IF (DSTARTX-YX)<0 THEN ACCELX=ACCELX XOR
128:STX=FINALX:DECELX=DECELX XOR
1270 REM *****
1280 REM *** Deceleration routine ***

```

```

1290      REM      *****
1300 LOCATE 12,50:PRINT"      "
1310 LOCATE 19,29:PRINT"      ";
1320      OUT      &H300,ACCELX
1330      GOSUB    2200
1340      IF      ABS(DSTARTX-YX)>1      THEN      1330
1350      OUT      &H300,DECELX
1360      REM      output      the      deceleration      speed
1370      REM      then      wait      before      first      display      of      position
1380      REM      then      close      control      loop
1390      FOR      DELAY=1      TO      1500:NEXT      DELAY
1400      GOSUB    2200:GOSUB      2340
1410      REM      *****
1420      REM      ***      Closed      Loop      Operation      ***
1430      REM      *****
1440      OPX=1:DPSTX=128
1450      ERX=DECIMALX-YX
1460      IF      ERX<>0      THEN      1580
1470      REM      *****
1480      REM      ***      Target      found      routine      ***
1490      REM      *****
1500 LOCATE 19,26:PRINT"      "
1510      FOR      DELAYX=1      TO      500:NEXT      DELAYX
1520      VS=INKEYS:IF      VS="      "      THEN      LOCATE      21,19:PRINT"
1530      LOCATE      19,26:PRINT"Target      Position      Achieved"
1540      SOUND    800,6*ONOFF
1550      LOCATE 21,19:PRINT"Press      <SPACE>      to      reset      Target
position"
1560      OPX=0
1570      GOTO    1660
1575      REM      *****
1580      IF      ERX>64      THEN      ERX=ERX-128
1590      IF      ERX<-64      THEN      ERX=ERX+128
1600      IF      ERX<0      THEN      OPX=129:DPSTX=0

```

```

1610 IF ABS(ERX)<4 THEN FACTX=1 ELSE
FACTX=INT(ABS(ERX)/2.5)
1615 OPX=OPX+ABS(ERX)
1620 OUT @H300,OPX
1630 FOR ONTIME=1 TO (40*FACTX):NEXT ONTIME
1640 OUT @H300,OPSTX
1650 FOR OFFTIME=1 TO 250:NEXT OFFTIME
1660 XLX=NOT(XX)
1670 GOSUB 2200:GOSUB 2340
1680 GOTO 1440
1690 REM *****
1700 REM *** Display ***
1710 REM *****
1720 LOCATE 8,17:PRINT"Target Position:"
1730 LOCATE 8,44:PRINT"Actual Position:"
1740 LOCATE 10,20:GOSUB 2050
1750 LOCATE 10,47:GOSUB 2050
1760 FOR ROWX=11 TO 13
1770 LOCATE ROWX,20:GOSUB 2120
1780 LOCATE ROWX,47:GOSUB 2120
1790 NEXT ROWX
1800 LOCATE 14,20:GOSUB 2050
1810 LOCATE 14,47:GOSUB 2050
1820 RETURN
1830 REM *****
1840 REM *** Hex code input ***
1850 REM *****
1860 H$="0123456789ABCDEFabcdef"
1870 LOCATE 21,21:PRINT"Press <SPACE> to return to main
menu"
1880 COLUMNX=23
1890 FOR LOOPX=1 TO 2
1900 LOCATE 19,48
1910 H$=INKEY$:IF H$="" THEN 1910
1920 IF H$=" " THEN 200

```

```

2270      YX=YX+RESULTX
2280      LASTX=RESULTX/2
2290 NEXT   IX
2300      RETURN
2310      REM
2320 REM   ***   Screen   output   routine   ***
2330      REM
2340      AS=HEX$(YX)
2350 IF    LEN(AS)<2 THEN AS="0"+AS
2360 LOCATE 12,50:PRINT LEFT$(AS,1);"          ";RIGHT$(AS,1)
2370      RETURN
2380      REM
2390 REM   ***   Border   ***
2400      REM
2410 FOR   IX=1 TO 80:PRINT CHR$(219);;NEXT IX
2420      RETURN
2430      REM
2440 REM   ***   Screen   display   ***
2450      REM
2460      CLS:LOCATE 1,1:PRINT CHR$(201);
2470 FOR   IX=1 TO 76:PRINT CHR$(205);;NEXT IX:PRINT
CHR$(187)
2480 FOR   SDEX=2 TO 22:LOCATE SDEX,1
2490 PRINT CHR$(186);;LOCATE SDEX,78:PRINT CHR$(186)
2500 NEXT SDEX
2510 LOCATE 23,1:PRINT CHR$(200);
2520 FOR   IX=1 TO 76:PRINT CHR$(205);;NEXT IX:PRINT
CHR$(188)
2530 LOCATE 5,1:PRINT CHR$(204);
2540 FOR   IX=1 TO 76:PRINT CHR$(205);;NEXT IX:PRINT
CHR$(185)
2550      RETURN
2560      REM
2570 REM   ***   Switch   position   display   ***
2580      REM

```

```

2590   CLS:LOCATE 4,22:PRINT"Switches should be set as
follows:"
2600   LOCATE 12,13:PRINT"sw7 sw6 sw5 sw4
sw3 sw2 sw1"
2610   RETURN
2620   REM
2630   REM *** Incremental encoder control routine ***
2640   REM
2650   GOSUB 2590
2660   LOCATE 2,24:PRINT"--- STEPPER MOTOR CONTROL ---"
2670   LOCATE 11,14:PRINT CHR$(24);" ";CHR$(24);"
";CHR$(26);"
2680   LOCATE 19,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CONTINUE:"
2690   VS=INKEYS:IF VS="" THEN 2690
2700   GOSUB 2460
2710   LOCATE 3,15:PRINT"-- S T E P P E R M O T O R C O N
T R O L --"
2720   RESTORE
2730   FOR IX=1 TO 4:READ STA(IX):NEXT IX
2740   DATA 144,80,96,160
2750   PHASEX=1:DIRX=1
2760   COUNTERX=0:COUNTPOSX=0:PLX=1:LCOUNTX=0
2770   REM
2780   REM *** Home routine ***
2790   REM
2800   IF ((INP(&H302) AND 128)=0) THEN LOCATE 12,22:PRINT"R E
T U R N I N G T O
2810   SOUND 130,5*ONOFF
2820   WHILE (INP(&H302) AND 128)=0
2830   GOSUB 3300
2840   FOR DELAY=1 TO 12:NEXT DELAY
2850   WEND
2860   REM
2870   REM *** Incremental encoder setup ***

```

```

2880  REM
2890  LOCATE 12,22:PRINT"          ":SOUND 600,5*ONOFF
2900  GOSUB 1720
2910  LOCATE 17,31:PRINT"Speed (00-FF):";
2920  A=17:B=45:HELPM=4
2930  GOSUB 3360
2940  SPDELX=(1-(DECIMALX/255))*800
2950  DMAXX=96
2960  LOCATE 19,29:PRINT"Enter New Position:";
2970  HELPM=3
2980  GOSUB 1860:REM Get new hex input returned as DECIMALX
2990  LOCATE 19,29:PRINT"          ":REM BLANK
3000  LOCATE 19,32:PRINT"Counter:";
3010  REM *****
3020  REM *** Main routine (incremental) ***
3030  REM *****
3040  REM DECIMALX=decimal value of hex input
3050  REM COUNTPOSX=counted position from encoder
3060  REM ERX=error value (target - actual position)
3070  REM COUNTERX=current position in motor steps
3080  REM LCOUNTX=position in motor steps from last encoder
change 3090 REM PX=bit value of incremental encoder (0
or 64)
3100 REM FIRSTX=flag to ignore first edge on incremental
encoder
3110 FIRSTX=0:REM ignore first edge
3120 ERX=DECIMALX-COUNTPOSX:IF ERX<0 THEN DIRX=-1 ELSE
DIRX=1
3130 IF ERX=0 THEN SOUND 800,2*ONOFF:GOTO 2960:REM at
target position
3140 IF ABS(COUNTERX-LCOUNTX)>96 THEN 2760:REM * STALLED *
3150 GOSUB 3300:COUNTERX=COUNTERX+DIRX:REM output a pulse
and inc. counter
3160 FOR DELAYX=1 TO (SPDELX+CLKX):NEXT DELAYX
3170 IF (COUNTERX/2)=INT(COUNTERX/2) THEN LOCATE
19,40:PRINT COUNTERX

```

```

3180 IF ABS(COUNTERX-LCOUNTX)<B THEN 3150:REM • DEBOUNCE •
3190 PX=INP(&H302) AND 64:REM • ENCODER •
3200 IF PX=PLX THEN 3140:REM encoder still on same stripe
3210 IF FIRSTX=0 THEN FIRSTX=1:PLX=PX:GOTO 3140:REM first
edge
3220 COUNTPOX=COUNTPOX+DIRX:PLX=PX
3230 LCOUNTX=COUNTERX
3240 YX=COUNTPOX
3250 GOSUB 2340
3260 GOTO 3120
3270 REM .....
3280 REM *** Stepper drive routine ***
3290 REM .....
3300 OUT &H300,STA(PHASEX)
3310 PHASEX=PHASEX+DIRX
3320 IF PHASEX>4 THEN PHASEX=1
3330 IF PHASEX<1 THEN PHASEX=4
3340 RETURN
3350 REM .....
3360 REM *** Hex-decimal ***
3370 REM .....
3380 HES="0123456789ABCDEFabcdef"
3390 LOCATE A,B:PRINT" ";LOCATE A,B
3400 FOR LOOPX=1 TO 2
3410 HS=INKEYS:IF HS="" THEN 3410
3420 IF HS="h" THEN GOSUB 3620
3430 DIGITX=INSTR(HES,HS)
3440 IF DIGITX>16 THEN DIGITX=DIGITX-6
3450 IF DIGITX=0 THEN 3390
3460 PRINT HS;
3470 IF LOOPX=1 THEN DECIMALX=(16*(DIGITX-1)) ELSE
DECIMALX=DECIMALX+(DIGITX)
3480 IF DECIMALX>255 THEN 3400
3490 NEXT LOOPX
3500 RETURN

```

```

3510 REM
3520 REM *** Menu help routine ***
3530 REM
3540 CLS:PRINT"          This program allows position control
of either the Servo
3550 PRINT"it is possible to return to the menu from
various stages in both ro
3560 PRINT:PRINT"          Option 3 of the menu switches the
sound on or off depend
3570 PRINT:PRINT"          The help facility can be called at
any stage of the prog
3580 PRINT:PRINT"          To enter the help routine type the
character 'h' at any
3590 LOCATE 16,25:PRINT"PRESS ANY KEY TO CONTINUE"
3600 V$=INKEYS:IF V$="" THEN 3600
3610 GOTO 230
3620 REM
3630 REM *** Main help routine ***
3640 REM
3650 ON HELP% GOTO 3670,3770,3880,3980,4060
3660 REM
3670 REM **init speed help**
3680 REM
3690 LOCATE 12,8:PRINT"The input required is a two digit
hexadecimal code betw
3700 LOCATE 13,2:PRINT"(for anticlockwise rotation) or
between 80 and ff (for
3710 LOCATE 15,8:PRINT"This sets the initial speed of the
servo motor from whl
3720 LOCATE 16,2:PRINT"logging of deceleration takes
place."
3730 LOCATE 18,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CONTINUE"
3740 R1=12:R2=18:GOSUB 4120
3750 GOTO 470
3760 REM

```

```

3770 REM **fin. speed help**
3780 REM
3790 LOCATE 14,8:PRINT"The input required is a two digit
Hexadecimal code,elth
3800 LOCATE 15,2:PRINT"IF the initial speed was in an
anticlockwise direction
3810 LOCATE 16,2:PRINT"entered.Otherwise use 80."
3820 LOCATE 17,8:PRINT"Both codes set the final speed of
the servo motor to br
3830 LOCATE 18,2:PRINT"stop."
3840 LOCATE 20,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CONTINUE"
3850 R1=14:R2=20:GOSUB 4120
3860 GOTO 490
3870 REM
3880 REM **new pos. help routine**
3890 REM
3900 LOCATE 18,8:PRINT"The program expects a two digit hex.
code as input.This
3910 LOCATE 19,2:PRINT"new position to be achieved.The
range of positions is 0
3920 LOCATE 20,2:PRINT"Encoder and 00-60 on the
Incremental."
3930 LOCATE 21,21:PRINT" "
3940 LOCATE 22,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CONTINUE"
3950 R1=18:R2=22:GOSUB 4120
3960 GOTO 1150
3970 REM
3980 REM **stepper speed help**
3990 REM
4000 LOCATE 18,8:PRINT"Enter a two digit Hex. code between
00 and ff;00 being
4010 LOCATE 20,2:PRINT"routine or after a 'return to home'
error."
4020 LOCATE 22,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CONTINUE"
4030 R1=18:R2=22:GOSUB 4120

```

```

4040 GOTO 2910
4050 REM
4060 REM      **samples no.help**
4070 REM
4080 LOCATE 16,8:PRINT"The number of sets of samples taken
      (between 0 and 9) a
4090 LOCATE 18,2:PRINT"adequate results.":LOCATE
      20,27:PRINT"HIT ANY KEY TO CO
4100 R1=16:R2=20:GOSUB 4120
4110 GOTO 510
4120 REM
4130 VS=INKEYS:IF VS="" THEN 4130
4140 FOR ROWDEL=R1 TO R2:LOCATE ROWDEL,1:PRINT CHR$(186);"
4150 RETURN

```

CAPITULO XII

PRINCIPALES COMPONENTES ELECTRONICOS DE UN EQUIPO DE CONTROL NUMERICO

CAPITULO XII

PRINCIPALES COMPONENTES ELECTRONICOS DE UN EQUIPO DE CONTROL NUMERICO

DISPOSITIVOS LOGICOS BIPOLARES

Desde la introducción de la primera familia de circuitos integrados lógicos bipolares de saturación, han habido varios desarrollos en el proceso y manufacturando tecnologías tanto en el diseño de técnicas de circuitos, que han provocado nuevas generaciones (familias) de dispositivos lógicos bipolares.

Circuito integrado. La figura 12.1 muestra la base del integrado ("chip") que es una pequeña parte de un material semiconductor. Las dimensiones son representativas; los "chips" son con frecuencia menores que el de la figura. Mediante técnicas fotográficas muy avanzadas, un fabricante puede producir circuitos en la superficie de este "chip"; estos circuitos contienen varios diodos, resistores, transistores, etc. La red final es tan pequeña que se necesita la ayuda de un microscopio para ver las conexiones. Los circuitos como éste se llaman circuitos integrados (CI).

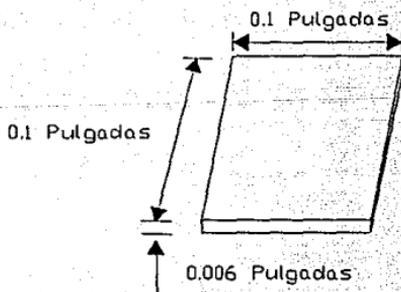


Fig. 12.1

TTL lógico. El TTL lógico fué la primera familia de circuito integrado lógico de saturación en aparecer, ajustando así el estándar para todas las familias futuras. Ofrece una combinación de velocidad, consumo de potencia, fuente de salida capacidades disponibles para varias aplicaciones. Esta familia ofrece la mayor variedad de funciones lógicas. La compuerta básica (figura 12.2) hace alusión a una configuración de entrada multiple-emisor para velocidades de rápida interrupción, salida "pull-up" activa para proveer una baja impedancia de fuente conductora que también mejora los márgenes de ruido y velocidad del dispositivo. La disipación de potencia típica del dispositivo es de 10mW por compuerta y el retardo típico de propagación es de 10ns cuando conduce a 15pF/400Ω carga.

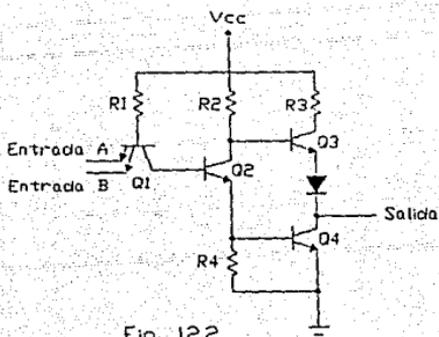


Fig. 12.2

LSTTL ("SCHOTTKY" DE BAJA POTENCIA). La familia de baja potencia "Schottky" hace alusión a una reducción de "fivefold" combinada en corriente y potencia comparada con la familia TTL. El "doping" de oro comunmente utilizado en dispositivos TTL reduce los tiempos de "switchero" a expensas de la ganancia de corriente. El proceso de LS sobrepasa esta limitación utilizando un diodo de barrera de

superficie (diodo "Schottky") en la configuración de "baker clamp" entre la juntura de la base y el colector del transistor. De este modo, el transistor nunca se satura completamente y se recobra rápidamente cuando se interrumpe la conducción de la base. Utilizando difusión superficial y transistores de diodo asegurados "Schottky" de suave saturación, se gana mayor corriente y se obtienen tiempos de encendido más rápidos. Los circuitos LS no utilizan entradas de multi-emisor, sino entradas de diodo-transistor que son más rápidas y dan voltaje incrementado de ruptura de entada; el umbral de entrada es 0.1V más bajo que el del TTL. Otra entrada comunmente utilizada es el transistor de substracto vertical PNP. En adición al rápido switcheo, presenta una impedancia muy alta en ambos estados de alta y baja entrada, y la ganancia de corriente del transistor (β) reduce significativamente la carga de la entrada y provee mejor comportamiento de salida. La estructura de salida también es modificada con un transistor par "Darlington" para incrementar la velocidad y mejorar la capacidad de conducción. Se incorpora un transistor activo "pull-down" (Q3) para producir una característica de transferencia simétrica (red cuadrada). Esta familia logra la realización del circuito excediendo la familia estándar TTL en fracciones de su consumo de potencia. La típica disipación de potencia del dispositivo es 2mW por compuerta y el típico retardo de propagación es 10ns mientras conduce a 15pF/2K Ω carga.

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

El nombre de *amplificador operacional* fué dado a los primeros amplificadores de alta ganancia diseñados para llevar a cabo operaciones matemáticas de suma, sustracción, multiplicación y división. Trabajaban con voltajes altos tales como $\pm 300V$, pero podían llevar a cabo operaciones,

tales como resolver problemas de cálculo.

El sucesor moderno de estos amplificadores es el *amplificador operacional lineal de circuito integrado*. Su bajo costo, versatilidad y simplificación han extendido su utilización más allá de las aplicaciones visualizadas por los primeros diseñadores. Algunas utilidades en esta época para los amplificadores operacionales están en los campos de control de procesos, comunicaciones, computadoras, fuentes de señales y potencia. El amplificador operacional todavía es, en forma básica, un amplificador de CD de alta ganancia muy eficiente.

Los amplificadores operacionales tienen cinco terminales básicas: dos para la fuente de alimentación, dos para las señales de entrada, y una para la salida. Internamente son complejos, como se muestra en el diagrama esquemático en la figura 12.3.

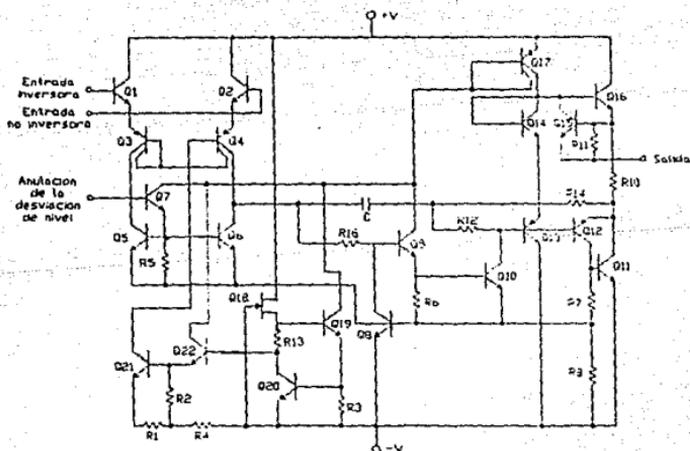
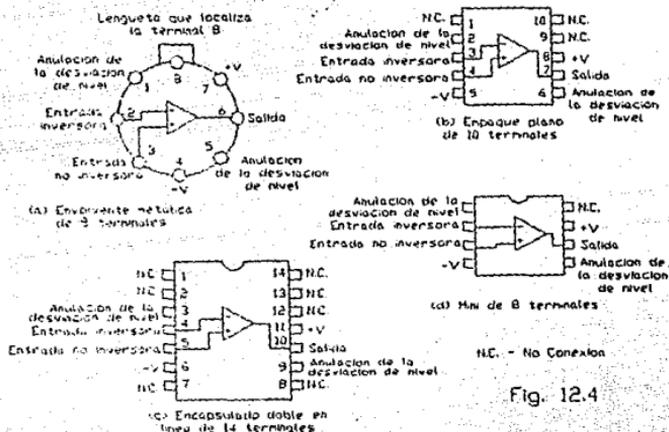


Fig. 12.3

En la figura 12.4 se muestran cuatro encapsulados comunes. Como se ven desde arriba, las terminales se cuentan en una dirección contraria a la de las manecillas del reloj. El circuito esquemático para el amplificador operacional es una cabeza de flecha que simboliza amplificación y apunta de la entrada a la salida.



Las terminales del amplificador operacional etiquetadas como +V y -V identifican las terminales que deben conectarse a la fuente de alimentación (véase la figura 12.5). Obsérvese que la fuente de alimentación tiene tres terminales: positiva, negativa y común. La terminal común de la fuente de alimentación puede o no estar conectada a tierra. Sin embargo, ha llegado a ser práctica estándar mostrar el común de potencia como un símbolo de tierra en un diagrama esquemático. La utilización del término "tierra" o el símbolo de tierra es una convención que indica que todas las mediciones de voltaje se realizan en base al mismo (tierra).

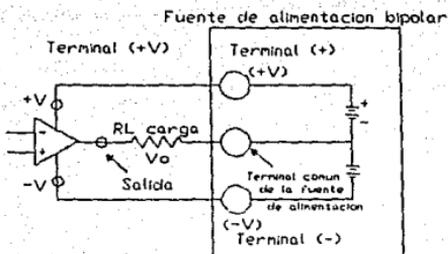
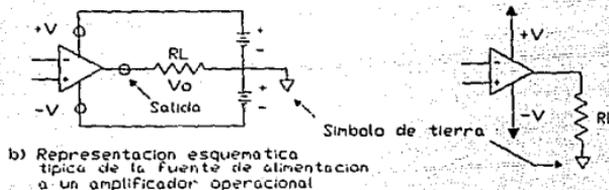


Fig. 12.5

a) Alambrado real de la fuente de alimentación del amplificador operacional



La fuente de alimentación en la figura 12.5 se llama bipolar o dividido y tiene valores típicos de $\pm 15V$, $\pm 12V$, y $\pm 6V$. Obsérvese que la tierra no está conectada al amplificador operacional. Las corrientes que retornan al suministro desde el amplificador operacional deben regresar a través de elementos externos al circuito, tal como el resistor de carga R_L . El máximo voltaje de suministro que puede aplicarse entre $+V$ y $-V$ es típicamente $36V$ o $\pm 18V$.

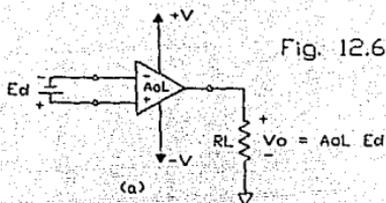
En la figura 12.5 la terminal de salida del amplificador operacional está conectada a un lado del resistor de carga R_L . El otro extremo de R_L está conectado a tierra. El voltaje de salida V_o se mide con respecto a tierra. Ya que sólo hay una terminal de salida en un amplificador operacional, se le llama salida de extremo único. Hay un límite a la corriente que puede tomarse de la terminal de salida de un amplificador operacional, por lo

común del orden de 5 a 10 mA. También hay límites en los niveles de voltaje en la terminal de salida; estos límites están establecidos por los volajes de suministro y por los transistores de salida Q_{16} y Q_{11} en la figura 12.3. Estos transistores necesitan cerca de 1 a 2 V del colector al emisor para asegurarse de que están actuando como amplificadores y no como interruptores. Por tanto, la salida en la terminal debe elevarse hasta 2 V de +V y caer hasta 2 V de -V. El límite superior de V_o se denomina *voltaje positivo de saturación*, $+V_{sat}$, y el límite inferior se llama *voltaje negativo de saturación*, $-V_{sat}$. Por ejemplo, con un suministro de voltaje de ± 15 V, $+V_{sat} = +13$ V y $-V_{sat} = -13$ V. Por tanto, V_o está restringido a una variación de pico a pico de ± 13 V. Ambos límites de corriente y voltaje colocan un valor mínimo en la resistencia de carga R_L de $2k\Omega$.

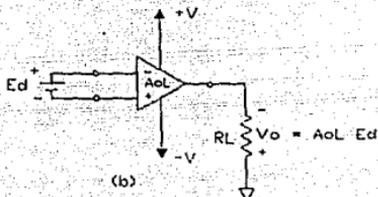
Algunos amplificadores operacionales tienen circuitos internos que de manera automática limita la corriente de la terminal de salida. Aún con un cortocircuito para R_L , la corriente de salida está limitada a cerca de 25mA. Esta característica evita la destrucción del amplificador operacional en caso de un corto circuito.

En la figura 12.6 hay dos terminales de entrada, etiquetadas (-) y (+). Se llaman *terminales de entrada diferencial* ya que el voltaje de salida V_o depende de la diferencia de voltaje entre ellas, E_d , y la ganancia del amplificador, A_{ol} . Como se muestra en la figura 12.6a, la terminal de salida es positiva con respecto a tierra cuando la entrada (+) es positiva con respecto a la entrada (-). Cuando E_d está invertida en la figura 12.6b para hacer la entrada (+), [negativa con respecto a la entrada (-)], V_o se vuelve negativo con respecto a tierra.

Fig. 12.6



V_o se ve a positivo cuando la entrada (+) es positiva con respecto a la entrada (-).



V_o a negativo cuando la entrada (-) es negativa respecto a la entrada (+).

Se concluye a partir de la figura 12.6 que la polaridad de la terminal de salida es la misma que la polaridad de la terminal de entrada (+). Por otra parte, la polaridad de la terminal de salida es opuesta o inversora respecto a la polaridad de la terminal de entrada (-). Por estas razones, la entrada (-) se denomina *entrada inversora* y la entrada (+) se designa *entrada no inversora*.

Es importante hacer énfasis en que la polaridad V_o depende sólo de la diferencia en voltaje entre las entradas inversora y no inversora. Esta diferencia de voltaje puede encontrarse por:

$$E_s = \text{voltaje en la entrada (+)} - \text{voltaje en la entrada (-)}$$

Ambos voltajes de entrada se miden con respecto a tierra. El signo E_s indica (1) la polaridad de la entrada (+) con respecto a la entrada (-) y (2) la polaridad de la terminal de salida con respecto a tierra. Esta ecuación es válida si

la figura 12.6 puede estar, ya sea en uno de los límites $+V_{sat}$ o $-V_{sat}$ u oscilando entre esos límites. Este comportamiento es el que por lo común sigue un amplificador de alta ganancia. Segunda, para mantener V_o dentro de esos límites hay que tener un tipo de retroalimentación de circuito que obligue a V_o a depender en elementos de precisión, estables, tales como los resistores y los generadores de señal más que en A_o y E_d .

Por último la más importante, es que si E_d es tan pequeño que no pueda medirse con facilidad, entonces para todo propósito práctico E_d es igual a 0 V. Repetidamente se utilizará el hecho de que $E_d \approx 0$ si V_o cae dentro de los voltajes de saturación. Para indicar esto en otra forma, la entrada (-) siempre estará cerca del mismo potencial que la entrada (+) con respecto a tierra si V_o cae entre los voltajes de saturación. Sin saber algo más acerca del amplificador operacional, es posible entender las aplicaciones de comparación básicas. En una aplicación de comparación, el amplificador operacional se comporta no como un amplificador, sino como un dispositivo que dice cuándo un voltaje desconocido está abajo, arriba, o es precisamente igual a un voltaje conocido de referencia.

FETS Y CMOS

El transistor de efecto de campo (FET) es un dispositivo unipolar. Opera como un dispositivo controlado por voltaje con corrientes de electrones en un canal n FET o corrientes de huecos en un canal p FET. Puede utilizarse para operar un circuito amplificador (o otros circuitos electrónicos similares). El FET puede construirse como un FET de unión (JFET) o un semiconductor metal-óxido FET (MOSFET).

El FET popular semiconductor metal-óxido (MOSFET) se construye como un MOSFET de agotamiento o un MOSFET de robustecimiento. En la construcción del modo de agotamiento un canal se construye físicamente y la corriente entre el drenaje y la fuente resulta del voltaje conectado a través del drenaje-fuente. En la estructura MOSFET de robustecimiento *no* se forma ningún canal al construirse el dispositivo. Se debe aplicar voltaje a la compuerta para desarrollar un canal de portadores de carga de tal manera que resulte una corriente cuando se aplica un voltaje a través de los terminales drenaje-fuente. Véase figura 12.7 a,b.

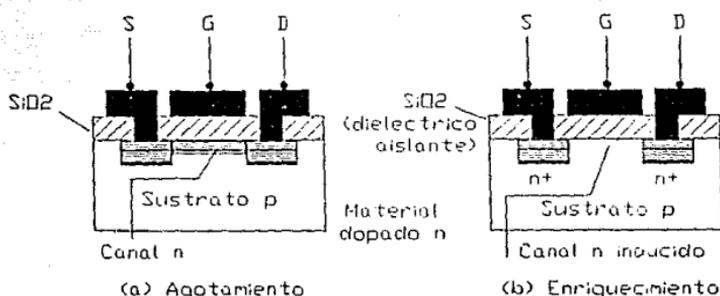


Fig. 12.7

CMOS. Una conexión popular utilizada principalmente en circuitos digitales, conecta los transistores PMOS y NMOS de robustecimiento en un dispositivo complementario CMOS. La figura 12.8 muestra la conexión básica CMOS. La entrada se conecta en común a la compuerta de ambos transistores PMOS y NMOS. Una entrada positiva excita al PMOS "off" y al NMOS "on", con la salida reduciéndose a 0 V. Un bajo valor de entrada excitará correspondientemente el dispositivo PMOS "on", y el

dispositivo NMOS "off", con un incremento de voltaje de salida a $+V_{DD}$. La relación entre los voltajes de entrada y salida se muestra en la figura 12.9. Los CMOS son fabricados con integración en gran escala, para computadoras y memorias.

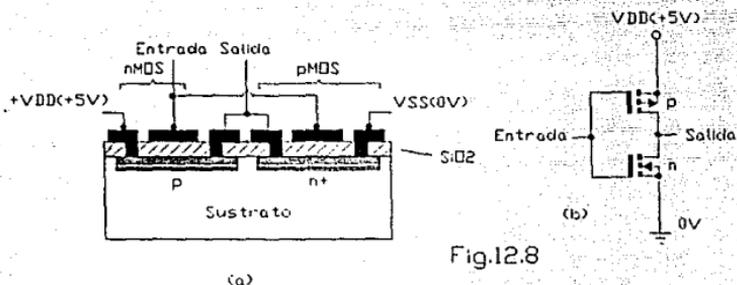
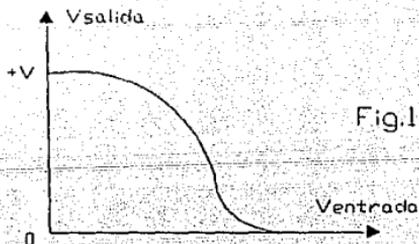


Fig.12.8



INTERRUPTORES ANALOGICOS

El FET es útil como dispositivo de conmutación. La figura 12.10a muestra un *interruptor en paralelo*. En la figura 12.10b aparece la recta de carga del FET que se utiliza como interruptor. El voltaje de corte es igual a V_{ent} y la corriente de saturación es igual a $-V_{ent}/R_D$. El FET opera tanto en la región de corte como en la de

saturación, dependiendo del voltaje aplicado a la compuerta (si no hay voltaje aplicado, $V_{GS} = 0$ y el FET está saturado). En este caso se comporta como una pequeña resistencia $r_{ds(enc)}$. Para varios FET, $r_{ds(enc)}$ es menor que 100Ω y para algunos de ellos, es menor que 10Ω .

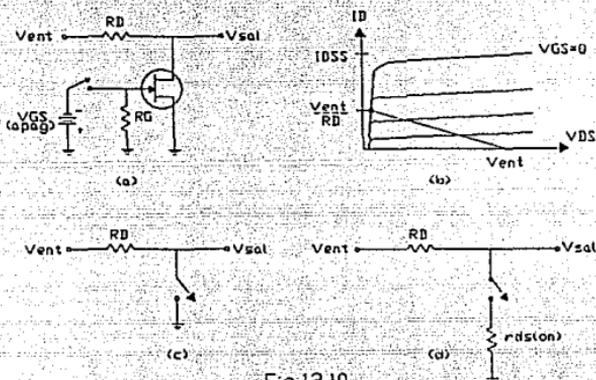


Fig.12.10

Si se aplica un voltaje negativo elevado, igual o mayor que $V_{GS(apag)}$, el FET opera en el punto de corte y se transforma en un resistor grande (del orden de los [M Ω] megohms).

En primera aproximación, el interruptor en paralelo actúa como el circuito de la figura 12.10c. Si el interruptor está abierto, $V_{sal} = V_{ent}$. Si el interruptor está cerrado, $V_{sal} = 0$. En una segunda aproximación, el interruptor en paralelo se comporta como el circuito de la figura 12.10d. Cuando está abierto, $V_{sal} = V_{ent}$. Pero cuando está cerrado, el teorema del divisor de voltaje sería:

$$V_{sa} = \frac{r_{ds(enc)}}{R_D + r_{ds(enc)}} V_{ent}$$

Un *interruptor analógico* es un dispositivo o circuito que transmite o bloquea una señal de CA. El circuito con FET de la figura 12.10a es un interruptor analógico porque V_{ent} puede ser una señal de CA.

DISPOSITIVOS OPTOELECTRONICOS

El interés por dispositivos sensibles a la luz a ido en aumento a una tasa casi exponencial en los últimos años. El campo resultante de la *optoelectrónica* recibirá mayor interés de la investigación a medida que aumenten los esfuerzos para mejorar los niveles de eficiencia.

A través de los medios de publicidad, nos hemos dado cuenta de que las fuentes luminosas ofrecen un recurso único de energía. Esta energía, transmitida como paquetes discretos denominados *fotones*, tiene un nivel directamente relacionado con la frecuencia de la onda luminosa como se determina por la siguiente ecuación:

$$W = hf(\text{Julios})$$

donde h se denomina la constante de "Planck" y es igual a $6,624 \times 10^{-34}$ Julios-segundos. Expresa claramente que puesto que h es una constante, la energía asociada con la onda de luz incidente está directamente relacionada con la frecuencia de la onda que viaja.

La frecuencia a su vez, está relacionada con la longitud de onda (distancia entre picos sucesivos) de la onda que viaja por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

donde λ = longitud de onda, metros

v = velocidad de la luz, 3×10^8 m/s

f = frecuencia en Hertz, de la onda que viaja

La longitud de onda usualmente se mide en unidades angstrom (\AA) o micrones (μ), en donde

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \text{ y } 1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$$

La longitud de onda es importante debido a que determinará el material que debe utilizarse en el dispositivo optoelectrónico.

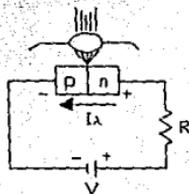
El número de electrones libres generados en cada material es proporcional a la intensidad de la luz incidente. La intensidad luminosa es una medida de la cantidad de flujo luminoso que cae en una superficie particular dada. El flujo luminoso se mide normalmente en lumens (lm) o watts. Las dos unidades se relacionan por

$$1 \text{ lm} = 1,496 \times 10^{-10} \text{ W}$$

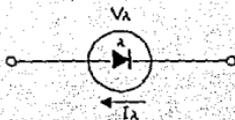
La intensidad luminosa se mide normalmente en lm/pies², "foot-candles" (fc), o W/m², en donde

$$1 \text{ lm/pies}^2 = 1 \text{ fc} = 1,609 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

El fotodiodo es un dispositivo semiconductor de unión p-n cuya región de operación está limitada a la región de polarización inversa. La disposición para polarización básica, construcción y símbolo del dispositivo aparece en la figura 12.11.



(a) Arreglo básico de polarización y construcción del fotodiodo



(b) Símbolo del Fotodiodo

Fig.12.11

La corriente inversa de saturación está normalmente limitada a unos pocos microamperes. Es debida solamente a portadores minoritarios generados térmicamente en los materiales tipo *n* y *p*. La aplicación de la luz a la unión se traducirá en la transferencia de energía de las ondas de luz viajera incidentes (en forma de fotones) a la estructura atómica, produciendo un número creciente de portadores minoritarios y un nivel aumentado de la corriente inversa. Esto se muestra claramente en la figura 12.12 para diferentes niveles de intensidad. La corriente oscura es la corriente que existirá sin iluminación aplicada. Nótese que la corriente solo regresará a cero con un potencial positivo aplicado igual a V_0 . Además, la figura 12.11 demuestra el empleo de una lente para concentrar la luz en la región de la unión.

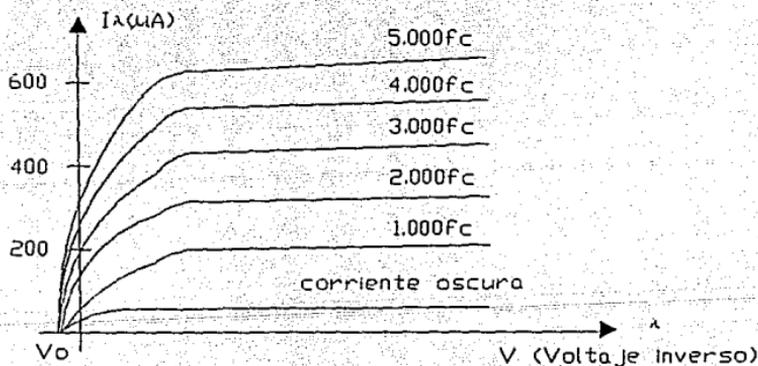


Fig.12.12

El espaciamiento casi igual entre las curvas para el mismo incremento del flujo luminoso revela que la corriente inversa y el flujo luminoso están casi linealmente relacionados. En otras palabras, un incremento

en la intensidad luminosa resultará en un incremento similar en la corriente inversa. Un gráfico de las dos para mostrar esta relación lineal aparece en la figura 12.13 para un voltaje fijo V_A de 20 V. Sobre una base relativa podemos suponer que la corriente inversa es esencialmente cero en la ausencia de luz incidente. Puesto que los tiempos de subida y caída (cambios de parámetros de estado) son muy pequeños para este dispositivo (en el rango de nanosegundos), el dispositivo puede utilizarse para conteo o conmutación a alta velocidad. El Germanio abarca un espectro más amplio de longitudes de onda que el Silicio. Esto lo hace adecuado para luz incidente en la región de infrarojo como la proporcionada por lasers y fuentes luminosas IR (infrarrojas). El Ge tiene una corriente oscura más alta que el silicio, pero también tiene un nivel más alto de corriente inversa. El nivel de corriente generado por la luz incidente en un fotodiodo no es tal que pueda utilizarse como control directo, pero puede amplificarse para este fin.

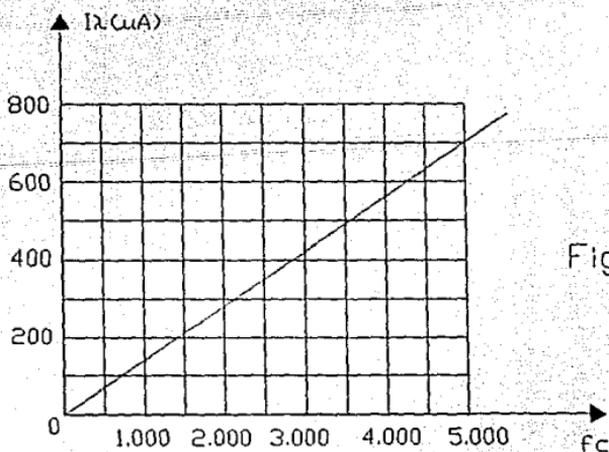


Fig.12.13

MEMORIA DE SOLO LECTURA (ROM)

Una ROM es esencialmente un dispositivo (o acumulador) de memoria en el cual se almacena un conjunto fijo de información binaria. La información binaria es realizada y especificada por el usuario, luego programada en la unidad para formar el patrón de interconexión requerida. 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, este permanecerá fijo aunque exista un corte de corriente y luego se restablezca.

Un diagrama de bloque de una ROM se muestra en la figura 12.14. Este consiste en n líneas de entrada y m líneas de salida. Cada combinación de "bits" de las variables de entrada se les denomina *dirección*. Cada combinación de "bits" que sale por las líneas de salida se llama *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. El número de direcciones diferentes posibles con n variables de entrada es 2^n . Una palabra de salida puede ser seleccionada por una dirección única y como hay 2^n direcciones diferentes en una ROM, hay 2^n palabras diferentes que se dice que están acumuladas en la unidad. La palabra disponible en las líneas de salida, en cualquier momento dado, depende del valor de la dirección aplicada a las líneas de entrada. Una ROM se caracteriza por el número de palabras 2^n y el número de "bits" por palabra m .

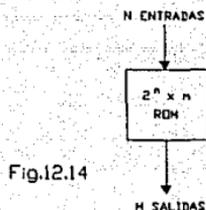


Fig.12.14

Los caminos necesarios en una ROM pueden ser programados de dos maneras diferentes. La primera se llama *programación por máscara* y la hace el fabricante durante el último proceso de fabricación de la unidad. El procedimiento para fabricar una ROM requiere que el cliente llene la tabla de verdad según lo que se desea que la ROM satisfaga. La programación con máscara es económica solamente si son fabricadas en grandes cantidades del mismo tipo de configuración de ROM.

Para pequeñas cantidades, es más económico utilizar un segundo tipo de ROM llamado *memoria programable de solo lectura* o PROM ("Programable Read-Only Memory"). Cuando se ordenan, las unidades PROM contienen ceros (o unos) en cada "bit" de las palabras almacenadas. Los enlaces en el PROM se rompen por medio de pulsos de corriente a través de las terminales de salida. Un enlace roto define un estado binario y uno no roto representa el otro estado. Esto le permite al usuario programar la unidad en su propio laboratorio para lograr la relación deseada entre las direcciones de entrada y las palabras almacenadas. Comercialmente se obtienen unidades especiales llamadas *programadores de PROM* para facilitar este procedimiento. De todas formas, todos los procedimientos para programar las ROM son procedimientos de los materiales ("Hardware") aunque se utilice la palabra *programación*.

El procedimiento de los materiales para programar ROM o PROM es irreversible y una vez programados el patrón dado es permanente y no puede alterarse. Una vez que se ha establecido un patrón de "bits" se debe descartar la unidad si se quiere cambiar el patrón de "bits". Un tercer tipo de unidad es la llamada *PROM borrable* o EPROM ("Erasable PROM"). Las EPROM pueden ser recuperadas a su valor inicial (todos unos o todos ceros) aunque se hayan cambiado previamente. Cuando una EPROM se coloca bajo una luz ultravioleta especial por un periodo dado de tiempo, la radiación de onda corta descarga los puentes internos que sirven de contactos. Una vez borrada la EPROM regresa a su estado inicial para ser reprogramada. Ciertas EPROM pueden ser borradas con señales eléctricas en vez de luz ultravioleta y se les llama algunas veces *ROM eléctricamente alterable* o EAROM.

La función de una ROM puede interpretarse de dos maneras diferentes. La primera interpretación es la de una unidad que configura cualquier circuito combinacional. La segunda interpretación considera la ROM como una unidad de almacenamiento que tiene un patrón fijo de cadenas de "bits" llamadas *palabras*. Visto de esta forma, las entradas especifican una *dirección* para una palabra específica almacenada que se aplica luego a las salidas. *Memoria* se utiliza comúnmente para designar una unidad de almacenamiento. *Lectura* se utiliza para implicar que el contenido de una palabra especificada por una dirección en una unidad de almacenamiento se localiza en las terminales de salida. Así, una ROM es una unidad de memoria con un patrón fijo de palabra que puede ser leído bajo la aplicación de una dirección dada. El patrón de "bits" en la ROM es permanente y no puede cambiarse durante la operación normal.

Las ROM se utilizan extensamente para ejecutar circuitos combinacionales complejos directamente de sus tablas de verdad. Son muy útiles para convertir de un código binario a otro (tal como ASCII a EBCDIC o viceversa), para funciones aritméticas como multiplicadores, para mostrar caracteres en un tubo de rayos catódicos, y en cualquier otra aplicación que requiera un gran número de entradas y salidas. Se emplean también en el diseño de unidades de control de los sistemas digitales. Como tales, se utilizan para almacenar patrones fijos de "bits" que representen una secuencia de variables de control necesarios para habilitar las diferentes operaciones en el sistema.

CODIFICADORES

Un codificador es una función digital que produce una operación inversa a la del decodificador. Un codificador tiene $2n$ (o menos) líneas de entrada y n líneas de salida. Las líneas de salida generan el código binario para las $2n$ variables de entrada. Un ejemplo de un codificador se muestra en la figura 12.15. El codificador octal a binario consiste en ocho entradas, una para cada uno de los ocho dígitos y tres salidas para generar el número binario correspondiente. Este se construye con compuertas OR, cuyas entradas se determinan a partir de la tabla de verdad dada en la Tabla 1. Los "bits" de salida de bajo orden "z" son 1 si los dígitos octales de entrada son impares. La salida "y" es 1 para los dígitos octales 2, 3, 6 ó 7. La salida "x" es 1 para los dígitos octales 4, 5, 6 ó 7. Nótese que Do no se conecta a ninguna compuerta OR, para que la salida binaria sea sólo ceros. Una salida de sólo ceros se obtiene también cuando todas las entradas sean cero. Esta discrepancia puede resolverse agregando una salida más para indicar el hecho de que todas las entradas no son ceros.

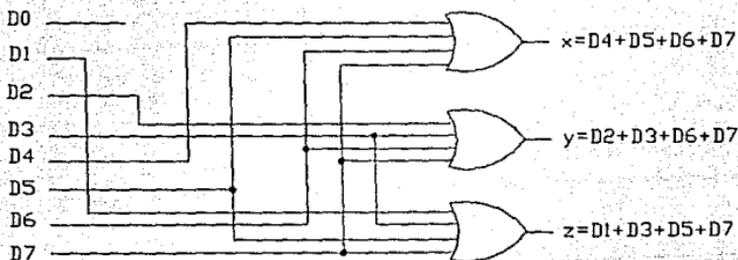


Fig.12.15

El codificador de la figura 12.15 asume que solamente una línea de entrada puede ser igual a 1 en cualquier momento; de otra forma el circuito no tiene significado. Nótese que el circuito tiene ocho entradas y podría tener $2^8 = 256$ combinaciones de entrada posibles. Solamente ocho de estas combinaciones tienen significado. Las otras combinaciones son condiciones de no importa.

Los codificadores de este tipo (figura 12.15) no se encuentran en CI ya que se pueden construir fácilmente con compuertas OR. El tipo de codificador que se encuentra en la forma de circuito integrado es el *codificador de prioridad*. Estos codificadores establecen una prioridad de entrada para asegurar que solamente la línea de entrada de la más alta prioridad se codifica. Así, en la Tabla 1, si la prioridad es dada a una entrada con un número suscrito mayor con respecto a un número suscrito menor, entonces si ambos D_2 y D_5 son lógica 1 simultáneamente, la salida será 101 porque D_5 tiene una mayor prioridad sobre D_2 . Por supuesto, la tabla de verdad de un codificador de prioridad es diferente de la Tabla 1.

D0	D1	D2	Entradas					Salidas		
			D3	D4	D5	D6	D7	x	y	z
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1

TABLA 1

POTENCIOMETRO

Los potenciómetros fueron los primeros instrumentos de gran precisión empleados para medir tensiones e intensidades. Sin embargo, modernamente se emplea la misma palabra para designar un aparato totalmente distinto, el divisor de tensiones de tres terminales, que es una forma de reóstato, o resistencia variable, que los países de habla inglesa llaman abreviadamente "pot".

Mediciones eléctricas. Los potenciómetros, como instrumentos para mediciones eléctricas de precisión, trabajan sobre la base de equilibrar dos tensiones.

Para medir grandes tensiones se emplea un divisor de voltaje. Por ejemplo, si hay que medir un generador de tensión del orden de 1500 V, será necesaria una reducción de 1000 a 1 para obtener una tensión medible del orden de 1.5 V. El divisor de tensión consiste en una serie de

resistencias de las que se obtiene una conexión en algún punto de su longitud.

Reóstato. Este es un aparato que es utilizado comunmente en laboratorios para proporcionar resistencias, tensiones e intensidades variables con fines de medida y regulación. Consiste en una bobina de alambre devanado en hélice, de paso muy corto, alrededor de un tubo de material aislante. Este se monta horizontalmente sobre una base de madera, y los extremos de la bobina se llevan a dos bornes. Por encima del tubo se coloca un dispositivo deslizando con "escobillas" metálicas que hacen contacto con las espiras de la bobina. El dispositivo deslizando se fabrica con un metal buen conductor eléctrico, y se une a un tercer borne. Moviendo el cursor, se hace variar la resistencia entre él y cada uno de los extremos de la bobina.

Por su estructura abierta, los reóstatos son apropiados para manejar intensidades elevadas, ya que pueden disipar gran cantidad de calor por la bobina. Se fabrican grandes modelos para el gobierno de maquinaria eléctrica pesada.

Potenciómetro de regulación. En esencia, es un pequeño reóstato que se emplea en cuadros de instrumentos, en equipos electrónicos en general y, de hecho, en todas las aplicaciones de poca potencia en las que se requieren tensiones e intensidades variables, por ejemplo en los mandos de volumen, tono y equilibrio de los canales de un amplificador.

En un potenciómetro se hace girar un eje que arrastra un contacto (llamado "toma" o "escobilla") sobre un camino circular ("pista") formado por un material resistivo. Comunmente el eje puede girar un ángulo de 4.71

a 5.24 radianes (2700 a 3000) entre los topes extremos. Hay tres terminales, dos a los extremos de la pista y un tercero unido a la escobilla. Esa pista puede ser una bobina de hilo devanado en forma toroidal (en cuyo caso recibe el nombre de potenciómetro devanado) o un depósito superficial de carbón sobre un aislante (potenciómetro de carbón).

Los potenciómetros se designan por su resistencia total de extremo a extremo de la pista, y se fabrican en valores normalizados a 10Ω , $1K\Omega$, $5K\Omega$, $10K\Omega$, etc. Una segunda clasificación viene dada por su respuesta, que puede ser lineal, logarítmica o según funciones trigonométricas senoidales o cosenoidales.

MODULACION ANCHO DE PULSO "PULSE-WIDTH MODULATION" (PWM)

La figura 12.16 muestra un sistema PWM. Se genera primero una señal PAM y puede ser multiplexada con otras señales PAM. Una señal PAM (pulse amplitude modulation - modulación amplitud de pulso) resulta cuando un tren de pulsos muy pequeños de amplitud constante $\delta(t)$ que ocurren a una alta razón de repetición de pulsos es variado en amplitud con una onda de modulación más lenta. El efecto es el de multiplicar el tren de pulso por la señal moduladora.

La señal PWM se genera de la señal PAM y se transmite. En el receptor, la señal PAM se genera, y luego se demula por filtro paso bajas.

La señal moduladora $m(t)$, (A), es aplicada a la entrada de un circuito modulado de PAM, para generar la señal PAM (B). El mismo tren de pulsos (C) el cual suple el modulador PAM es utilizado para pasar a un generador de rampa, para generar un tren de pulsos rampa (D) los cuales

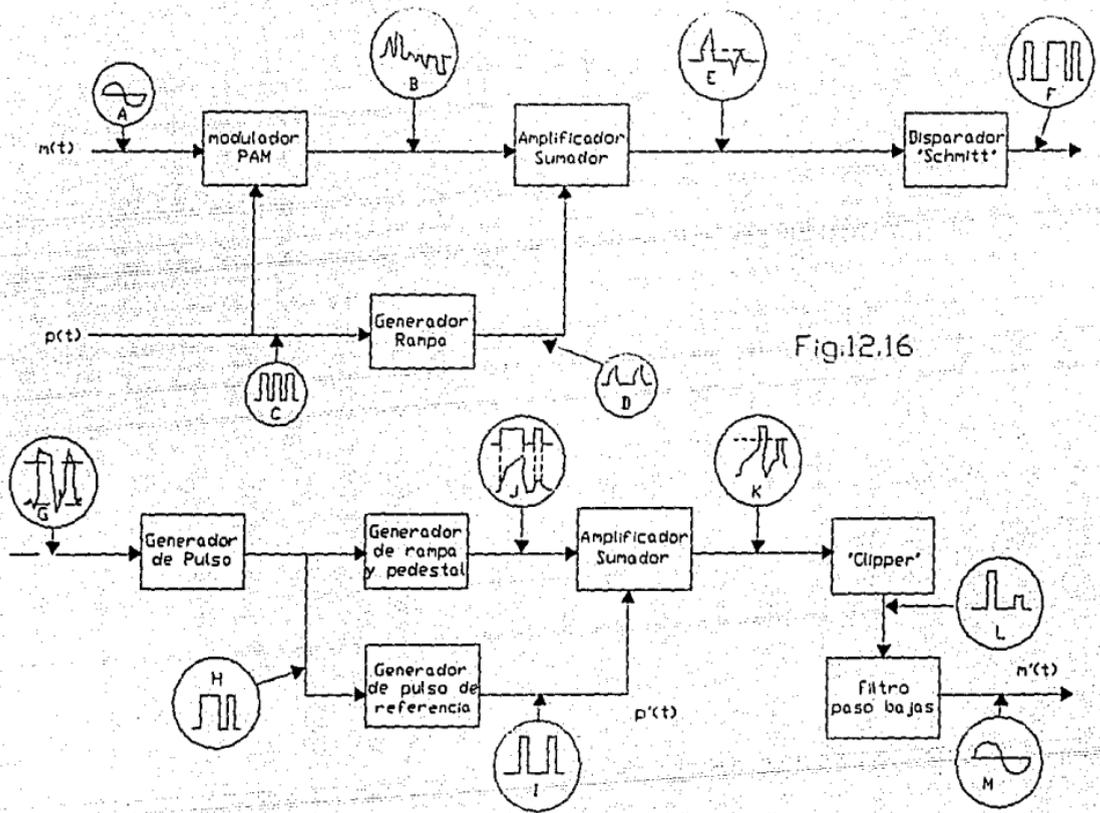


Fig.12.16

tienen igual inclinación, amplitudes y duración. Estos pulsos de rampa son sumados directamente a los pulsos PAM para producir las rampas variantes en altura (E). Las rampas variantes en altura dan paso a un circuito "Schmitt trigger" (circuito disparador) para generar pulsos rectangulares de ancho variante de la onda PWM (F). Estos pulsos PWM pueden ser transmitidos directamente o utilizados como la entrada a un modulador de posición de pulso.

En el receptor, los pulsos recibidos (G) son puestos a través de un circuito regenerador para remover parte del ruido y encuadrar los pulsos. Estos pulsos regenerados (H) conducen una referencia del generador de pulso para producir un tren de pulsos sincronizados de altura constante anchura constante al borne principal de los pulsos recibidos, pero retrasados por un intervalo determinado (I). Los pulsos regenerados también dan paso a un generador de rampa. Al final del pulso, un amplificador "Sample-and-Hold" (prueba-y-retener) retiene el voltaje final de rampa hasta que es reseteado al final del periodo, resultando en una forma de onda rampa-y-pedestal (J). Los pulsos de amplitud constante (I) son adicionados a los pedestales para formar (K), el cual es entonces recortado a un nivel de umbral para formar la señal PAM de (L). La señal forma de onda $m'(t)$, (M), es recuperada por un filtro paso bajas.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Hemos visto que gracias a la facilidad de disponer de computadoras electrónicas analógicas, digitales e híbridas y gracias también al gran avance en la electrónica moderna, se han mejorado los sistemas de control.

Encontramos varias ventajas al utilizar el control numérico, como producir partes complejas con tolerancias uniformes a la máxima velocidad de trabajo.

Encontramos que el requerimiento primario de cualquier sistema de control es tener estabilidad absoluta y relativa tales que no causen inestabilidad. La velocidad de respuesta debe ser rápida y amortiguada. Un sistema de control debe poder reducir a cero o a un valor pequeño los errores.

Podemos concluir que los controles digitales tienen ventajas notorias sobre los controles analógicos. Los primeros pueden realizar cálculos complejos con una exactitud constante a alta velocidad, esto con un incremento de costo relativamente pequeño, lo que no sucede con las computadoras analógicas, las cuales aumentan de costo al querer mantener la exactitud constante.

Los controles digitales son más versátiles, lo cual es importante si el sistema de control recibe información o instrucciones desde algún centro de cómputo donde se realizan estudios de optimización y económicos.

Al diseñar controladores de servosistemas se debe tomar muy en cuenta la estabilidad del sistema. Este es

generalmente estable, cuando el sistema de posicionamiento mueve una carga que nunca cambia. Sin embargo, cuando el sistema de posicionamiento debe manejar una variedad de cargas o velocidades y aceleraciones diferentes, el sistema puede llegar a ser inestable.

El avance reciente de los circuitos integrados puede simplificar el diseño de la electrónica posicional. El uso de los nuevos "chips" de control, puede hacer posible el reorientar completamente los ejes sin rediseñar la electrónica de control.

Al utilizar el control por computadora podemos tomar en cuenta todas las variables del proceso junto con factores económicos, de producción, etc., y así lograr el control óptimo de los procesos industriales.

Entre más completo es el control, más importante es conocer y utilizar las relaciones correctas entre las variables operativas, por lo tanto, el sistema debe poder recibir instrucciones tanto de operadores humanos como computadoras y también debe ser capaz de modificar su subsistema de control en poco tiempo.

Hasta ahora, el enlace entre la computadora y el sistema de control era sólo para sistemas de control de larga escala. El costo de la computadora generalmente excedía el costo del sistema al cual se enlazaba. Hoy en día, el bajo costo y el tamaño pequeño de la microcomputadora han hecho posible su utilización en casi todos los tipos de sistemas de control. Su uso ha facilitado la tarea del ingeniero al resolver problemas complejos que de otra manera le tomaría hasta horas para resolver. En adición, al ser humanos, los ingenieros son susceptibles de cometer errores y les tomaría aún mayor

tiempo el corregir esos errores.

La ventaja de la computadora en estos casos es su alta velocidad y gran exactitud. La computadora es alimentada con datos del sistema, los cuales utiliza para proveer una solución a un problema complejo; de dicha solución, el operador puede alimentar entradas al sistema para alterar su comportamiento o corregir errores.

Otras ventajas de utilizar computadoras, es que cuando el software reemplaza al hardware, el costo de materiales y el trabajo requeridos para construir la circuitería son tremendamente reducidos, además de que el software es más confiable y exacto. El software no cambia con el uso, permanece exactamente como cuando fue creado originalmente.

También encontramos que si un sistema ha estado operando en determinada manera por cierto tiempo y se desea cambiar su operación, se requiere de un gran trabajo para hacer los cambios en hardware. En la computadora los cambios se hacen simplemente cambiando una instrucción en el programa.

Los avances de la electrónica los podemos observar en los motores de pasos, los cuales tienen varias cualidades que los hacen particularmente útiles para sistemas de control de movimiento. Los motores de pasos son firmes cuando se detienen, producen un alto torque por su tamaño físico y no utilizan escobillas lo que los libera de mantenimiento.

Sin embargo, los motores de pasos tienen una seria desventaja cuando se les utiliza para posicionamiento preciso. El tamaño de su paso es relativamente grande, lo

que puede causar oscilaciones en el eje del motor.

Esta desventaja se arregla con la técnica del "Microstepping", la cual retiene las ventajas de los motores de pasos y sobrepasa la rudeza creada por la baja velocidad y resolución, además de que incrementa la resolución de posición. Su ventaja mayor es una operación suave y la eliminación de resonancia sobre su rango de velocidad. Una operación suave permite una utilización de torque completo y libertad de ruido y uso mecánico.

Los sistemas de "microstepping" son generalmente fáciles de instalar y utilizar, ya que no requieren de ajuste o instalación como los servosistemas típicos, y porque son estables y libres de ser impelidos cuando se detienen.

También gracias a que los controladores electrónicos han mejorado, se ha logrado un mejor funcionamiento en los motores de pasos. Por ejemplo, ahora operan a voltajes mayores. Los nuevos MOSFETs y los transistores interruptores bipolares de alta velocidad permiten a los conductores interruptores correr a frecuencias muy altas. Los híbridos comunes, las aplicaciones específicas de CIs y los arreglos programables (PALs) habilitan a los conductores a utilizar algoritmos de control más sofisticados. Además se ha reducido el tamaño de las fuentes de poder debido a las pérdidas menores provenientes de diseños de circuitos que tienen mayor eficiencia.

De la misma manera vemos que los motores de pasos operan más eficientemente y a velocidades mayores cuando se alimentan por sistemas interruptores. Los conductores controlan la corriente con mayor precisión al prender y

apagar la corriente a altas frecuencias. Así mismo, los controladores modernos ahora incluyen características de protección, programación y comunicación que antes eran imposibles o muy costosas.

Como podemos observar cada pequeño avance en la tecnología es de gran importancia para el desarrollo de la Industria y de la vida actual en general. Ya que dichos avances son debidos a las necesidades que se nos van presentando, y así, cada día encontramos nuevas soluciones a los diferentes problemas que enfrentamos, mejorando cada vez más todos los aspectos de nuestra vida cotidiana.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

DISTEFANO III, STUBBERUD Y WILLIAMS. Retroalimentación y sistemas de control. Serie SCHAUM Mc. Graw-Hill, 1981, 372 pp.

OGATA KATSUHIKO. Ingeniería de control moderna. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1970, 902 pp.

KUO BENJAMIN C. Sistemas automáticos de control. CECSA (Compañía editorial continental S.A. de C.V., México). 1986, 663 pp.

D'AZZO JOHN J. Feedback control system analysis and synthesis. Mc. Graw-Hill Kogakusha. 1966, 824 pp.

HALE FRANCIS J. Introduction to control system analysis and design. Prentice Hall. 1973, 338 pp.

HARRISON H.J., BOLLINGER J.G. Controles automáticos sistemas, aplicaciones mecánicas, casos lineales. México, Editorial Trillas. 1974, 583 pp.

IFAC/IFIP. Symposium on software for computer control. Edited by M. Novak - Oxford: Pergamon Press. 1979, 420 pp.

CHAUPRADE ROBERT. Control electrónico de los motores de corriente continua. Barcelona, Gustavo Gili. 1983, 208 pp.

McINTYRE R.L. Control de motores eléctricos. Barcelona, Marcombo. 1975, 382 pp.

OLESEN OLE. Noticias Técnicas, "Machine Design". Simpler routes to position control. Electro Mechanical, Engineering Corp. Arnold M.D. 1989.

CARLISLE BEN H. Noticias Técnicas, "Machine Design".
Stepping motors. Staff Editor. 1986.

PAVLAT JOSEPH. Noticias Técnicas, "Machine Design".
Microstepping. Vicepresident of advanced development,
Computer division, Parker Hannifin Corp. Petaluma, C.A.
1989.

CARLSON G., COLLINS M. Noticias Técnicas, "Machine Design".
Presition stepping with software. Motorola Inc., Austin
Texas. 1988.

PALKO ED. Noticias Técnicas, "Plant Engineering".
Industrial electric motors. Senior editor. 1983.

MANO MORRIS M. Lógica digital y diseño de computadoras.
Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1982, 636 pp.

BOYLESTAD R., NASHELSKY L. Electrónica teoría de circuitos.
Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1983, 785 pp.

MALVINO A. P. Principios de electrónica. M, Graw-Hill.
1982, 781 pp.

COUGHLIN R.F., DRISCOLL F.F. Circuitos integrados lineales
y amplificadores operacionales. Prentice Hall
Hispanoamericana S.A., 1987, 394 pp.