

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

392
Ejes



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

"SISTEMAS DE ARRANQUE PARA UN MOTOR TRIFASICO, TIPO ROTOR JAULA DE ARDILLA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
JAVIER SOTO VERDIN
GUADALAJARA, JAL. 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

C O N T E N I D O

	PAGINA
PROLOGO	III
AGRADECIMIENTO	VI
INTRODUCCION	VII
 Capítulo	
I. ARRANQUE BRUSCO EN DOS PASOS.	
a).- GENERALIDADES	1
b).- DIAGRAMA DE FLUJO	4
- Descripción de los estados	6
c).- DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE FLUJO	7
- Tabla de verdad general, usando FF-JK ..	8
- Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JA	9
- Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KA	10
- Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JA	11
- Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KB	12
- Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JC	13
- Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KC	15
- Simulación de un arranque en estrella ..	16
- Simulación de un arranque en delta	16
- Simulación de un arranque automático estrella-delta	16
- Simulación de un arranque manual estrella-delta	17
- Desarrollo del diagrama de flujo	18
- Decodificación de los estados del diagrama de flujo: Mapa de Karnaugh y Función minimizada para estrella	20

- Decodificación de los estados del diagrama de flujo: Mapa de Karnaugh y Función minimizada para delta	20
d).- CIRCUITOS EXTERNOS AL DIAGRAMA DE FLUJO ..	21
- Opciones	22
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JA	23
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KA	23
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JB	23
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KB	24
- Conclusión de funciones	24
- Simulación de funciones	24
- Decodificación binario-decimal	24
- Circuito de tiempo para el diagrama de flujo	26
- Circuito de tiempo para el lapso ocurrido entre el arranque estrella y el cambio a delta automático	27
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JA	29
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KA	29
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para JB	29
- Mapa de Karnaugh y Función minimizada para KB	30
- Diagrama de flujo para el arranque	32
- Fuente general de alimentación	33
e).- CIRCUITO DE PRUEBA PARA OBTENER EL COMPORTAMIENTO DEL CI OPTOACOPLADOR MOC 3011	37
- Resultados obtenidos del circuito de prueba	39

- Circuito final de acoplo	40
- Diagrama general de acoplo	41
- Cálculos y resultados	42
II. ARRANQUE GRADUAL.	
a).- INTRODUCCION	44
b).- DESCRIPCION GENERAL	45
- Diagrama de bloques general	46
c).- DIAGRAMA DE BLOQUES.	
- Bloque de tiempo	48
- Bloque de selección en ROM	48
- Bloque fijador de parámetros externos ..	51
- Bloque de decisiones	53
d).- CONCLUSIONES	56
III. INTERFAZ PARA EL ARRANQUE GRADUAL.	
a).- INTRODUCCION	57
b).- DESCRIPCION GENERAL	58
c).- CONCLUSIONES	61
IV. CONCLUSIONES.	
a).- CIRCUITO DE CONTROL ARRANQUE ESTRELLA-DELTA	63
b).- INTERFAZ ELECTROMECHANICA	66
c).- INTERFAZ DE ESTADO SOLIDO PARA ARRANQUE ESTRELLA-DELTA	70
d).- CONCLUSIONES GENERALES	72
BIBLIOGRAFIA	74

P R O L O G O

Me causa satisfacción el hecho de haber escalado el último peldaño de mi carrera profesional y sentirme en posibilidades de iniciar una vida de trabajo útil a la sociedad y poder continuar mis estudios con el anhelo de superación.

El enfoque dado durante la realización de este trabajo pretende dos fines específicos: el primero de ellos, es justificar de alguna manera la asimilación durante el periodo de estudios, y con éste una solidez en mi vida profesional como ingeniero.

El segundo fin, como consecuencia del primero, es manifestar las habilidades encaminadas hacia un propósito, y de una manera muy modesta, del aún estudiante.

Resulta dudosa la consecuencia de un proyecto cuando se es estudiante, por falta de conocimientos del campo real, que cree pertinente aclarar el significado de mi tesis como tal: "es un modelo de tiempo y esfuerzo, que involucra varios conceptos técnicos y que carece de aplicación técnica inmediata, por la ideología durante su planeación"; mas --- bien, no imaginé verlo en primer momento dentro del ambiente real, en donde los factores a considerar son demasiados, sino que pretendí, libre de muchas consideraciones, buscar una solución adecuada a un problema ficticio, que de alguna manera trata de involucrar algunos conceptos teóricos.

El motivo de crear un problema ficticio, fue evitar en mi caso personal, la investigación y recopilación de algo perfectamente establecido, que viera una situación real, a resolver con las herramientas básicas de la técnica teórica y buscando un fin último que pudiera ser de utilidad de alguna manera a alguien.

Así mi fin último, fue buscar a quién podría ser de -- utilidad y encontré la parte didáctica como camino final -- del proyecto.

El proyecto comprende básicamente los siguientes aspectos que consideraré a juicio personal, la ideología del pro--

yecto:

- Involucrar cálculos sencillos sobre dispositivos físicos reales, en una área específica de la electrónica --- aplicada. Las áreas de aplicación son la electrónica de --- control y la electrónica de potencia.

- Aplicar una técnica específica de diseño, en el sentido de justificar con números, los resultados prácticos - obtenidos. Así, busqué una máquina de estado, propicia a - juicio personal, de donde se pudiera obtener una serie de - funciones adicionales, carentes todas juntas de aplicación real, pero con suficiente sentido de aplicación teórica.

- Buscar una consecuencia del estado final o de la salida de la máquina de estado, donde se pudiera observar un punto final de aplicación real. Este punto final es un motor de corriente alterna tipo rotor jaula de ardilla.

- Elaborar una interface de estado sólido, eliminando el uso del transformador de pulsos, al menos en este proyecto.

- Buscar de alguna manera, el reemplazo del costoso - relevador en las partes de control, interface y circuito - de potencia.

- Hacerlo de manera tal, que se pudieran apreciar algunas formas de arranque convencionales, usando semiconductores, del motor de corriente alterna tipo rotor jaula de ardilla.

La parte física elaborada, fue una mezcla de semiconductores y relevadores de control, así como de potencia; - sin embargo, expone la manera en la que cree podría ser - resuelto el problema sin justificación práctica, mas que - aquella que comprende el capítulo primero.

El motivo de la falta de justificación práctica del - reemplazo completo por semiconductores, así como todas las pruebas necesarias, se evitaron por razones de tiempo y - costo.

Con el enfoque y la consecuencia final del proyecto,-

creo y espere, que sea un objeto de motivación para el desarrollo de nuevos trabajos a partir de éste, donde se busque ya no un fin didáctico sino una aplicación real, así como una justificación teórica más completa de lo que yo expongo. Sería de un gran valor, lograr romper el obstáculo económico, pues constituye una limitante muy grande en mi trabajo, cuando fue desarrollado.

Sin embargo, el problema económico no justifica una teoría más completa y concisa, sobre todo en la parte de potencia, que deje como sugerencia para un nuevo tema de tesis en el último capítulo, que por falta de conocimiento más concreto, propongo una forma de onda sin ninguna justificación, mas que la de circuito de control que va a trabajar sobre ella.

Espero, pues, que de algo sirva, no obstante ser un proyecto parcialmente terminado, y de la existencia de proyectos similares funcionando actualmente en el mercado, haciendo variar la frecuencia básica de sesenta hertz, y no la forma de onda como la propongo yo, y sin justificación.

A G R A D E C I M I E N T O

Expreso mi agradecimiento al Ing. José Ramón Vázquez Espíndola, por haber contado con su asesoría técnica en la elaboración de este trabajo; al Ing. Carlos Cortés --- Buenrostro, quien representó para mí desde el aula, el -- elemento básico que motivó la aplicación de la electrónica digital y cuyo caudal de conocimientos se refleja con mayor importancia en el capítulo primero; a la Universi-- dad Autónoma de Guadalajara, que permitió integrarme a su grupo estudiantil y, por ende, obtener el contacto y parte muy valiosa de conocimientos y experiencias de la escuela de ingeniería y a la H. Comisión de ésta que forma parte de la evaluación de mi examen profesional, sin olvi-- dar también la valiosa participación que como asesor tuvo mi padre, Profr. Marcial Soto Espinosa, en la elaboración de mi tesis, que representa la culminación de esfuerzos -- realizados para obtener el título que en la portada se re-- gistra.

El desarrollo del presente trabajo, es una mezcla de elementos corrientemente utilizados, como lo son el relevador de control y el arrancador de potencia, y dispositivos de estado sólido como circuitos integrados, transistores, etc., que buscan de una manera sencilla arrancar un motor de corriente alterna del tipo rotor jaula de ardilla.

En el capítulo uno, intento sustituir totalmente el circuito de control normalmente usado con relevadores electromecánicos, por un circuito de control de estado sólido, de un arrancador estrella-delta convencional. No obstante, el hecho de sustituir parcialmente el arrancador completo (sólo el control), es el primer intento hacia un reemplazo total. De hecho, en los diagramas de control más simples se logra sustituir al menos, un relevador de tiempo y un relevador de control, cuyos precios son más significativos que el de aquellos dispositivos electrónicos usados.

No hago una comparación económica, por carecer de sentido óptimo de funcionamiento, dada la filosofía del proyecto. A pesar de esto, considero importante el reemplazo de dos relevadores al menos, uno de los cuales es de tiempo (más costoso aún que el de control), así como el empleo de botones de arranque y paro trabajando con voltajes y corrientes lógicas; más aún, el circuito se puede optimizar notablemente usando memorias ROM, donde el programa puede ser almacenado permanentemente, limitándolo a menos componentes todavía, esto con otras miras.

Este capítulo está integrado por una descripción cuidada del método usado para hacer una máquina de estado, diseñando en primer lugar el diagrama de flujo, seguido por la implementación con los dispositivos usados (compuertas TTL); posteriormente se hace la interfaz para controlar la bobina de un arrancador a 127 volts de corriente alterna y se finaliza con una conexión entre el diagrama de control y

la interfaz , así como ésta con la carga.

El segundo capítulo es una proposición, donde expongo la descripción de un diagrama de control que coordina una forma de crecimiento en la onda senoidal, sin justificación alguna. De hecho, lo que se pretende en este capítulo, es tratar de utilizar los resultados del capítulo primero, en la forma como se conectó el control a la parte de potencia.

El capítulo tres intenta mostrar la forma como se puede reproducir el control sobre tres fases, partiendo de la forma como se controló una carga monofásica en el capítulo uno (la bobina del arrancador). En esencia, es el mismo diagrama repetido tres veces.

Por último, en el capítulo cuarto muestro una descripción general según los autores de la bibliografía, de los distintos tipos de arranque convencionales y su relación con los capítulos anteriores, así como la forma como se conectaron los arrancadores de potencia en el diagrama final del capítulo uno.

También se muestran algunas gráficas de los motivos de los arranques, según los autores de la bibliografía, y se muestra una proposición, en la forma como pueden ser eliminados los arrancadores de potencia, usando TRIACS y OPTOCOPLADORES.

C A P I T U L O I

A R R A N Q U E B R U S C O E N D O S P A S O S

a).- Generalidades.

Existen, sin lugar a dudas, una gran variedad de formas para poder hacer algo, y con mucha más razón, cuando se trate de diseñar un equipo electrónico de control. Así pues, puede pensarse en el empleo de circuitos integrados simples junto con elementos discretos no necesariamente integrados, hasta circuitos integrados muy completos, que a fin de cuentas vienen a representar una baja en el costo de fabricación. Aunque uno de los motivos principales de la ingeniería es la minimización del costo de producción, el enfoque que se dio para diseñar prácticamente todo el aparato, fue pensado en función de circuitos integrados básicos, con los fines ya explicados en la introducción.

Esta parte en general cubre dos aspectos: el diagrama de control y la circuitería externa a él.

El diagrama de control formado por un diagrama de flujo, es una máquina de estado gobernada por circuitos de tiempo externos y circuitos de elección.

Existe un reloj que mueve la toma de decisión en el diagrama de flujo de una frecuencia relativamente baja (no más de 1 khz.), además de contar con otro circuito de reloj que define el tiempo de cambio (estrela-delta), cuando la elección de un arranque automático ha sido colocada.

La secuencia de operación está sometida a ocho estados diferentes dependiendo de la elección hecha. Existen cinco condiciones de las cuales Q_3 es consecuencia de que Q_1 , Q_2 y Q_4 no estén presentes (lógica positiva), y no necesariamente debe incluirse en el diagrama por esta razón. El motivo de considerarla es para poder apreciar por medio de un DEL (diodo emisor de luz) la forma de operación escogida. La quinta condición la de un reloj que define el ---

tiempo en el que debe ejecutarse el cambio automático.

Las condiciones Q_1 , Q_2 , Q_3 (una consecuencia de las restantes) y Q_4 , son generadas usando un circuito contador de secuencia 0-1-2-3-0-..., cuya salida es codificada usando compuertas simples, para dada una combinación a la entrada, producir una de cuatro salidas posibles. De esta manera usando un botón normalmente abierto, se generan pulsos a la entrada clock de un arreglo de dos flip-flops que causan que haya un cambio de estado o conteo, eligiendo -- una de las cuatro direcciones para una de las cuatro combinaciones posibles dadas por el contador.

La frecuencia del reloj que controla todo el diagrama de flujo como puede verse, no necesariamente debe ser muy alta, ya que los estados por los que debe pasar cada una de las secuencias escogidas son relativamente muy pocos, -- además de tomar en cuenta, que los tiempos de duración en l lógico de cada una de las condiciones son muy grandes, -- comparados con los tiempos de duración en el mismo estado de los pulsos del reloj.

El estado final cualquiera que sea la decisión tomada por medio de las condiciones, o bien es 001 ó 011 que corresponden a una operación en estrella o en delta, respectivamente. Cuando se logra llegar a cualquiera de los dos estados finales anteriores, prácticamente es imposible salir de ellos, dado que el siguiente estado es el mismo. La finalidad de hacer esto así es evitar la alteración del estado final una vez adquirida, causada por la manipulación del botón selector accidental o premeditadamente; por lo que una vez tomado cualquiera de los dos estados, pueden hacerse otras selecciones sin producir alteración al estado final de funcionamiento, salvo que se quiera un para total, que en todo caso es por otro medio.

La operación de ejecución es llevada a cabo por medio de dos botones ambos normalmente abiertos, uno de los cuales, ya comentado anteriormente, sirve para hacer la elec-

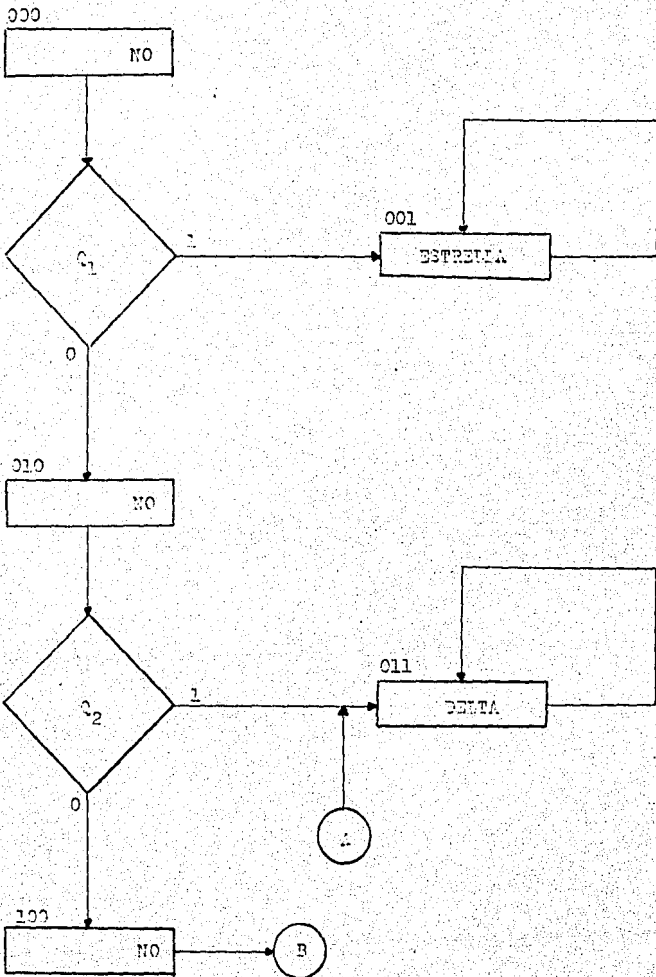
ción de cómo funcionar dentro de cuatro posibilidades, y un segundo botón cuya finalidad es poner a funcionar la operación escogida por el primer botón; significa que una vez hecha la elección, basta con oprimir el segundo botón para poner a funcionar el circuito de control en esa opción.

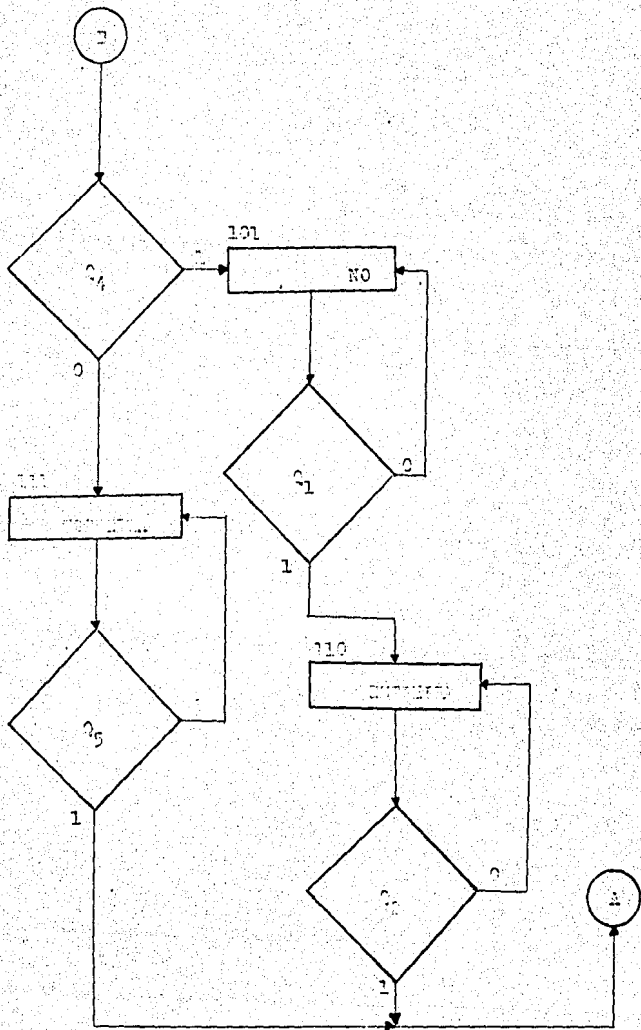
Para sacar de operación cualquiera de las situaciones hay que desconectar la fuente de polarización. El tiempo de apagado es realmente pequeño, con lo que se puede conectar y desconectar manualmente rápido, quedando finalmente deshabilitado. Esta viene a ser una protección contra falta de energía, y en todo caso contra falla de fase fallida.

El enfoque de diseño abarcó sólo la parte de control y no contempló ningún tipo de protección, quedando este último como tema libre de estudio.

Finalmente, las señales de control son recibidas por un circuito formado por optoacopladores, que forman la interfaz entre el circuito de control y las bobinas de dos arrancadores de tensión plena acoplados con bloques mecánicos.

b). Diagrama de Flujo.





Descripción de los estados:

El estado 000 indicado con NO, no representa actividad alguna dentro del circuito, salvo como paso para la interrogación Q_1 . Es el estado de arranque para cualquiera de las opciones.

El estado 001 indicado con estrella, es el estado final de una opción: arranque y rutina de trabajo en estrella.

El estado 010 indicado con NO, no representa actividad alguna dentro del circuito, salvo como parte para la interrogación Q_2 . Es un estado adquirido libre de la posibilidad de un estado final en estrella.

El estado 011 indicado con DELTA, es el estado final de tres opciones: arranque y rutina de trabajo en Delta; arranque estrella-delta automático y arranque estrella-delta manual.

El estado 100 indicado con NO, no representa actividad alguna dentro del circuito, salvo como parte de la interrogación Q_4 . Es un estado adquirido libre de la posibilidad de un arranque y rutina de trabajo en Delta.

El estado 101 indicado con NO, no representa actividad alguna dentro del circuito, salvo como parte de la interrogación Q_1 . Es un estado adquirido dirigido hacia una de las opciones: arranque estrella-delta manual.

El estado 110 indicado con estrella, es un estado intermedio permanente mientras la condición Q_2 no esté presente. Es un estado adquirido dirigido hacia una de las opciones: arranque estrella-delta manual.

El estado 111 indicado con ESTRELLA, es un estado intermedio provisional mientras la condición Q_5 no esté presente. Es un estado adquirido dirigido hacia una de las opciones: arranque estrella-delta automático.

c).- Desarrollo del diagrama de flujo.

La elaboración de tablas de verdad junto con las expresiones booleanas, así como su simplificación por medio de mapas de Karnaugh es lo que a continuación se presenta.

Primeramente se expone una tabla de verdad que ilustra todas las posibilidades del diagrama de flujo, para en seguida ser reducida por partes, debido a que el número de variables a manipular es incómodo para ser tratado junto.

Conforme el desarrollo de la tabla general vaya teniendo lugar, se explica en detalle cada uno de los pasos que se siguieron. Los flip-flops usados fueron JK, y la compuerta básica NAND, sin descartar el uso de otro tipo de compuertas.

Una vez determinadas todas las funciones, se hace una simulación con la finalidad de asegurar los resultados esperados. En realidad, esta simulación es el desarrollo de cada una de las funciones en tablas de verdad.

TABLA DE VERDAD GENERAL, USANDO F.F. JK

A	B	C	1	2	4	5	A	B	C	A	B	C			
EA			Q	Q	Q	Q	ES			J	K	J	K		
0	0	0	1	X	X	X	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	0	0	X	X	X	0	1	0	0	X	1	X	0	X
0	1	0	X	1	X	X	0	1	1	0	X	X	0	1	X
0	1	0	X	0	X	X	1	0	0	1	X	X	1	0	X
1	0	0	X	X	0	X	1	1	1	X	0	1	X	1	X
1	1	1	X	X	X	0	1	1	1	X	0	X	0	X	0
1	1	1	X	X	X	1	0	1	1	X	1	X	0	X	0
0	1	1	X	X	X	X	0	1	1	0	X	X	0	X	0
0	0	1	X	X	X	X	0	0	1	0	X	0	X	X	0
1	0	0	X	X	1	X	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	0	X	X	X	1	0	1	X	0	0	X	X	0
1	0	1	1	X	X	X	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	X	0	X	X	1	1	0	X	0	X	0	0	X
1	1	0	X	1	X	X	0	1	1	X	1	X	0	1	X

EA= Estado Actual.

ES= Estado Siguiete.

A,B,C= Salidas de F.F.

J,K= Entradas de F.F.

Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada -
para J_A .

TABLA DE VERDAD

A	B	C	Q2	JA
0	0	0	X	0
0	0	1	X	0
0	1	0	1	0
0	1	1	X	0
1	0	0	X	X
1	0	1	X	X
1	1	0	0	X
1	1	1	X	X
0	1	0	0	1

MAPA DE KARNAUGH

CQ ₂	AB			
	00	01	11	10
00	0	1	X	X
01	0	0	X	X
11	0	0	X	X
10	0	0	X	X

FUNCION
MINIMIZADA

$$J_A = B\overline{C}Q_2$$

Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y función minimizada para K_A .

TABLA DE VERDAD

A	B	C	Q2	Q5	KA
0	0	0	X	X	X
0	0	1	X	X	X
0	1	0	1	X	X
0	1	1	X	X	X
1	0	0	X	X	0
1	0	1	X	X	0
1	1	0	0	X	0
1	1	1	X	0	0
1	1	0	1	X	1
1	1	1	X	1	1

FUNCION
MINIMIZADA

$$K_A = BCQ_5 + \bar{B}\bar{C}Q_2$$

MAPA DE
KARNAUGH

		ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
Q ₂ Q ₅	00	X	X	X	X	0	0	0	0
	01	X	X	X	X	0	1	0	0
	11	X	X	X	X	1	1	0	0
	10	X	X	X	X	1	0	0	0

Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y función minimizada para J_B .

TABLA DE VERDAD

A	B	C	Q1	Q4	JB
0	0	0	1	X	0
0	0	1	X	X	0
0	1	0	X	X	X
0	1	1	X	X	X
1	0	0	X	0	1
1	0	1	0	X	0
1	1	0	X	X	X
1	1	1	X	X	X
0	0	0	0	X	1
1	0	1	1	X	1
1	0	0	X	1	0

FUNCION MINIMIZADA

$$J_B = ACQ_1 + AQ_1\bar{Q}_4 + \bar{C}Q_1\bar{Q}_4 + \bar{A}C\bar{Q}_1$$

		ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
Q1Q4									
00		1	0	X	X	X	X	0	1
01		1	0	X	X	X	X	0	0
11		0	0	X	X	X	X	1	0
10		0	0	X	X	X	X	1	1

MAPA DE KARNAUGH

Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para K_B .

TABLA DE VERDAD

A	B	C	Q2	KB
0	0	0	X	X
0	0	1	X	X
0	1	0	1	0
0	1	1	X	0
1	0	0	X	X
1	0	1	X	X
1	1	0	X	0
1	1	1	X	0
0	1	0	0	1

MAPA DE KARNAUGH

		AB			
		00	01	11	10
CQ ₂	00	X	1	0	X
	01	X	0	0	X
	11	X	0	0	X
	10	X	0	0	X

FUNCION
MINIMIZADA

$$K_B = \overline{A}C\overline{Q}_2$$

Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y Función minimizada para J_C .

A	B	C	Q1	Q2	Q4	JC
0	0	0	1	X	X	1
0	0	1	X	X	X	X
0	1	0	X	1	X	1
0	1	1	X	X	X	X
1	0	0	X	X	X	1
1	0	1	X	X	X	X
1	1	0	X	0	X	0
1	1	1	X	X	X	X
0	0	0	0	X	X	0
0	1	0	X	0	X	0
1	1	0	X	1	X	1

TABLA DE VERDAD

$Q_1 Q_2 Q_4$	ABC							
	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	X	X	0	0	X	X	1
001	0	X	X	0	0	X	X	1
011	0	X	X	1	1	X	X	1
010	0	X	X	1	1	X	X	1
110	0	X	X	1	1	X	X	1
111	1	X	X	1	1	X	X	1
101	1	X	X	0	0	X	X	1
100	1	X	X	0	0	X	X	1

MAPA DE KARNAUGH

$$J_C = A\bar{B} + EQ_2 + \bar{B}Q_1$$

FUNCION MINIMIZADA

Tabla de verdad, Mapa de Karnaugh y función minimizada para K_C .

TABLA DE VERDAD

A	B	C	Q1	KC
0	0	0	X	X
0	0	1	X	0
0	1	0	X	X
0	1	1	X	0
1	0	0	X	X
1	0	1	0	0
1	1	0	X	X
1	1	1	X	0
1	0	1	1	1

FUNCION
MINIMIZADA

$$K_C = \bar{A}\bar{B}Q_1$$

		AB			
		00	01	11	10
CQ ₁	00	X	X	X	X
	01	X	X	X	X
	11	0	0	0	1
	10	0	0	0	0

MAPA DE KARNAUGH

Conclusión y Simulación de Funciones Booleanas.

Las funciones anteriormente obtenidas son:

$$J_A = B\bar{C}\bar{Q}_2$$

$$K_A = BCQ_5 + B\bar{C}Q_2$$

$$J_B = ACQ_1 + AQ_1\bar{Q}_4 + \bar{C}\bar{Q}_1\bar{Q}_4 + \bar{A}\bar{C}\bar{Q}_1$$

$$K_B = \bar{A}\bar{C}\bar{Q}_2$$

$$J_C = A\bar{B} + BQ_2 + \bar{B}Q_1$$

$$K_C = A\bar{B}Q_1$$

Simulación de arranque en Estrella.

Condiciones: $Q_1=1$, $Q_2=0$, $Q_3=0$, $Q_4=0$ y $Q_5=X$

ESTADO ACTUAL			F.F.A		F.F.B		F.F.C		ESTADO SIGUIENTE		
A	B	C	J	K	J	K	J	K	A	B	C
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	X	0	0	0	1

Simulación de arranque en Delta.

Condiciones: $Q_1=0$, $Q_2=1$, $Q_3=0$, $Q_4=0$ y $Q_5=X$

ESTADO ACTUAL			F.F.A		F.F.B		F.F.C		ESTADO SIGUIENTE		
A	B	C	J	K	J	K	J	K	A	B	C
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	X	0	0	X	0	0	1	1

Simulación de un arranque automático estrella-delta.

Condiciones: $Q_1=0$, $Q_2=0$, $Q_3=1$, $Q_4=0$ y Q_5 de 1 a 0.

ESTADO ACTUAL			F.F.A		F.F.B		F.F.C		ESTADO SIGUIENTE		
A	B	C	J	K	J	K	J	K	A	B	C

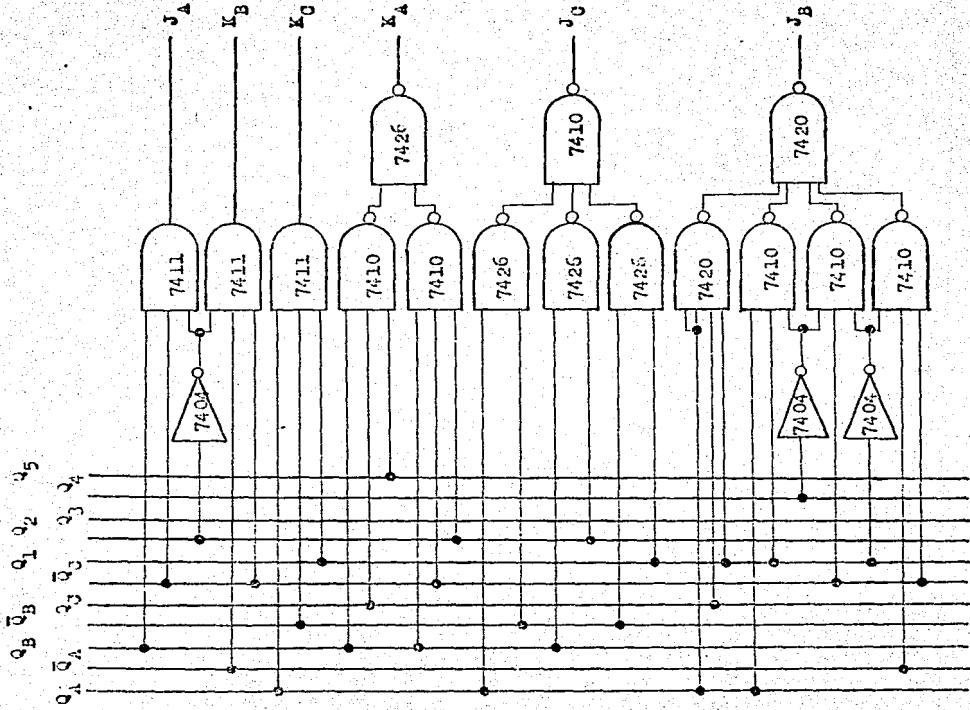
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1

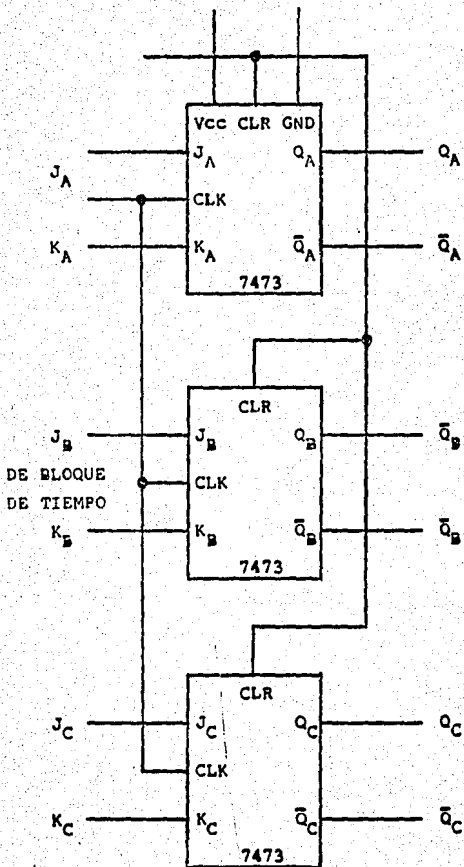
Simulación de un arranque manual estrella-delta.

Condiciones: $Q_1=0$, $Q_2=0$, $Q_3=0$, $Q_4=1$ y $Q_5=X$

ESTADO ACTUAL			F.F.A		F.F.B		F.F.C		ESTADO SIGUIENTE		
A	B	C	J	C	J	C	J	C	A	B	C
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0
1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1

Desarrollo del circuito del diagrama de flujo.





Decodificación de los estados del diagrama de flujo.

SALIDAS USADAS DEL CI 74LS138				ESTRELLA	DELTA
Y_1	Y_3	Y_6	Y_7		
0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0

MAPA de Karnaugh y función minimizada para ESTRELLA.

		$Y_1 Y_3$			
		00	01	11	10
$Y_6 Y_7$	00	X	X	X	X
	01	X	X	1	X
	11	X	1	0	0
	10	X	X	1	X

$$Y = \bar{Y}_7 + \bar{Y}_1 + \bar{Y}_6$$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para DELTA.

		$Y_1 Y_3$			
		00	01	11	10
$Y_6 Y_7$	00	X	X	X	X
	01	X	X	0	X
	11	X	0	0	1
	10	X	X	0	X

$$\text{DELTA} = \bar{Y}_3$$

d).- Circuitos externos al diagrama de flujo.

La parte que significa el mando de la operación en lo que se refiere a excitación del diagrama de flujo, junto con otras que representan los momentos del cambio de decisión, así como la que proporciona el suministro de energía a todo el sistema completo, es lo que se cubre en esta parte.

Primeramente se diseña el bloque que genera las condiciones para seguir un camino, formado por un circuito contador con dos flip-flops JK, cuya salida es la entrada a un codificador formado con compuertas AND, que producen Q_1, Q_2, Q_3 y Q_4 a su salida.

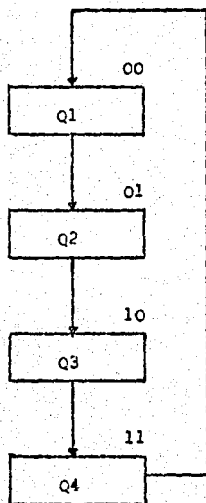
Posteriormente se diseña el circuito de tiempo tanto para el diagrama de flujo, como para el que interviene en el lapso ocurrido entre un cambio de estrella a delta, cuando la opción de operación automática ha sido elegida.

Una vez terminados los bloques anteriores, finalmente se hace el circuito que produce el arranque cuando la opción ya es una. Como todo circuito electrónico, cuando todo ha sido definido, solo queda crear la fuente de alimentación que proporcione de manera adecuada la energía suficiente para que todo el circuito funcione.

Opciones.

El sistema cuenta con cuatro opciones: arranque en estrella, arranque en delta, arranque estrella-delta manual y arranque estrella-delta automático. Cada opción es identificada por uno de cuatro estados posibles con la combinación de dos flip-flops JK, y el cambio de uno de los estados hacia el otro es por medio de un botón normalmente ---abierto, conectado a la entrada CLOCK de los flip-flops. - La secuencia de los estados es 00, 01, 10, 11, 00,

El diagrama de estados es el siguiente:



El desarrollo de cada una de las entradas a los flip-flops por medio de mapas de Karnaugh, son obtenidas a partir de la siguiente tabla de verdad, otra forma de expresar el diagrama de flujo anterior.

ESTADO ACTUAL		ESTADO SIGUIENTE		JA	KA	JB	KB
A	B	A	B				
0	0	0	1	0	X	1	X
0	1	1	0	1	X	X	1
1	0	1	1	X	0	1	X
1	1	0	0	X	1	X	1

Mapa de Karnaugh y función minimizada para J_A .

		A	
		0	1
B	0	0	X
	1	1	X

$$J_A = B$$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para K_A .

		A	
		0	1
B	0	X	0
	1	X	1

$$K_A = B$$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para J_B .

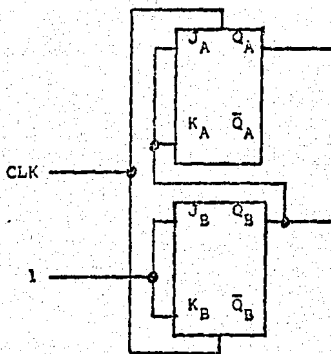
		A	
		0	1
B	0	1	1
	1	X	X

$$J_B = 1$$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para K_B .

		A	
		0	1
B	0	X	X
	1	1	1

$$J_B = 1$$



Conclusión de funciones.

$$J_A = B$$

$$K_A = B$$

$$J_B = 1$$

$$K_B = 1$$

Simulación de funciones.

ESTADO ACTUAL		F.F.A		F.F.B		ESTADO SIGUIENTE	
A	B	J	K	J	K	A	B
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0

Decodificación binario-decimal.

A	B	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
0	0	1	0	0	0

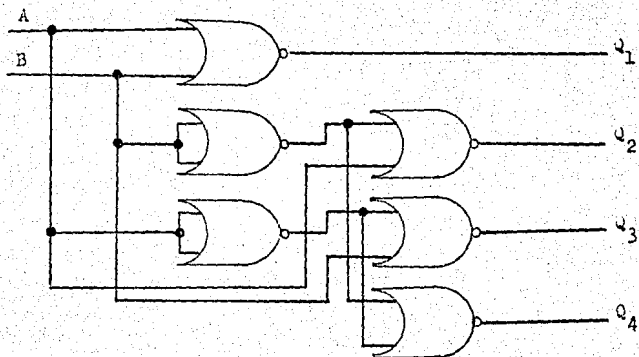
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

$$Q_1 = \overline{A\overline{B}} = A + \overline{B}$$

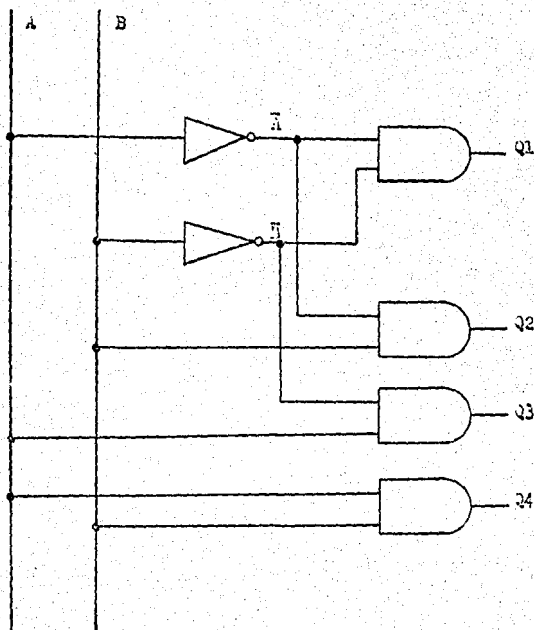
$$Q_2 = \overline{A\overline{B}} = \overline{A\overline{B}} = A + \overline{B}$$

$$Q_3 = \overline{A\overline{B}} = \overline{A\overline{B}} = A + \overline{B}$$

$$Q_4 = \overline{A\overline{B}} = \overline{A\overline{B}} = A + \overline{B}$$

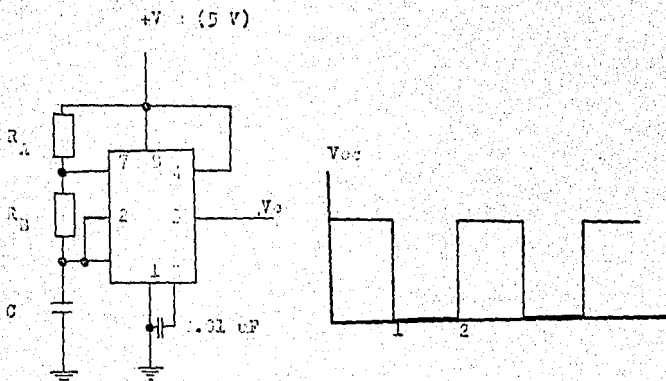


La posibilidad de desarrollar las funciones usando compuertas simples, no altera el número de compuertas usadas. Sin embargo, sí abre la posibilidad de utilizar compuertas sobrantes en circuitos anteriores. En seguida se ilustra el diagrama usando compuertas simples.



Circuito de tiempo para el diagrama de flujo.

El circuito de reloj correspondiente a la excitación del diagrama de flujo, se elaboró usando un circuito integrado 555 (multibrivador estable). Las ecuaciones empleadas para la frecuencia de oscilación, corresponden a las del autor Soytestad Mashelsky del libro Electrónica teoría de circuitos página 51; los valores empleados para el circuito son: $R_A=1590$ ohms, $R_B=100$ ohms (ambos de 1.5 kilohms nominales) y una $C=1$ uF.



$$T_{alto} = 0.7(R_A + R_B)C$$

$$T_{alto} = 0.7(1590 + 100) \times 10^{-6}$$

$$T_{alto} = 223.3 \text{ microsegundos (1).}$$

$$T_{bajo} = 0.7R_B C$$

$$T_{bajo} = 0.7 \times 100 \times 10^{-6}$$

$$T_{bajo} = 112 \text{ microsegundos (2-1).}$$

$$\text{Periodo} = T_{alto} + T_{bajo} = 223.3 \text{ useg.} + 112 \text{ useg.}$$

$$\text{Periodo} = 335.3 \text{ useg.}$$

$$\text{Frecuencia} = 1/\text{Periodo} = 1/335.3 \text{ usegundos.}$$

$$\text{Frecuencia} = 2.98 \text{ KHZ.}$$

Circuito de tiempo para el lapso ocurrido entre el arranque estrella y el cambio a delta automático.

Esta parte del circuito está formada por tres bloques: cada uno de los cuales desempeña un papel distinto: circuito de reloj, contador de secuencia 0,1,2,3,... y un comparador de palabras.

El circuito de reloj es el mismo que se usó para el diagrama de flujo, salvo con la diferencia de los valores para cumplir con otra frecuencia diferente. Usando las mismas expresiones y tomando exactamente el mismo esquema los siguientes valores fueron los que se emplearon para determinar la frecuencia a la que debe oscilar.

$R_A = 97.3$ Kiloohms (10000 ohms nominales).

$R_B = 18$ Kiloohms (20000 ohms nominales).

$C = 10$ uF.

$T_A = 1.983$ segundos.

$T_B = 1.302$ segundos.

Periodo = 3.285 segundos.

Frecuencia = 0.304405 HZ.

El contador al que va conectada la salida del circuito de reloj anterior funciona con dos flip-flops JK, e interconectados de manera que la secuencia de conteo no regrese a cero, sino que se quede en el último estado. La razón de hacer esto así, es para poder conocer una vez iniciada la secuencia de arranque automático, en qué momento se hace o si ya se hizo el cambio. De otra manera, habiendo sucedido sin haberlo presenciado, habría incertidumbre de éste, ya que el contador volvería a comenzar en cero; esto se apreciaría así, ya que el conteo es monitoreado por dos DELS (diodos emisores de luz), aunque una vez hecha la operación no afecte el estado en que se haya quedado.

La tabla de verdad junto con los mapas de Karnaugh y las funciones minimizadas de este contador, son las siguientes:

ESTADO ACTUAL		ESTADO SIGUIENTE		F.F.A		F.F.B	
A	B	A	B	J	K	J	K
0	0	0	1	0	X	1	X
0	1	1	0	1	X	X	1
1	0	1	1	X	0	1	X
1	1	1	1	X	0	X	0

Mapa de Karnaugh y función minimizada para J_A .

A		B	
		0	1
0		0	X
1		1	X

$J_A = B$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para K_A .

A		B	
		0	1
0		X	0
1		X	0

$K_A = 0$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para J_B .

A		B	
		0	1
0		1	1
1		X	X

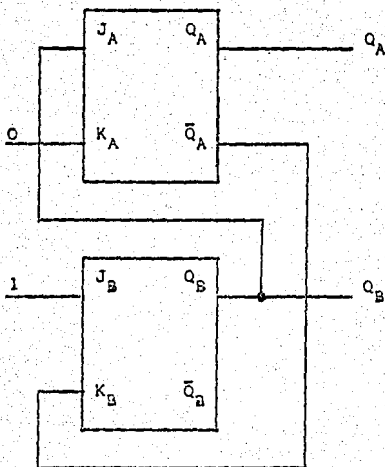
$J_B = 1$

Mapa de Karnaugh y función minimizada para K_B .

		A	
	B	0	1
0		X	X
1		1	0

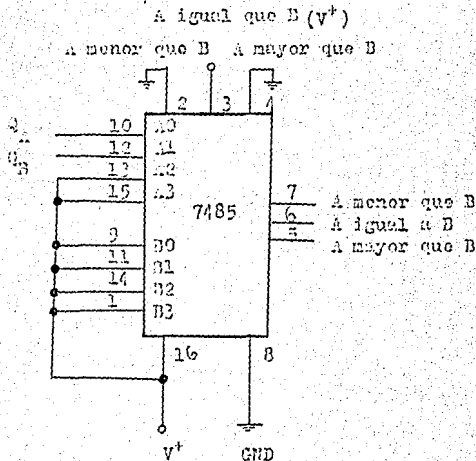
$$K_B = \bar{A}$$

El circuito correspondiente es el siguiente:



La última etapa de esta parte, es un comparador de palabras de 4 bits (puede comparar cualquier cantidad en BCD, siempre que se conecten en serie los CI), cuya entrada es la salida del contador anterior. Cuando el contador llega a 11, la salida $A=B$ pasa a 1, siendo esta señal Q_5 en el diagrama de flujo. El CI usado fue el 7485, cuya forma de conectar se muestra en el siguiente diagrama.

Diagrama de conexiones para el comparador de palabras, acoplado a la salida del contador previo, para incrementar el tiempo de cambio en tres veces.



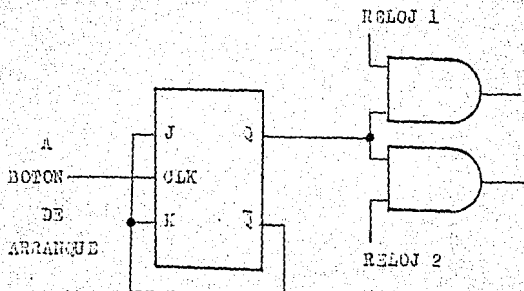
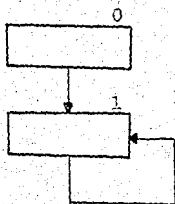
Cuando A es igual a B, Q_5 es 1.

El circuito de arranque está formado por un flip-flop JK, y dos compuertas AND. Cuando el flip-flop cambia a 1, - la salida de ambas compuertas son las señales de los dos relojes ya diseñados. De esta manera, cuando se excita la entrada clock del flip-flop, el diagrama de flujo es activado para comenzar a cambiar de estados.

El cambio de estado es definitivo para evitar problema de rebote con el botón que se usa para arrancarlo.

ESTADO ACTUAL	ESTADO SIGUIENTE	J_A	K_A
0	1	1	X
1	1	X	0

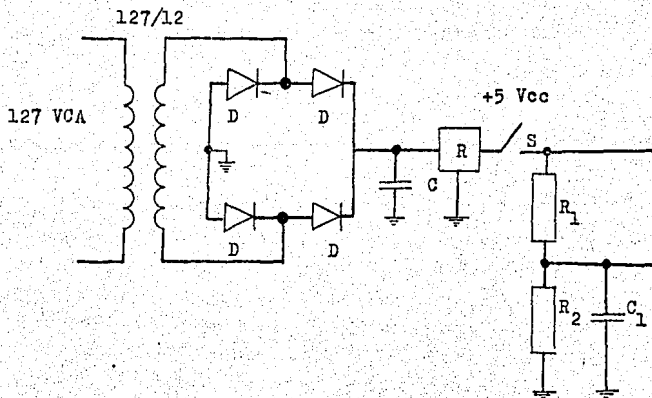
DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ARRANQUE



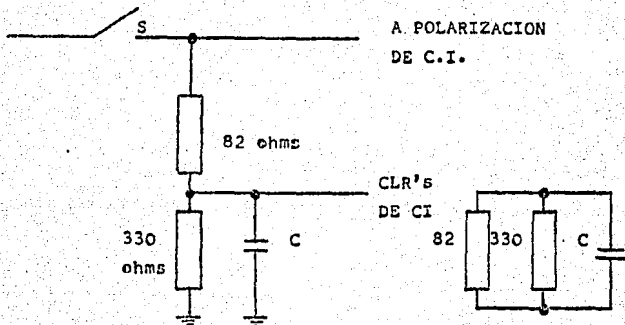
Fuente general de alimentación.

La fuente de energía está formada por un transformador de relación 127/12, un circuito puente de rectificación con un capacitor para alisar la onda rectificada por los diodos, un regulador de voltaje de corriente directa y un circuito RC, para pasar el estado de todos los F.F. a 0 (cero lógico), cuando el interruptor S se cierra.

Cuando el interruptor S se abre la operación se cancela y el capacitor de la red RC se descarga, estando listo para nuevamente ser cargado en otra operación de arranque.



Red RC.



$$Req. = (82 \times 330) / (82 + 330) = 65.68$$

Respuesta transitoria.

$$Vc(t) = Ae^{-t/65.68C}$$

Respuesta permanente.

$$Vc = (330 \times 5) / (330 + 82) = 4.005 \text{ volts.}$$

$Vc(t) = 4.005(1 - e^{-t/65.68C})$ que es la respuesta total de la red RC.

C(uF)	t(seg.)	V(volts)
.01	1E-6	3.131
.01	.5E-6	2.134
.01	.4E-6	1.827

De acuerdo a la tabulación anterior, hasta .4 useg - aún se está a un voltaje muy bajo, para considerarlo como un 1 lógico, por lo que comparando este valor con los 25-nanosegundos necesarios para lograr un borrado según el - fabricante, teóricamente con una capacitancia de .01 uF - se logra un borrado bueno. El capacitor usado para el modelo físico sin embargo, fue no de .01 uF sino de 10 uF.

e).- Interfaz para carga.

El manejo de voltajes lógicos para lograr una acción de control, no tiene sentido cuando se pretenden manejar cargas de una cierta potencia y/o además estas usan corriente alterna.

El motivo de la presente sección es ilustrar la forma como se acopló la etapa de control en corriente directa, y la etapa de carga en corriente alterna. El circuito consta de un optoacoplador (un diodo y un triac) y un triac. Las ejecuciones son propiciadas por la corriente que circula por el diodo, que es alimentado con señales lógicas, controlando la cantidad de corriente por medio de resistencias. Cuando el pequeño triac dentro del paquete que forma el optoacoplador es cebado por la presencia de corriente en el diodo, el triac acoplado en serie a la carga también es cebado por la misma onda de voltaje de corriente alterna. De esta manera, mientras exista corriente en el diodo el cebado del triac será automáticamente realizado para las dos partes del ciclo de la onda de corriente alterna.

Dentro de las pruebas realizadas con el optoacoplador pude determinar que para corrientes inferiores a 5 mA CD a través del diodo, se puede controlar el ángulo de disparo del optotriac, logrando operaciones de control sobre un triac de potencia. Usando entre 10 y 50 mA (valor máximo permitido por el fabricante) se pueden lograr operaciones de apagado y encendido correctamente, para ambas partes del ciclo, despreciando la pequeña caída en terminales principales del triac. Basado en las pruebas y resultados de este circuito, realizo el segundo capítulo, que controla precisamente momentos de disparo.

Como primera parte de este tema, se presentarán los resultados de una serie de pruebas hechas al optoacoplador,

para posteriormente poder definir la forma del circuito. En realidad, antes de hacer cualquier tipo de mediciones sobre el C.I. MOC3011, la idea de unir un optoacoplador a un triac de potencia para poder autocebarlo, se probó con una carga resistiva (una lámpara incandescente de 127 VCA), origen de la idea de la combinación.

Dentro de los resultados más importantes de estas pruebas, se encuentra el rango dentro del que se debe mantener la corriente a través del optodiodo, para lograr un control del ángulo de disparo del optotriac, y automáticamente, sobre el ángulo de disparo del triac de potencia al que se encuentra acoplado.

Como se verá posteriormente, para valores arriba de 5 miliamperes, puede ser usado como interruptor, es decir, cuando por el optodiodo del circuito integrado se encuentran circulando arriba de 5 mA, sólo se aprecia una caída de voltaje en terminales principales, en tanto que manteniéndose por abajo de este valor, se puede controlar perfectamente el ángulo de disparo del optoacoplador.

Estos resultados no son de tanta importancia como para el siguiente capítulo, ya que los miliamperes que circulan por el diodo estuvieron muy por encima de este valor, cuando lo que accionaba era una bobina de un arrancador electromecánico (127 VCA), y donde el efecto de control sobre los ángulos de disparo y conducción del triac de potencia era completamente nulo, ya que se pretendía para este caso, entregar una forma de onda lo más senoidalmente posible.

Circuito de prueba para obtener comportamiento del CI optoacoplador MOC3011.

El siguiente circuito fue el desarrollado para sacar los ángulos de disparo del optotriac, para una fuente de alimentación monofásica (pruebas hechas a 110 VCA). El hecho de usar una fuente precisamente monofásica, no significa que el circuito pueda ser usado para mayores voltajes; en realidad el optoacoplador y específicamente el triac del paquete integrado, puede bloquear hasta 220 VCA según el fabricante; esto sin embargo, no limita el circuito hasta 220 VCA, sino para voltajes más altos aún, pueden ser conectados los optoacopladores en serie para poder controlar otro modelo. La siguiente lista es de los resistores usados para las pruebas.

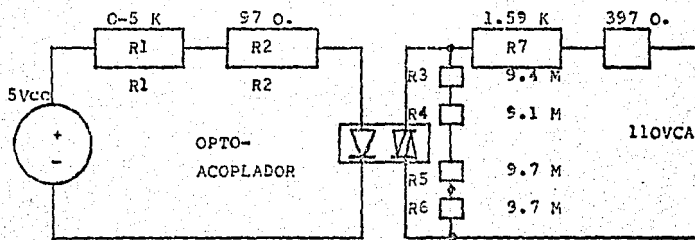
	RESISTENCIA IDEALES.	CAPACIDAD.	RESISTENCIA MEDIDA	TOL(%)
R1	0-5 KILOOHMS	0.5 W	0-5 KILOOHMS	
R2	100 OHMS	0.5 W	97 OHMS	5 %
R3	10 MEGAOHMS	0.5 W	9.4 MEGAOHMS	10 %
R4	10 MEGAOHMS	0.5 W	9.1 MEGAOHMS	10 %
R5	10 MEGAOHMS	0.5 W	9.7 MEGAOHMS	10 %
R6	10 MEGAOHMS	0.5 W	9.7 MEGAOHMS	10 %
R7	1.5 KILOOHMS	50.0 W	1.59 KILOOHMS	10 %

Antes de elegir cada uno de los valores anteriores, hubo cierta aproximación previo cálculo. Las resistencias de 10 Megaohms conectadas en paralelo a las terminales principales del triac integrado, sirvieron como elementos de medición, en el sentido de que la onda de 110 VCA, se repartiera equitativamente en estas resistencias. La finalidad fue tener puntos entre los cuales se pudieran tomar lecturas inferiores a 110 VCA efectivos, para poder ver -

la forma de onda en un osciloscopio. La magnitud de la forma leída para cada prueba no significó mucho, ya que lo que se buscaba era ver los ángulos de disparo, claro para una fuente monofásica de sesenta hertz. De esta manera, cuando en el triac integrado sucedía un corte, en cualquiera de las cuatro resistencias de 10 megaohms conectadas en serie a las terminales de éste, se detectaba, y automáticamente, se veía el ángulo de corte del triac integrado.

La resistencia que aparece a la derecha del diagrama, es la representación de una lámpara incandescente de 40W/125 VCA; estos valores nominales proporcionan un valor de resistencia de 390.25 ohms también nominales, y el valor medido fue de 397 ohms a temperatura ambiente.

El circuito que aparece en la siguiente figura, es el que se usó para determinar por medio de un osciloscopio, el ángulo de disparo del triac integrado para diferentes corrientes circulando por el diodo, también integrado.



El punto indicado entre las resistencias R5 y R6, es el punto de prueba elegido para el osciloscopio; el punto común del osciloscopio fue colocado al final de R6, o sea a MT2 del optotriac.

Resultados obtenidos del circuito de Prueba Previo.

I-diodo (mA)	Angulo disparo (+)	Angulo disparo (-)
3.1	NO HUBO	NO HUBO
3.2	68.4 grados	NO HUBO
3.3	54.0 grados	NO HUBO
3.4	43.2 grados	NO HUBO
3.5	43.2 grados	270.0 grados.
3.6	39.2 grados	237.6 grados
3.7	32.4 grados	223.2 grados
3.8	28.8 grados	219.6 grados
3.9	25.2 grados	212.4 grados
4.0	21.6 grados	208.8 grados
4.1	21.6 grados	208.8 grados
4.2	18.0 grados	205.2 grados
4.3	14.4 grados	198.0 grados
4.4	14.4 grados	195.0 grados
4.5	13.2 grados	194.4 grados
4.6	12.6 grados	191.0 grados
4.7	7.2 grados	190.8 grados
4.8	7.0 grados	187.0 grados
4.9	6.8 grados	187.0 grados
5.0	1.5 grados	183.0 grados

Una vez determinados los valores anteriores se pueden enunciar a manera de conclusión los siguientes renglones:

Es seguro que se pueden planear muchos y mejores circuitos para obtener la tabla anterior, que contemplen muchos otros puntos importantes no considerados aquí. Por ejemplo, se pudieron haber usado intervalos de corriente -

más pequeños; se pudo haber construido una etapa de altísima impedancia para acoplar los puntos de prueba con los aparatos de medición, o en vez de usar una lámpara incandescente, una carga más estable a cambios con la temperatura, etcétera.

Sin embargo, lo que intento no es fijar o establecer la mejor forma de poder hacerlo, pretendo encontrar una justificación de la manera como se usó el CI MOC3011. Para este capítulo es importante una corriente superior o por lo menos igual a 5 mA, para hacer que el circuito integrado trabaje como interruptor; la razón es simple: se trabaja una bobina de corriente alterna a 127 VCA, con la onda completa, para hacer funcionar un arrancador electro-mecánico.

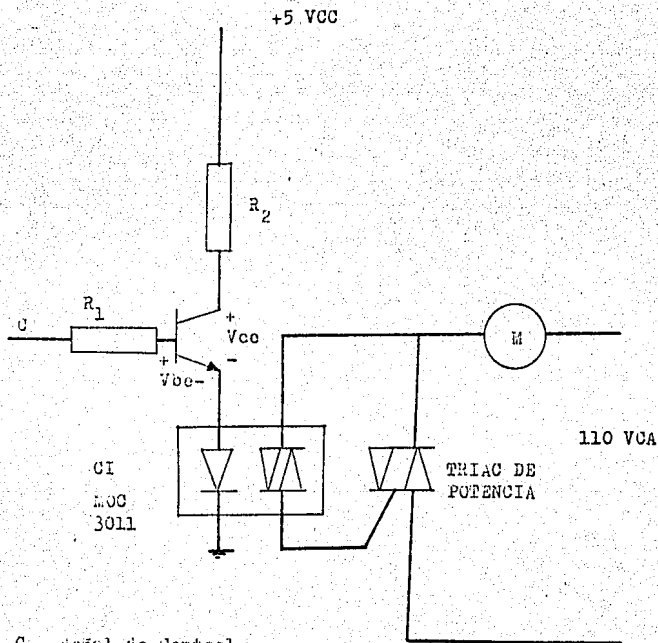
La corriente usada para drenar el traic integrado se determina en la siguiente sección.

Circuito Final de Acoplo.

El circuito final de acoplo está formado por todos aquellos elementos localizados entre el circuito de control y la carga. En esta sección se muestra el circuito - interfaz incluyendo cálculos y dibujos.

Como se podrá ver, todos los valores de la tabla previa no significan para este capítulo, sino sólo una idea de la cantidad mínima de corriente necesaria. En realidad la corriente usada fue muy superior a esta cantidad mínima y mas bien se acercó a la cantidad máxima permitida -- por el fabricante (50 mA por el diodo integrado).

Diagrama general de Acoplo.



C Señal de Control.

R_1 Resistencia limitadora de corriente.

R_2 Resistencia limitadora de corriente.

M Bobina de arrancador electromecánico.

MOC

3011 Circuito integrado optoaislador.

Cálculos y Resultados.

RESISTENCIA	TOLERANCIA	LECTURA REAL
$R_1 = 5$ Kiloohms.	+/-10 %	4700 ohms.
$R_2 = 100$ ohms.	+/-10 %	101 ohms.

TRANSISTOR

$V_{ce} = 0.5$ volts.

$V_{be} = 0.7$ volts.

$V(\text{diodo integrado}) = 0.57$ volts.

CALCULO APROXIMADO

$I_b = (5 - 0.7 - 0.57) / 4700 = 793.6 \mu A.$

$I_c = (5 - 0.5 - 0.57) / 101 = 38.91 \mu A.$

Los voltajes en el transistor, así como en el diodo integrado, fueron medidos; por el contrario, ninguna de las 2 corrientes fue medida, ambas fueron calculadas solamente.

Como puede observarse en el diagrama anterior, la señal lógica de control (C) proporciona la corriente de base necesaria para saturar el transistor, que hace cuando esto sucede, que una corriente aún mayor logre circular a través del diodo integrado. Esta corriente constante, produce que el triac también integrado se ceba para ambas partes del ciclo de corriente alterna, casi a un ángulo de disparo cero. Esto causa un cebado prácticamente a un ángulo cero del triac de potencia, trabajando como si fuera un interuptor de la corriente alterna a la bobina B.

Una observación hecha durante esta prueba fue la siguiente: cuando la señal de control desaparecía una vez activada, la bobina M seguía energizada; cambiando el triac de potencia por otro de las mismas características comerciales, el problema desaparecía. Es decir, cuando la señal

de control C cae a cero lógico la bobina se desenergizaba.

La conclusión de lo anterior es la siguiente; cuando la señal lógica desaparece, es necesario que la fuente de voltaje alterno pase por cero para que la corriente por el gatillo del triac de potencia sea cero. En realidad no necesariamente debe pasar por cero sino poco antes, ya que se trata de una carga inductiva predominantemente. Esto -- provee que el antichato continúe hasta que la bobina Mse desenergiza completamente, lo cual no ocurre debido a -- que el tiempo de descarga es mayor al tiempo que se requiere para que la onda de corriente alterna logre mantener -- nuevamente la corriente de mantenimiento necesaria.

Además se pudo observar la diferencia en las características de dos triacs comercialmente idénticos para una misma carga.

La elección adecuada de una red RC en terminales principales del triac de potencia elimina por completo este -- problema para triacs idénticos comercialmente hablando.

Una forma de hacerlo sería buscando la combinación RC adecuada, para lograr en un tiempo inferior al tiempo que necesita la onda de corriente alterna para mantener una corriente de mantenimiento, que la bobina Mse desenergice casi totalmente.

La red RC debe además comprender la rapidez con que la corriente pasa por el triac, no debiendo ser superior a la máxima rapidez permitida por el fabricante para evitarlo.

C A P I T U L O II

A R R A N Q U E G R A D U A L.

a).- Introducción.

Sobre la base del valor efectivo de una onda senoidal como una función matemática del área comprendida dentro -- del contorno de la onda, se me ocurre proponer en este capítulo una forma de hacer variar el área en forma ascendente en un tiempo definido, usando el circuito del capítulo anterior que se acopla a la parte de potencia.

Sin embargo, posiblemente esta forma de onda aplicada al motor en el transcurso del arranque, no sea la más adecuada, ya sea por no cumplir con los requerimientos del -- par o consumo de corriente en ese tiempo (dos cosas que se buscan eficientar con el arranque gradual).

El objetivo de este capítulo, es proponer un modelo ficticio sin demostración práctica, que permita visualizar una forma de aplicación de señales lógicas de control, para controlar el consumo de energía de un motor de corriente alterna rotor jaula de ardilla durante el arranque, con consumo limitado exclusivamente por la capacidad de los triacs comerciales, sin eludir la posibilidad de una mejora en la forma de onda generada, limitada única y exclusivamente -- por un circuito de control digital.

La razón de proponer un modelo ficticio sin demostración práctica se basa en tres motivos fundamentales a juicio personal:

- La finalidad de esta tesis es proponer una forma de controlar un triac de potencia usando un optoacoplador, no limitado por la cantidad de potencia consumida por el motor.

- Por el coste que representa la investigación.

- Por carecer del conocimiento suficiente como para poder determinar la aplicación de la onda más adecuada (posiblemente otro tema de tesis).

Hay dos aspectos hasta este momento remarcados en los párrafos anteriores, que resumidos se podrían mencionar de la siguiente manera:

- a) El optoacoplador no se va a ver limitado por la cantidad de potencia consumida por el motor.
- b) Un circuito digital puede controlar la forma de onda.

Basado en los dos puntos anteriores, creo existen muchas posibilidades, dada la prácticamente ilimitada aplicación de circuitos digitales, simples o tan complejos como el uso de una computadora, desde donde se podrían analizar por medio de series de Fourier, las formas de onda más eficientes para el arranque; así, de una manera bastante simple para el usuario, éste podría alimentar los datos del motor desde el teclado y la computadora se encargaría de la serie de cálculos para eficientar el arranque.

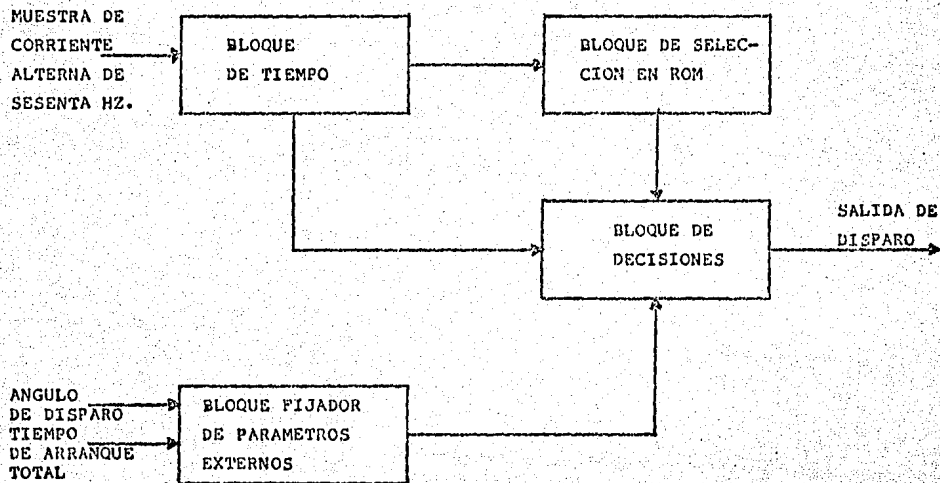
b).- Descripción general.

El siguiente diagrama representa una posible forma de un circuito de control que actúa sobre el optoacoplador. La idea general, es proporcionar al circuito dos datos básicos y con éstos manipular la salida:

- a) El ángulo de disparo inicial (θ_0).
- b) El tiempo de arranque total (t_d).

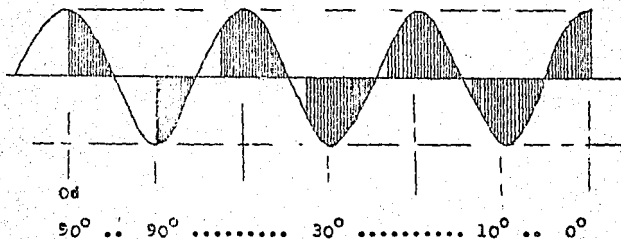
La manera en que se controla la forma de onda senoidal (una forma ficticia sin justificación, sin eludir la posibilidad de formas mucho más eficientes como expliqué en la introducción), consiste en iniciar al ángulo de disparo propuesto (θ_0), de manera que conforme vaya transcurriendo el tiempo, este ángulo se vaya reduciendo hasta llegar a 0° ; mientras esto sucede, el área comprendida dentro de la onda - - - - -

DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL



va creciendo hasta tener una forma senoidal completa, --- precisamente cuando $\alpha_d=0^\circ$, en el tiempo proporcionado t_d .

Gráficamente esto se vería a manera de ejemplo así:- supongamos un $\alpha_d=90^\circ$ y $t_d=10$ segundos haciendo caso omiso de la frecuencia (sólo para ejemplificar).



Osg..... 10 sg.

Nota: La parte rayada es la onda en formación.

Cada ciertos ciclos la onda se recorre en cierta cantidad de grados, hasta que la onda senoidal se forma completamente.

El diagrama consiste en cuatro bloques principales:- un bloque de tiempo, cuya salida va hacia el bloque de selección en ROM y al bloque de decisiones.

La entrada al bloque de tiempo, consiste en una muestra de corriente alterna de sesenta hertz en sincronía con la fuente que alimenta al motor. El bloque fijador de parámetros externos tiene como entradas los parámetros físicos deseados α_d y t_d explicados anteriormente, cuya salida va al bloque de direcciones.

El bloque de decisiones es el punto final de todos los bloques, y en donde se decide el momento del brinco de la onda hacia un ángulo de disparo menor al original - conforme pasa el tiempo.

c).- Diagrama de Bloques.

BLOQUE DE TIEMPO.

El bloque de tiempo consiste en dos bloques más pequeños. El primero de ellos recibe una muestra de corriente alterna de sesenta hertz en sincronía con la fuente que alimenta al motor.

Este bloque como lo indica la figura convierte la forma de onda senoidal a una forma cuadrada y elimina el semiciclo negativo. El segundo bloque multiplica esta forma de onda cuadrada por trescientos sesenta. La finalidad de éstos es lograr una señal de reloj que proporcione 360 pulsos en $1/60$ de segundo o por ciclo completo de la onda senoidal, de manera que por cada grado de ésta, haya o coincida con cada pulso de la señal de reloj.

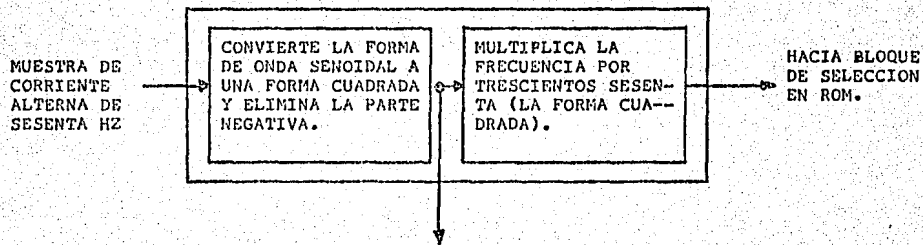
BLOQUE DE SELECCION EN ROM.

El bloque de selección en ROM consta de tres bloques más pequeños: un contador, un decodificador y una memoria de sólo lectura (ROM). La salida del bloque de tiempo, una señal de reloj de 60×360 ciclos por segundo entra directamente al contador. El decodificador (segundo bloque) direcciona una localidad en la ROM, previamente grabada.

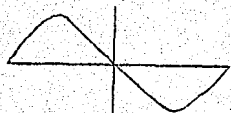
En esta memoria estarán grabadas 180 palabras, cada una de las cuales identificará los 180 grados de un semiciclo. Cuando ocurra un ciclo completo de la onda senoidal ocurrirán 360 ciclos de la señal de reloj; así, en el comienzo del semiciclo negativo se direccionarán las mismas localidades de memoria que se direccionaron en el semiciclo positivo.

De esta manera se estarán muestreando 180 palabras-

BLOQUE DE TIEMPO

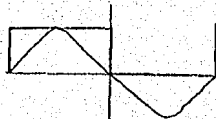


SENOIDAL
SESENTA HZ.



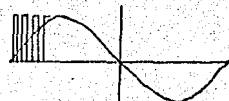
FORMA DE ONDA DE ENTRADA

CUADRADA
SESENTA HZ.



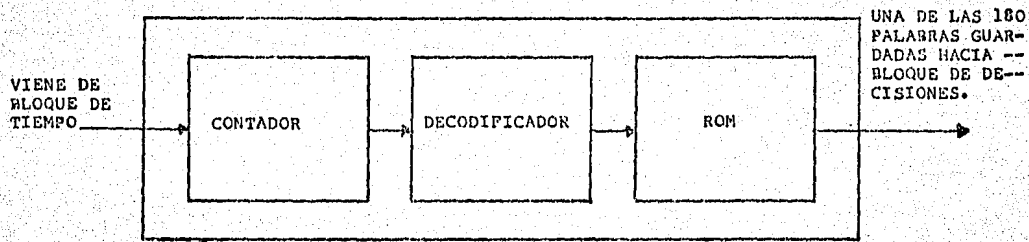
FORMA DE ONDA INTERMEDIA

CUADRADA
TRESCIENTOS SESENTA
POR SESENTA HZ.



FORMA DE ONDA DE SALIDA

BLOQUE DE SELECCION EN ROM



cada un ciento veintiavo de segundo ($1/120$ seg.) y las -
 marmas 180 palabras en el otro ciento veintiavo de segun-
 do, que forman el ciclo completo de la onda senoidal a -
 la salida de la ROM.

BLOQUE FIJADOR DE PARAMETROS EXTERNOS.

El bloque fijador de parámetros externos consiste -
 en 5 bloques más pequeños. La función principal de este-
 bloque es almacenar y procesar la información externa --
 que decidirá la forma de arranque. Ambos parámetros son-
 proporcionados al sistema, codificados y registrados por
 medio de los codificadores y registros dentro del bloque.

El bloque que procesa los parámetros externos, pro-
 porciona el número de ciclos que debe mantenerse la onda
 en una misma posición, antes de brincar a un nivel de me-
 nores grados.

Así, para un t_d de arranque a un O_d inicial, el blo-
 que operativo debe determinar el número de veces en que
 la onda debe permanecer sin cambio alguno, de manera que
 en el O_d se logre la onda senoidal completa; t_d/O_d es la
 velocidad con que la onda debe irse formando para lograr
 el objetivo. Como la velocidad está dada en segundos/gra-
 do y en cada segundo ocurren sesenta ciclos, sesenta x
 t_d/O_d , dará el número de brincos o ciclos en que la onda
 permanece en una misma posición.

Por ejemplo: si se desea que el motor arranque a 1°
 en un segundo, $SESENTA \times 1/1 = SESENTA$ o sea:

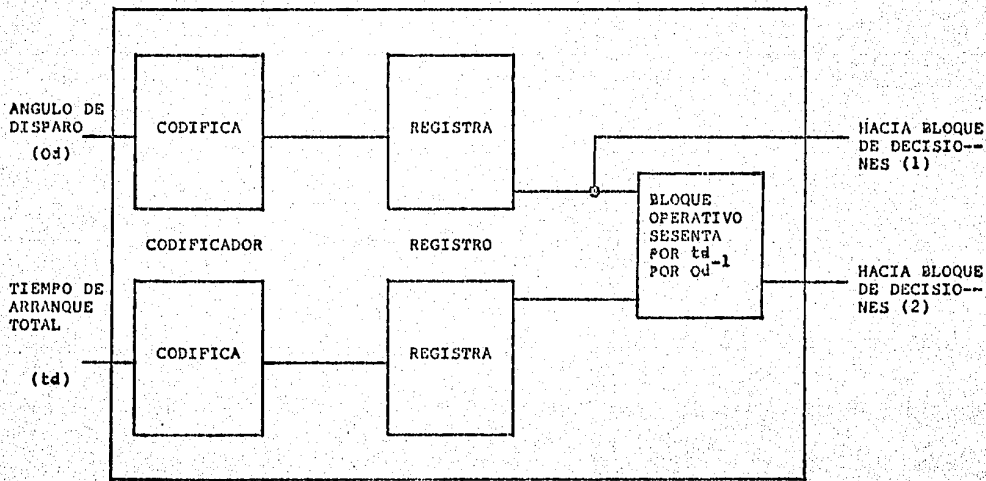
SESENTA CICLOS EN UN GRADO

Otro ejemplo: si se desea que el motor arranque a -
 2° en un segundo, $SESENTA \times 1/2 = TREINTA$ o sea:

TREINTA CICLOS EN DOS GRADOS Y

TREINTA CICLOS EN UN GRADO

BLOQUE FIJADOR DE PARAMETROS EXTERNOS



Otro ejemplo: si se desea que el motor arranque a 4° en un segundo, SESENTA X $1/4$ = QUINCE o sea:

QUINCE CICLOS EN CUATRO GRADOS,
 QUINCE CICLOS EN TRES GRADOS,
 QUINCE CICLOS EN DOS GRADOS Y
 QUINCE CICLOS EN UN GRADO.

Otro ejemplo: si se desea que el motor arranque a 20° en 10 segundos, SESENTA X $10/20$ = TREINTA o sea:

TREINTA CICLOS EN VEINTE GRADOS,
 TREINTA CICLOS EN DIECINUEVE GRADOS,
 TREINTA CICLOS EN DIECIOCHO GRADOS,
 .
 .
 .
 TREINTA CICLOS EN UN GRADO.

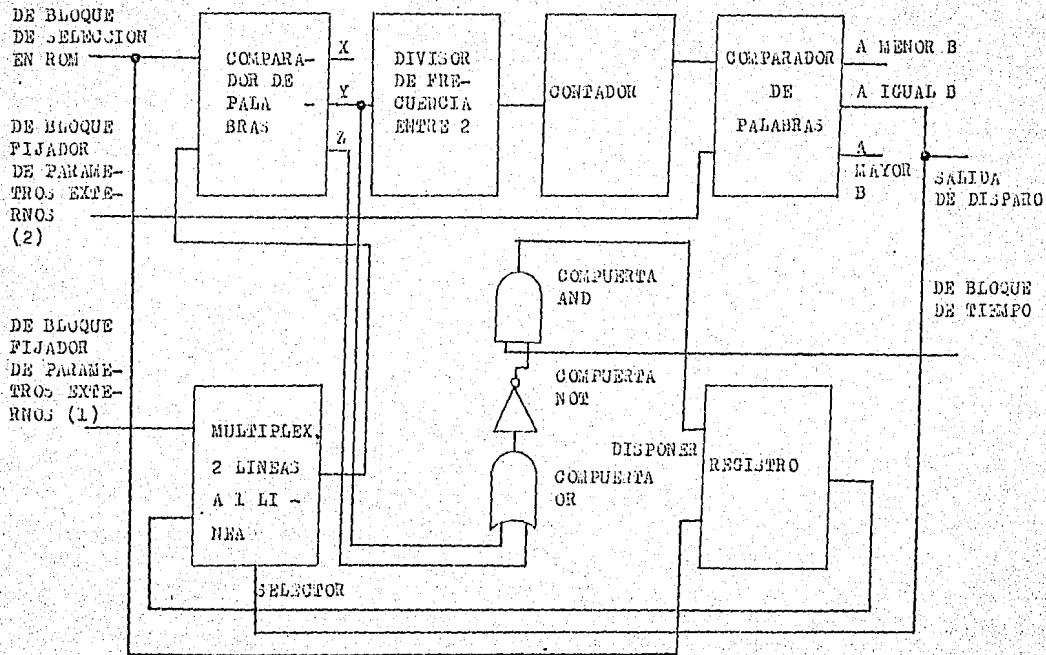
BLOQUE DE DECISIONES.

El bloque de decisiones consta a manera de ejemplificación de seis bloques más pequeños (CI) y de tres compuertas básicas, una AND, una OR y una NOT.

El bloque de decisiones va a recibir cuatro señales externas de los bloques anteriores y va a entregar única mente un pulso como salida.

La entrada del bloque de tiempo es una señal de reloj de sesenta X trescientos sesenta ciclos por segundo que permitirá disponer en cada pulso un dato de la ROM - cada vez que éste sea muestreado desde el bloque de selección en ROM, y solamente cuando la salida de la compuerta NOT sea 1 lógico, que es cuando la salida del primer comparador es mayor o igual a la comparada.

BLOQUE DE DECISIONES



El proceso es así:

a) Del bloque fijador de parámetros externos entra O_d a una de las líneas del multiplexor de 2×1 en la parte inferior del diagrama. El selector de este multiplexor dispone en un inicio a O_d como salida, y a una palabra de la ROM (línea 2) cuando el selector cambia de estado.

b) Comienza el rastreo en la ROM; se seleccionan 0^0 , 1^0 , 2^0 , ... O_d y cuando esto ocurre \underline{Y} cambia de estado y dejan de registrarse a partir de ese momento las palabras registradas en la ROM, y presentadas como posibles en el multiplexor 2×1 en la segunda línea; es decir, exactamente una palabra anterior a O_d es registrada y colocada como una posible en la línea dos.

c) Cuando $\underline{Y} = 1$ dos veces (dos rastreos), un contador emite un pulso y trata de comparar este valor con SESENTA $\times T_d/O_d$; de esta manera, cuando han ocurrido SESENTA $\times T_d/O_d$ pulsos calculados, la salida de disparo dispone la palabra siguiente seleccionada, que es un grado menor al último evaluado.

d).- CONCLUSIONES.

Una vez explicados los bloques que componen el circuito de control, cabe aclarar que simplemente se trata de una forma de lograr un control sobre el optoacoplador y no la única ni mucho menos la mejor. En esencia, el objetivo de este documento es justificar, de alguna manera que se podrían obtener buenos resultados sin limitaciones de la potencia manejada sobre el optoacoplador, más que aquella que el fabricante estipula en los dispositivos de potencia, en este caso los triacs.

He omitido dentro del proyecto una gran cantidad de cálculos y consideraciones, sobre la base de presentar, no un diseño, sino sencillamente una idea, que con cierta inversión de tiempo y capital podría ser realidad.

Todo el circuito de control se podría resumir de manera bastante sobrada (aún incluyendo muchas más funciones) con el uso del microprocesador, y mucho más aún por medio del uso de una computadora a través del puerto RS-232.

El seguimiento escogido, es en base a los resultados obtenidos en el capítulo I, en donde fue realidad el uso del optoacoplador. Básicamente me remití a cálculos muy sencillos y a pruebas de laboratorio. El tiempo invertido en observar el comportamiento del optoacoplador fue de aproximadamente 70 horas, y llevar a la realidad el primer capítulo 200 horas. En realidad antes de hacer las pruebas al optoacoplador el diseño funcionó sin problema alguno.

C A P I T U L O III

INTERFAZ PARA EL ARRANQUE GRADUAL.

a) Introducción.

El objetivo de este capítulo, es ver la forma en que se podrían usar los resultados del capítulo I, pero para este caso, cuando se trata de una carga trifásica. En esencia - se trata de lo mismo, sólo repetido tres veces.

El resultado de una propuesta para cargas trifásicas, del uso de la interfaz para arrancar la bobina de un arran- cador, como se presentó en el capítulo primero.

Para este caso, en vez de usar bobinas de arrancado-- res como cargas, la suposición es usar los debanados de un motor trifásico jaula de ardilla de una potencia teórica-- mente ilimitada, ya que el optoacoplador, que es la inter- faz, no se va a ver limitado por el consumo de corriente - del motor.

La única limitante para este caso, sería el tener --- triacs con la suficiente capacidad de potencia para alimen- tar la carga deseada.

Un aspecto que no tomé en cuenta para la bobina del - arrancador así como para este caso, fue el circuito supre- sor entre MT1 y MT2, como lo explica Timothy J. Maloney -- (P. 211 de Electrónica Industrial), "La razón de la necesi- dad de eliminar los aumentos rápidos de voltaje es que to- dos los triacs tienen un cierto valor de velocidad dv/dt , - el cual corresponde a la máxima velocidad de aumento de -- voltaje entre los terminales principales que puede sopor- tar. Si esta velocidad de aumento se excede, el triac pue- de accidentalmente pasar al estado de conducción aún cuan- do se ocurra señal de puerta".

El objetivo de esto es que estoy considerando que no- se va a presentar este caso, aunque debe tomarse en cuenta para un diseño real.

b).- Descripción general.

Reproducir un diagrama monofásico hacia un modelo -- trifásico idealmente resulta en el diagrama siguiente, -- donde únicamente se han agregado 2 fases más. Resulta bastante sencillo entender el funcionamiento, cuando se ha entendido como funciona la parte monofásica.

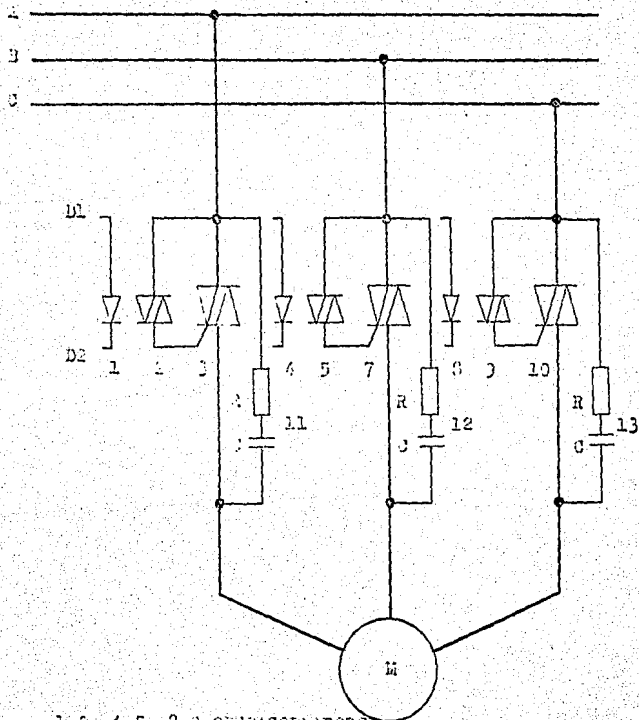
Sin embargo, no resulta sencillo entender cómo va a reaccionar el motor ante la forma de onda propuesta.

Básicamente el circuito de control del capítulo anterior se acoplaría a cada uno de los optoacopladores, conectados a las terminales de cada triac en cada una de -- las fases.

La diferencia en el circuito de control, sería que -- cada muestra de corriente alterna de sesenta hertz muestrada en fase con la fuente que alimentará el motor, corresponde a cada una de las fases, es decir, las muestras de sesenta hertz en fase con cada una de las fases, son -- tres.

El circuito del capítulo anterior es algo bastante -- sencillo que no considera muchos aspectos, uno de los cuales, es que para manejar tres fases debe tomarse en cuenta que los circuitos integrados no son iguales, incluso -- de iguales características comerciales, lo que significa, que cada uno de los optoacopladores deberá ser investigado en sus características.

Pese a lo anterior, en el circuito de control del capítulo dos, la forma de ejecutar el disparo en cada triac así como el tiempo o momento de ejecución, son una función de la onda senoidal, de manera que cuando la onda -- llega a un valor igual al registrado en una memoria ---- (ROM), ocurre el disparo; esta es una de las razones por las que escogí el circuito de esta manera; una manera más sofisticada sin embargo podría ser por ejemplo, ir gene--



1-2, 4-5, 3-3 TRIACOS CONTROLADOS.
 3-7-10 TRIACOS DE POTENCIA.
 11-12-13 RED RC SUPLENORA DE FICOS.
 D1-D2 A CONTROL DIGITAL.

rando la onda de otra manera, empleando el rango de corriente a que el diodo del optoacoplador puede someterse y en el cual el triac del paquete integrado se ceba a diferentes angulos.

Los resultados de esta prueba se muestran en el capítulo uno.

Mejores resultados aún se podrían obtener en las mejores de las formas de onda aplicadas en cada fase que alimenta al motor, usando dispositivos de potencia que pueden ser decebados en plena conducción; así por ejemplo, las formas que se podrían usar no tendrían límite, mas que aquellas que el motor puede permitir para lograr eficientar el arranque.

Insisto nuevamente en la posibilidad de controlar o reemplazar el circuito de control, por un dispositivo de control programable, donde la posibilidad, es prácticamente ilimitada, por la capacidad de funciones a ejecutar.

No he hablado en lo absoluto de partes que debe incluir el sistema, como protecciones comunes que un arrancador a tensión reducida actualmente tiene, hablando por ejemplo de un autotransformador, como son contra falla de fase, contra corto circuito, contra sobre voltaje, -- contra falla de las tres fases, etc.

Sin embargo pienso que resultaría más económico llevarlo a la realidad electrónicamente, por la gran posibilidad que el control digital ofrece. Me atrevo a pensar esto por la siguiente razón: el desarrollo del primer capítulo resultó un 30 % del costo que un arrancador comercial de las mismas características ofrecía; la diferencia era que el modelo electrónico no incluía módulo de protecciones, pero sí demasiadas funciones que sólo un modelo didáctico puede tener. Quiero decir, que mientras

el electrónico tenía partes de sobra y carecía de módulo de protecciones, este sobrante podría reemplazarse por - el módulo mas o menos, además de que fue hecho de manera discreta a precios de material comercial y no a precio - de producción en serie.

c).- Conclusiones.

El modelo presentado carece en su totalidad de una realidad inmediata. Es necesario para su realización un análisis más profundo que incluya cálculos e investigación, que considere todas las características de un modelo electromecánico actual, así como todas las deficiencias de éstos, de manera que el resultado obtenido sea - una conciliación entre los resultados obtenidos en la -- práctica del uso del arrancador convencional y las mejoras que a éste se le pueden hacer, enfocada hacia su --- reemplazo por un equipo electrónico mejorado.

En forma general, el modelo consta únicamente de -- tres triacs de potencia, limitados a la potencia de consumo del motor y tres optoacopladores controlados externamente.

La presencia del supresor de picos, circuito RC entre terminales principales del triac, no se hace necesaria, cuando se hace la suposición de una red trifásica - sin alteraciones, pero que sin embargo, es completamente necesario por las irregularidades de la línea que en la realidad ocurren.

Un punto muy importante es la capacidad de bloqueo del pequeño triac dentro del paquete integrado (optoacoplador), que el fabricante dá (en este caso el MOC 3011) y que son 220 Volts de corriente alterna. Este valor aparentemente nos limita a voltajes de línea menores o iguales a éste, de manera que para cargas trifásicas solamen

te se usarán valores efectivos no mayores a 220 VCA. Sin embargo, optotriacs pueden ser conectados en serie, para bloquear el voltaje deseado, y los optodiodos de control se conectarían en paralelo, para evitar un drenado desincronizado en cada uno de los triacs integrados, y una --ruptura definitiva por sobrevoltaje en alguno de ellos.-- Esto incrementa el costo pero no limita el uso del optoacoplador a valores nominales proporcionados por el fabricante. Es bastante alentadora esta posibilidad, y aun que sólo hice pruebas con un optoacoplador, estoy casi --seguro que es posible hacerlo con combinaciones de éstos y lograr bloqueos de voltaje mucho más grandes.

En cierta manera resulta hasta cómodo, pensar que -- los voltajes para capacidades arriba de los 40 HP y solo en algunos motores no son bastante distantes del valor -- que soporta un solo optoacoplador.

Sin embargo, hay que considerar la posibilidad del -- rompimiento de alguno de ellos, cuando no se prevee esto y su solución con algún circuito adicional externo.

C A P I T U L O I V
C O N C L U S I O N E S

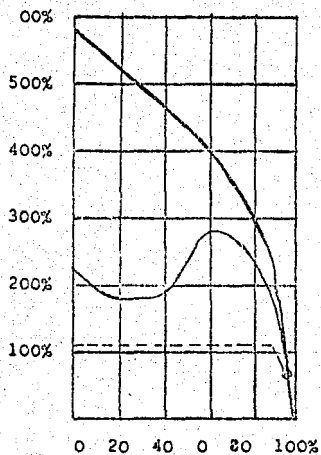
a).- Circuito de Control arranque Y-Delta.

De acuerdo con Horacio Buitrón Sánchez en su libro - "Operación, Control y Protección de Motores Eléctricos", los métodos de arranque de un motor con rotor-jaula de ardilla son:

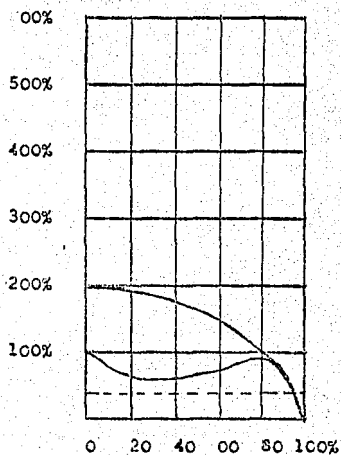
- 1) Arranque a Tensión Plena.
- 2) Arranque a Tensión Reducida.
 - a) Por resistencias Primarias.
 - b) Por reactancias.
 - c) Por Autotransformador.
 - d) Estrella-Delta.
 - e) Por Devanado Partido.

y la razón para éstos dice: son

- 1) Corriente permitida al Arranque.
- 2) Necesidades del par de arranque.



VELOCIDAD DE ROTACION
ARRANQUE A VOLTAJE PLENO



VELOCIDAD DE ROTACION
ARRANQUE A VOLTAJE REDUCIDO

He distinguido dos comunes en todos los tipos de -- arranque a tensión reducida mencionados:

a) Un arranque brusco (por lo menos dos pasos para llegar a plena tensión).

b) Un arranque gradual (menos brusco por tener más pasos para llegar a plena tensión).

Basado en estos dos comunes he elaborado mi proyecto de tesis, presentando una forma de arrancar un motor que pueda cubrir de alguna manera los cinco métodos a -- tensión reducida.

Como modelo de arranque brusco he elegido un arrancador estrella-delta, conciliando el ambiente electromecánico (la parte de potencia en la primera parte del proyecto) y el electrónico (la parte de control en la primera parte del proyecto).

El enfoque dado cuando se diseñó el proyecto, fue -- elaborar un circuito de control usando semiconductores, -- que pudiera manejar una carga mas o menos grande, que -- funcionara con corriente alterna.

Se trató de pensar en la parte de control, de manera que se pudieran apreciar varios aspectos del control digital de una manera bastante sencilla, en donde los -- dispositivos usados fueran también sencillos pero variados, y llevándolo a cabo sobre una base establecida como lo es la máquina de estado.

El proyecto de control parece ser poco práctico para ser realidad, ya que incluye en el mismo circuito varias funciones raramente ocupadas todas ellas para un caso específico. Más bien parece ser un modelo didáctico, -- donde se pueda entender el arranque estrella-delta, y -- las formas en las que un motor con rotor jaula de ardilla de seis terminales puede conectarse: en estrella, en

delta o hacer un cambio de estrella a delta; además el modelo ilustra la forma en la que una máquina de estado, con un diagrama de flujo bastante pequeño opera.

En realidad un arranque estrella-delta usando una máquina de estado como control, resulta más sencillo, -- sin incluir funciones adicionales como lo son el arranque, sólo en estrella o en arranque sólo en delta.

El modelo no incluye también etapas de protección.-- El circuito a fin de cuentas viene a controlar dos señales lógicas: cuando una es 1 lógico la otra es 0 lógico, y nunca pueden ser ambas 1 lógico pero sí 0 lógico.

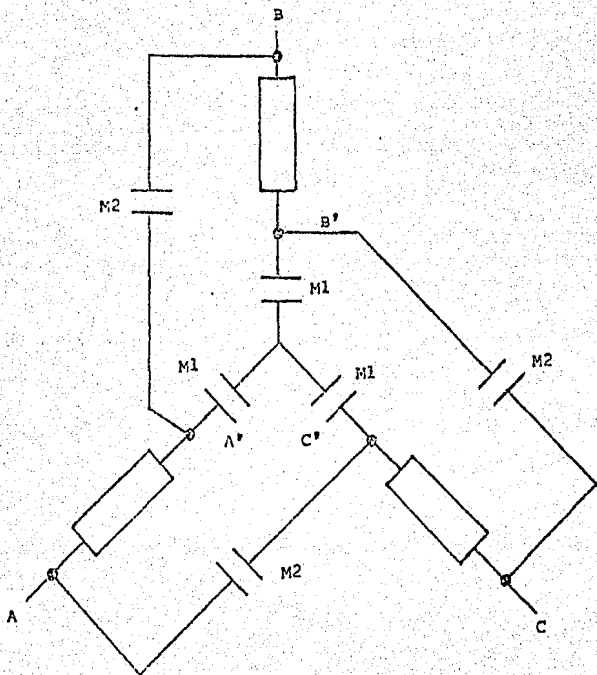
Estas señales lógicas envían una señal de arranque a la interfaz que conecta o desconecta la carga en una u otra forma. Las interfaces usadas podrían ser dos:

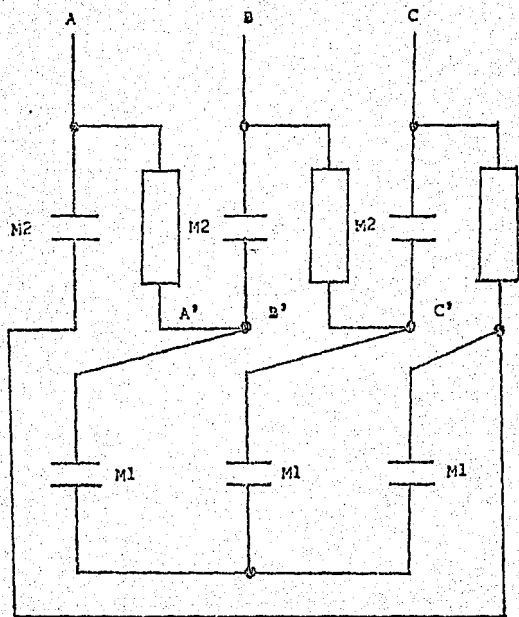
- a) Una interfaz electromecánica.
- b) Una interfaz de estado sólido.

b).-- Interfaz electromecánica.

Como parte del proyecto en el capítulo uno, usé una interfaz electrónica por razones económicas. Los elementos usados fueron dos contactores electromecánicos -- accionados con una bobina a 110 VCA, como lo ilustra la siguiente figura. Los contactos de uno y de otro se diferencian por las letras MT1 y MT2, respectivamente.

Como se muestra, MT1 cierra la estrella y MT2 la -- delta. Para cuando MT2 cierra, es completamente necesario que MT1 se haya separado totalmente, para evitar un corto circuito entre fases. La razón es simple: cuando -- una señal de control desaparece y desacciona MT1, en ese momento (unos cuantos milisegundos después) MT2 es cerrado.

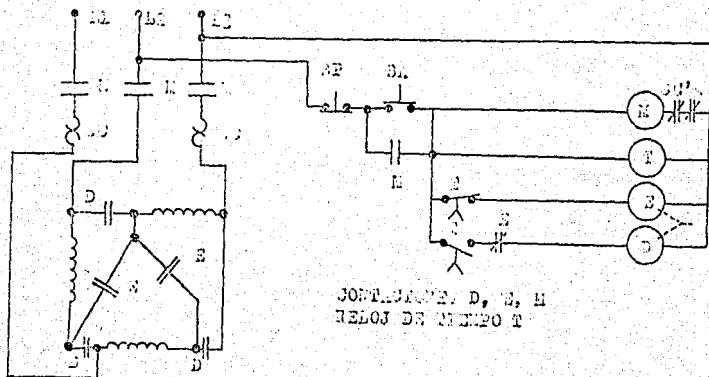




Como MT2 no dá tiempo a que bajen los contactos de - MT1 cuando es energizado MT2, se hizo completamente necesario el bloqueo mecánico para evitar un corto circuito - entre fases. El bloqueo mecánico evita este perfectamente.

Resulta dudosa la conveniencia de controlar el arranque con los dos elementos (electrónico y electromecánico) en el aspecto de que sólo el control es reemplazado, pero el relevador se sigue usando. Sin embargo, cuando se llevó a cabo, el costo del control completo era apenas el -- 25 % del costo de un relevador de tiempo neumático.

Un modelo automático estrella-delta (sólo la operación estrella-delta del control electrónico, o sea un --- 33 % de las operaciones) propuesto por Horacio Buitrón en su libro "Operación, Control y Protección de Motores Eléctricos", es el siguiente:



En este diagrama existen dos botones, un relevador de retención M, dos relevadores para la operación estrella-delta y un relevador de tiempo, o sea dos botones y cuatro relevadores, de los cuales uno es de tiempo. Claro está -- que el modelo electrónico propuesto, no separa físicamente

la línea de voltaje del motor cuando éste está fuera de operación. Sin embargo, y con la idea de operación real, estoy seguro que sí representa una minoría en el costo neto del arranque. Para el modelo electrónico por ejemplo, se usan sólo dos relevadores (ninguno de tiempo) y botones que manejan 5 VCC.

c).- Interfaz de Estado Sólido para arranque estrella-delta.

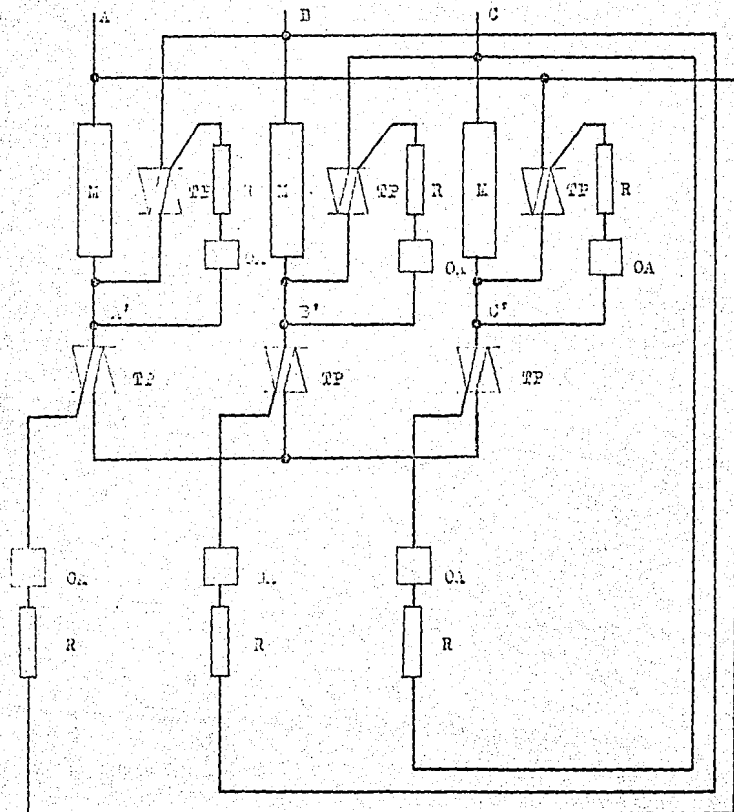
Reemplazar los dos relevadores de potencia por dispositivos de estado sólido es la idea final del proyecto.

Se trata de un diagrama donde los triacs usados son seis, donde tres trabajan para cerrar la estrella y los restantes para cerrar la delta. Cuando los circuitos integrados (también seis) son drenados con corrientes de control, los triacs de potencia se ceban, de acuerdo a la operación propuesta en el capítulo uno.

Deben para este caso los optoacopladores colocados en la parte superior del diagrama, ser alimentados a un mismo tiempo en el optodiodo integrado, mientras que los tres en la parte inferior del diagrama, deben permanecer inactivos. De la misma manera, cuando los tres optoacopladores de la parte inferior del diagrama, están activos, los superiores del diagrama no lo estarán.

Cuando las señales de control alimentan los optoacopladores inferiores, la estrella se cierra, y cuando los superiores son alimentados, se cierra la delta.

Una observación importante es: cuando se haga el cambio de estrella a delta, debe existir la seguridad de que los triacs de potencia de la parte inferior del diagrama estén decebados y en circuito abierto. De no ser así, se podría mandar la señal a los optoacopladores en la parte superior del diagrama; y se podría ocasionar un corto circuito entre fases, algo semejante a lo que ocurre con los



R RESISTENCIA.
 OA OBTORCIONADOR.
 TP TRIAS DE POTENCIA.
 M DEVANADO DEL MOTOR.

relevadores, cuando la interfaz es electromecánica. Para este caso, el problema es que el triac de potencia y el incluido en el paquete integrado, no se abren cuando desaparece la señal de drenado, sino que hasta que la señal de voltaje de corriente alterna que alimenta al motor pase por un valor inferior a la de mantenimiento, y como existe un defasamiento de 120 grados entre fases, no es garantía que cuando una de las ondas es cero, la otra sea diferente a cero.

En este caso, las señales de control deben ser enviadas en sincronía con las fases que va a unir con la carga (un debanado del motor), de manera que se garantice que cuando una de ellas ha desaparecido por completo, abriendo el triac, la otra debe operar.

Si el motor trabaja con los triacs cerrados, todas las fases se unirán en el centro de la estrella, produciendo un corto circuito.

En el diagrama no se incluye el supresor de picos, aunque realmente lo requiera.

d).- Conclusiones Generales.

A lo largo del desarrollo de este proyecto, he pensado en la posibilidad de llevarlo a la realidad. Sin embargo, como comenté en capítulos anteriores, las limitaciones económicas, técnicas, de conocimiento y tiempo lo limitan.

A pesar de esto, estoy plenamente seguro que con cierta inversión de capital y tiempo puede ser realidad.

He emitido un análisis económico por las siguientes razones: en realidad el proyecto llevado a cabo, sólo fue la primera parte de este trabajo (capítulo I), y el enfoque dado fue didáctico. El proyecto incluye funciones de

arrancadores separados, y la posibilidad de invertir en un arrancador dentro de un rango de capacidades de potencia, posible a usarse en tres operaciones distintas (sólo en estrella, sólo en delta o el arranque manual o automático estrella-delta), se sale de la realidad.

Para hacerlo real, sería necesario incluir dentro del modelo, funciones tales como de protección, evitar funciones de más, incrementar la habilidad para ejecutar más funciones reales, etc.

Sin embargo, resulta interesante comparar la manera como funcionó en cuanto a costo de componentes, con un arrancador convencional, tratando de compensar las deficiencias de uno con las capacidades del otro y con éste darnos una idea. Así, el costo total del arrancador electromecánico parece ser un poco mayor, aproximadamente un 300 % más costoso.

Faltarían por investigar a mi criterio, tres puntos más que complementarían el trabajo:

a) La forma de onda más apropiada durante el arranque.

b) El circuito supresor de picos más apropiado.

c) Diseñar un circuito de prueba para el optoacoplador, así como un circuito de prueba para igualar los ángulos de disparo positivo y negativo, también del optoacoplador.

Estos tres puntos son limitaciones en el proyecto, que posiblemente puedan ser objeto de un nuevo tema de tesis.

B I B L I O G R A F I A

Halkias Millman. Integrated Electronics. Primera Edición. Japan: Mc. Graw Hill, 1983.

J. Hill Fredrick. Introduction to switching theory -- and logical design. Segunda Edición. Estados Unidos de Norteamérica: John Wiley & Sons, 1974.

L. Morris Robert y R. Miller John. Designing with TTL integrated circuits. Primera Edición. Estados Unidos de Norteamérica: Texas Instruments Electronics, Mc. Graw Hill 1971.

P. Malvino Albert. Digital Computer Electronics. Segunda Edición. Estados Unidos de Norteamérica: Mc. Graw Hill, 1974.

R. Clare Christopher. Designing logic systems using state machines. Primera Edición. Estados Unidos de Norteamérica: Mc. Graw Hill, 1973.

D. Hernden, Jr. y B. Golden Forest. Power Semiconductor Applications. Primera Edición. Estados Unidos de Norteamérica: IEEE, 1972.

J. Smith Ralph. Circuits Devices Systems. Tercera Edición. New York: Mc. Graw Hill, 1976.

E. Tobey Gene y G. Graeme Jerald y P. Huelsman Lawrence. Amplificadores Operacionales. Cuarta Edición. México: Diana, 1985.

M. Morris Mano. Lógica Digital y Diseño de Computadores. Tercera Edición. México: Prentice Hall, 1984.

Siskind. Electrical Machines. Segunda Edición. Tokio Japón: Mc. Graw Hill, 1983.

J. Maloney Timothy. Electrónica Industrial. Cuarta Edición. Colombia: Prentice Hall, 1983.

G. Ludewig Fons Jorge. Tecnología aplicada en la capacitación de bobinado de motores eléctricos. Segunda Edición. México: Héctor Pacheco V., Editor de libros técnicos, 1980.