



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica



"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN RELE DIGITAL
PROGRAMABLE DE BAJA FRECUENCIA Y SU APLICA-
CION EN SISTEMAS ELECTRONICOS DE
PROTECCION EN POTENCIA"

TESIS DE GRADO

Para la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: **ELECTRONICA**

Presentada por:

Miguel Amores Montesdeoca

Guayaquil - Ecuador

1.988

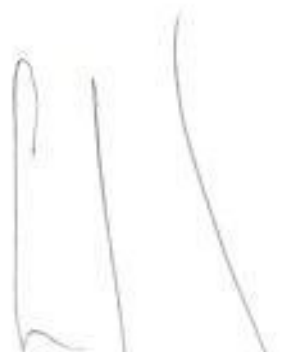
A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. CESAR YEPEZ FLORES,
Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración para
la realización de este tra
bajo.-

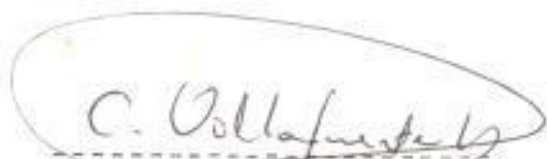
DEDICATORIA

- A MI MAMA


- A MI HERMANA



ING. CESAR YEPEZ FLORES
DIRECTOR DE TESIS



ING. CARLOS VILLAFUERTE
SUB-DECANO DE LA FACULTAD
INGENIERIA ELECTRICA



ING. HUGO VILLAVICENCIO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL




ING. LUDMILA GORENKOVA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).


MIGUEL AMORES MONTESDEOCA

RESUMEN

En el presente trabajo, se diseñó y construyó un relé digital programable, de baja frecuencia, utilizando unicamente elementos de estado sólido (circuitos integrados, transistores, tiristores, etc., con tecnología TTL, de manera que pueda ser utilizado en : Sub-estaciones, generadores, industrias o en cualquiera otra aplicación y que en su transportación de un lugar a otro, no corra riesgos de daños debido a cargas estáticas.

En el Capítulo I, se analiza las causas que producen una baja en la frecuencia, se estudia las protecciones y los efectos del fenómeno en un sistema.

En el Capítulo II, se analiza las características del circuito que sensa la entrada al relé, el circuito que inhibe el relé de disparos erróneos y el circuito de cruce por cero.

En el Capítulo III, se estudia la unidad que genera la referencia exacta de 60 Hz, que es con la que el relé compara la señal sensada, así como el circuito que sincroniza esta comparación.

En el Capítulo IV, se analiza la diferencia que resulta de la anterior comparación y se la transforma, por medio de los circuitos de diferencia de período y de diferencia de período a diferencia de frecuencia.

En el Capítulo V, está detallado el funcionamiento de la unidad programable de control de frecuencia y retardo de tiempo, unidad en definitiva que permite la entrada de datos por parte del operador.

En el Capítulo VI, se revisa la unidad de disparo que es la que da la señal final una vez que se han producido todos los fenómenos que activan el relé, y además indica al operador el número de veces que estos fenómenos han ocurrido.

INDICE GENERAL

	<u>Pags.</u>	
RESUMEN -----	VII	vii
INDICE GENERAL -----	VIII	viii
INDICE DE FIGURAS -----	XVI	xvi
INTRODUCCION -----	19	19
CAPITULO I		
INTRODUCCION -----	20-	20
1.1. ANALISIS GENERAL DE LA VARIACION DE FRECUEN <u>CIA</u> CIA -----	20	20
1.1.1. Causas que producen una baja frecuen <u>cía</u> cía -----	21	21
1.1.2. Prevenciones: Uso del relé detector de baja frecuencia -----	31	31
1.1.3. Revisión de las regulaciones dictadas para el efecto -----	35	35
1.2. TEORIA DE OPERACION DEL RELE DE BAJA FRECUEN <u>CIA</u> CIA -----	48	48
1.2.1. Comparación de diversas arquitecturas	51	51

1.2.2. Comparación y explicación general del funcionamiento -----	59	19
1.2.3. Diagrama Básico General de Bloques	66	16
1.2.4. Descripción General del Diagrama- de Bloques -----	68	18
 CAPITULO II		
UNIDAD SENSORA, DE INHIBICION Y DE CRUCE POR CERO -----	72	21
2.1. CIRCUITO SENSOR -----	72	22
2.1.1. Características de la señal sensa da -----	72	22
2.1.2. Acondicionamiento de la señal sen sada -----	73	23
2.2. CIRCUITO INHIBIDOR DE VOLTAJE -----	73	24
2.2.1. Condiciones de transiente que se abstiene de sensar -----	73	24
2.2.2. Análisis de la señal de inhibición	73	24
2.3. CIRCUITO DETECTOR DE CRUCE POR CERO-----	74	25
2.3.1. Relación frecuencia período-----	74	25
2.3.2. Generación del pulso de cruce por cero -----	75	25
2.4. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS -----	75	25
2.4.1. Diagrama Esquemático -----	75	25

	<u>Pags.</u>
2.4.2. Cálculos Pertinentes-----	77
2.4.3. Descripción del Circuito y Diagrama de Bloques -----	78
2.4.4. Optimización -----	79
2.4.5. Selección de Componentes -----	80
2.5. CONSTRUCCION -----	81
2.5.1. Lista de materiales -----	81
2.5.2. Pruebas -----	82
 CAPITULO III	
UNIDAD GENERADORA DE REFERENCIA Y SINCRONIZACION	84
3.1. CIRCUITO OSCILADOR CON CRISTAL DE REFEREN- CIA -----	84
3.1.1. Breve análisis de los cristales de cuarzo -----	84
3.1.2. Generación de la onda cuadrada a al ta frecuencia -----	85
3.2. CIRCUITO SINCRONIZADOR -----	86
3.2.1. Generación del pulso de cruce por - cero sincronizado -----	86
3.2.2. Coordinación con el sistema -----	87
3.3. CIRCUITO GENERADOR DE LA REFERENCIA(60 Hz)	89
3.3.1. Generación de la señal por cuenta - del número de pulsos -----	90

	<u>Págs.</u>
3.3.2. Lógica de Conteo-----	90
3.4. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS -----	93
3.4.1. Diagrama esquemático -----	93
3.4.2. Cálculos pertinentes -----	95
3.4.3. Descripción del circuito y Diagrama de bloques -----	96
3.4.4. Optimización -----	99
3.4.5. Selección de Componentes -----	100
3.5. CONSTRUCCION -----	101
3.5.1. Lista de materiales -----	101
3.5.2. Pruebas -----	102
 CAPITULO IV	
UNIDAD DE DIFERENCIACION-----	104
4.1. CIRCUITO DE DIFERENCIA DE PERIODO-----	104
4.1.1. Generación del tren de pulsos ---	104
4.1.2. Diferencia en período de la frecuencia nominal -----	105
4.2. CIRCUITO DE DIFERENCIA DE PERIODO A DIFERENCIA DE FRECUENCIA-----	107
4.2.1. Conversión del tren de pulsos----	107
4.2.2. Cálculo de la escala de conversión apropiada -----	107
4.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS -----	110

	<u>Págs.</u>
4.3.1. Diagrama Esquemático-----	110
4.3.2. Cálculos pertinentes -----	112
4.3.3. Descripción del circuito y Diagrama de Bloques -----	112
4.3.4. Optimización -----	116
4.3.5. Selección de componentes -----	117
4.4. CONSTRUCCION -----	117
4.4.1. Lista de materiales -----	117
4.4.2. Pruebas -----	118
 CAPITULO V	
UNIDAD PROGRAMABLE DE CONTROL DE FRECUENCIA Y RE TARDO DE TIEMPO -----	119
5.1. CIRCUITO DE CONTROL DE FRECUENCIA-----	119
5.1.1. Selección de la memoria apropiada---	119
5.1.2. Cuenta y comparación de pulsos-----	120
5.1.3. Selección del tipo de pantalla y su decodificador -----	124
5.2. CIRCUITO DE RETARDO DE TIEMPO -----	125
5.2.1. Selección de la memoria apropiada---	125
5.2.2. Cuenta y comparación de pulsos-----	126
5.2.3. Selección del tipo de pantalla y su decodificador -----	126
5.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS -----	126

	<u>Págs.</u>
5.3.1. Diagrama Esquemático -----	127
5.3.2. Cálculos pertinentes-----	129
5.3.3. Descripción del circuito y Diagrama de Bloques -----	130
5.3.4. Optimización -----	133
5.3.5. Selección de Componentes -----	134
5.4. CONSTRUCCION -----	134
5.4.1. Lista de materiales -----	134
5.4.2. Pruebas -----	135
CAPITULO VI	
UNIDAD DE DISPARO -----	137
6.1. CIRCUITO DE SALIDA O DE DISPARO-----	137
6.1.1. Aplicación del SCR y su funcionamien to -----	137
6.1.2. Amplificación de la señal recibida-	139
6.1.3. Remoción de la señal en el Gate----	140
6.1.4. Circuito externo de disparo-----	141
6.2. CIRCUITO INDICADOR DEL NUMERO DE OPERACIO- NES -----	141
6.2.1. Cuenta del número de operaciones---	142
6.2.2. Pantalla indicadora y borrado manual	
6.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS -----	142
6.3.1. Diagrama esquemático -----	143

	<u>Pags.</u>
6.3.2. Cálculos pertinentes -----	145
6.3.3. Descripción del circuito y diagrama de bloques -----	145
6.3.4. Optimización -----	146
6.3.5. Selección de componentes -----	147
6.4. CONSTRUCCION -----	148
6.4.1. Lista de materiales -----	148
6.4.2. Pruebas -----	149
 CAPITULO VII	
APLICACION EN SISTEMAS ELECTRONICOS DE PROTECCION---	150
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	155
APENDICES -----	157
BIBLIOGRAFIA -----	165

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pags.</u>
CAPITULO I		
1.1.	RELACION ENTRE LA DECLINACION DE FRECUEN <u>CIA</u> Y EL TIEMPO PARA DIVERSOS PORCENTAJES DE SOBRECARGA -----	29
1.2.	RELACION ENTRE LA DECLINACION DE FRECUEN <u>CIA</u> Y EL TIEMPO PARA DIVERSOS PORCENTAJES DE SOBRECARGA -----	29
1.3.	TIEMPO DE DISPARO EN SEGUNDOS DESDE LA FRECUENCIA EMPIEZA A DESCENDER (FRECUENCIA INICIAL 60 HERTZ)-----	52
1.4.	RELACION PARA UN RELE ELECTROMECHANICO--	57
1.5.	DIAGRAMA DE BLOQUE DEL RELE ELECTRONICO-	60
1.6.	RELACION PARA UN RELE ELECTROMECHANICO---	64
1.7.	DIAGRAMA GENERAL DE BLOQUES -----	67
CAPITULO II		
2.1.	CIRCUITO DE ENTRADA -----	76

<u>Nº</u>	<u>Pags.</u>
CAPITULO III	
3.1.	88
DIAGRAMA DE TIEMPO QUE INDICA LA RELACION ENTRE LA SEÑAL SENSADA Y EL PULSO DE CRU CE POR CERO -----	
3.2.	92
DIAGRAMA DE TIEMPO DEL CIRCUITO DE REFE- RENCIA -----	
3.3.	94
CIRCUITO GENERADOR DE FRECUENCIA Y SINCR <u>O</u> NIZACION -----	
CAPITULO IV	
4.1.	106
DIAGRAMA DE TIEMPO QUE INDICA EL INICIO Y EL FINAL DEL TREN DE PULSOS DE 1 MICROSE- GUNDO -----	111
4.2.	
CIRCUITO DE DIFERENCIACION -----	
4.3.	114
DIAGRAMA DE TIEMPO DEL CIRCUITO DIFEREN- CIADOR -----	
CAPITULO V	
5.1.	128
CIRCUITO DE CONTROL DE FRECUENCIA Y RETAR <u>U</u> DO DE TIEMPO -----	
CAPITULO VI	
6.1.	138
TIRISTOR -----	

Nº

Pags.

6.2. CIRCUITO DE SALIDA -----

144

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es el diseñar y construir un relé de baja frecuencia en el que se pueda graduar digitalmente la frecuencia abajo de 60 Hz, a la cual deberá producirse la desconexión de la carga y el tiempo de retardo (en ciclos) luego del cual deberá producirse esta desconexión una vez que la frecuencia ha descendido al valor pre-seleccionado. Deberá indicar además por medio de despliegues visuales, las diferencias entre la frecuencia de disparo y la frecuencia nominal en hertz, el retardo en ciclos y el número de veces que el relé se ha disparado.

Además se estudia las causas y efectos del fenómeno de descenso de la frecuencia nominal en un sistema dado.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

1.1. ANALISIS GENERAL DE LA VARIACION DE FRECUENCIA

Cuando el sistema de potencia se encuentra en condiciones normales de operación a la frecuencia nominal, la potencia mecánica total de entrada proveniente de los primo-motores hacia los generadores, es igual a la suma de las potencias consumidas por todas las cargas conectadas, más todas las pérdidas reales de potencia en el sistema. Cualquier significativo desarreglo de este balance causa un cambio de frecuencia en el sistema. Las enormes masas en rotación de los rotores - turbina - generador, actúan como repositorios de la energía cinética. Cuando hay insuficiente entrada de potencia mecánica al sistema, los rotores disminuyen su velocidad, suministrando energía al sistema; contrariamente, cuando hay excesiva potencia mecánica entrando, los rotores aumentan su velocidad, absorbiendo energía. Cualquier cambio en la velocidad produce una proporcional variación en la frecuencia.

Las unidades gobernadoras s^{en}sen pequeños cambios en velocidad resultantes de graduales cambios de carga. Estos gobernadores ajustan la potencia mecánica de entrada hacia las unidades en generación en arreglo para mantener la frecuencia nominal de operación.

Repentinos y grandes cambios en la capacidad de generación debido a la pérdida de un generador o pérdida de interconexión, pueden producir un severo desbalance entre la generación y la carga, resultando en una rápida declinación de la frecuencia. Si los gobernadores y calderos no responden lo suficientemente rápido, el sistema puede llegar a su destrucción. Rápidas, selectivas y temporales disminuciones de cargas pueden hacer posible la recuperación, evitando prolongadas pérdidas del sistema y restaurando el servicio a los usuarios en el menor tiempo posible.

1.1.1. Causas que producen una baja frecuencia

Antes de diseñar un esquema de relés para la protección de un sistema, es necesario analizar las variaciones en frecuencia durante las perturbaciones. La figura N^o 1.1., muestra un sistema S, el cual consiste de dos subsistemas interconectados, S_1 y S_2 . Para todo el sis

tema S , la siguiente relación debe mantenerse verdadera para su frecuencia constante de operación:

$$\Sigma \text{ Generación} = \Sigma \text{ Cargas} + \Sigma \text{ Pérdidas}$$

En el sistema sin embargo, puede haber más generación que carga en S_1 y más carga que generación en S_2 , con la diferencia siendo transferida por una interconexión. Si el total de cargas y pérdidas es igual a la potencia mecánica total de entrada, no cambiará ni la velocidad del generador, ni la frecuencia con el tiempo.

Si repentinamente la interconexión entre S_1 y S_2 se perdiera como resultado de una falla permanente, la energía cinética en los generadores de S_1 tiene que incrementarse para observar la excesiva entrada de potencia; así es que los generadores tienen que aumentar su velocidad. Contrariamente los generadores de S_2 disminuirán su velocidad. Si la salida y cargas de ambos generadores son asumidas constantes con la frecuencia, la rapidez promedio de cambio de la frecuencia sobre un determinado intervalo de

frecuencia está dado por:

$$R = \frac{pL(f_1 - f_0)}{H(1 - \frac{f_1^2}{f_0^2})} \quad (1.1)$$

Donde:

- R = rapidez promedio de cambio de frecuencia, Hz/s.
- p = factor de potencia de las máquinas.
- L = promedio por unidad de sobrecarga.

$$= \frac{\text{Carga - potencia de entrada}}{\text{Potencia de entrada}} \quad (1.2)$$

- f_0 = frecuencia inicial para el intervalo en el cual R está siendo calculado.
- f_1 = frecuencia final para el intervalo
- H = constante de inercia, $\frac{\text{MW-s}}{\text{MVA}}$

La constante de inercia (H) para cada unidad es dada por el fabricante. A una mayor constante -

de inercia, la frecuencia disminuye más lentamente para una determinada sobrecarga. Los antiguos generadores de rueda de agua tenían una constante de inercia tan grande como 10, mientras que los generadores modernos tienen constantes de inercia de sólo 2 ó 3. Así los modernos sistemas de potencia responden más rápidamente a repentinos cambios de carga.

Aunque la constante de inercia está basada en la capacidad de la unidad, la constante efectiva para máquinas operando a carga parcial es mayor que el valor proporcionado. A pesar de esto los esquemas de desconexión de la carga tienen que funcionar más efectivamente con el manejo de cargas pesadas, y el valor de H debe ser usado para calcular la más amplia rapidez promedio de cambio de frecuencia, R .

Asumiendo que el sistema S_2 en la figura N° 1.1. tiene una carga neta de 1.200 MW y una generación total de 1.000 MW, la interconexión o el enlace tiene que transportar 200 MW desde S_1 a S_2 .

La constante de inercia para S_2 es 4, y las má

quinas tienen un factor de potencia de 0,85, si la interconexión repentinamente se pierde, la frecuencia cae desde 60 hasta 58 Hz en el sistema S_2 y podemos calcular lo siguiente:

De la ecuación N° 1.2.

Promedio por unidad de sobrecarga

$$L = \frac{\text{carga} - \text{potencia de entrada}}{\text{potencia de entrada}}$$

$$= \frac{1.200 - 1.000}{1.000}$$

$$= 0,2$$

entonces, usando la ecuación N° 1.1.:

$$R = \frac{(0,85)(0,2)(58 - 60)}{4(0,0656)}$$

$$= -1,30 \text{ Hz/s}$$

El valor negativo de la rapidez de cambio indica que la frecuencia baja. Si la constante de inercia

cia fuera la mitad $H = 2$, el valor de R sería el doble. Repitiendo los cálculos para el intervalo entre 58 y 56 Hz :

$$R = \frac{(0,85)(0,2)(-2)}{4(0,0678)}$$

$$= -1,25 \text{ Hz/s}$$

Entre 52 y 50 Hz, $R = -1,12 \text{ Hz/s}$. Pero un sistema que alcance este rango de frecuencia no podría evitar el colapso total.

Asumiendo que la carga y la potencia de entrada al generador permanecen constantes con la frecuencia, el valor de R decrecería ligeramente - aún después de una gran intolerable reducción de frecuencia. Las cargas reales, particularmente motores, varían con la frecuencia, tendiendo a decrecer con una caída de frecuencia.

Este efecto alivia en algo o del todo la perturbación de frecuencia causada por una sobrecarga.

El factor de reducción de carga, (d) está definido:

$$d = \frac{\text{porcentaje de cambio de carga}}{\text{porcentaje de cambio de frecuencia}} \quad (1.3)$$

Este factor puede variar desde $1/2$ hasta 7 , dependiendo de las cargas, aunque muy comunmente se asume $d = 2$, (2 % de disminución en carga - por cada 1 % de disminución en frecuencia). Un exacto valor de d puede ser determinado sólo observando la variación de la carga con la frecuencia en el sistema en consideración.

Usando la ecuación (1.2) y asumiendo que $d = 2$, $H = 4$, $p = 0,85$ en un sistema de 1.000 MW, la sobrecarga resultante debido a una repentina pérdida de 90 MW (9 %) de la generación es:

$$L = \frac{1.000 - 910}{910}$$

$$= 0.1 \text{ por unidad (o } 10\%)$$

La frecuencia inicialmente caerá a 0.65 Hz/s, pero como la frecuencia declina, la sobrecarga está disminuyendo y la frecuencia cae lentamente. A 57,3 Hz la frecuencia está 4,5 % debajo y la carga está reducida en un 9 %, a 910 MW. Esta reducción alivia por completo la sobrecarga y la frecuencia se nivelará allí.

La figura N° 1.2., muestra el comportamiento de un sistema para varias combinaciones de la constante de inercia y porcentaje de sobrecarga, asumiendo $d = 2$. La razón de d para el porcentaje de sobrecarga determina la frecuencia final del sistema; la constante de inercia afecta sólo la velocidad con la cual la nueva condición de estado estable va a ser alcanzada.

El efecto de d en el valor de R , calculado usando la ecuación (1.1), puede ser determinado usando pequeños decrementos de frecuencia, $f_1 - f_0$. L tiene además que ser ajustado cada vez para reflejar la reducción en carga conforme la frecuencia baja. Esta serie de soluciones dan una cercana aproximación a la curva deseada.

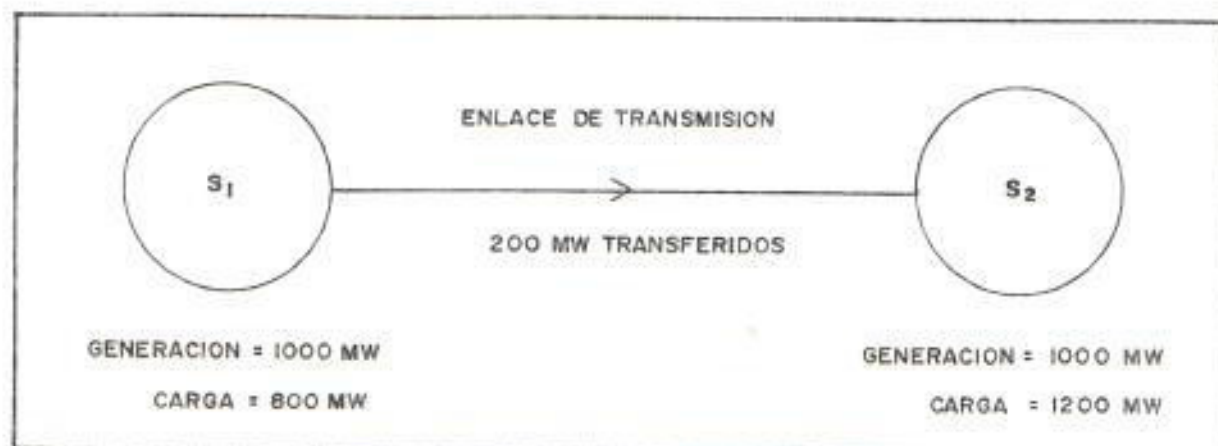


FIGURA 1.1

RELACION ENTRE LA DECLINACION DE FRECUENCIA Y EL TIEMPO PARA DIVERSOS PORCENTAJES DE SOBRECARGA

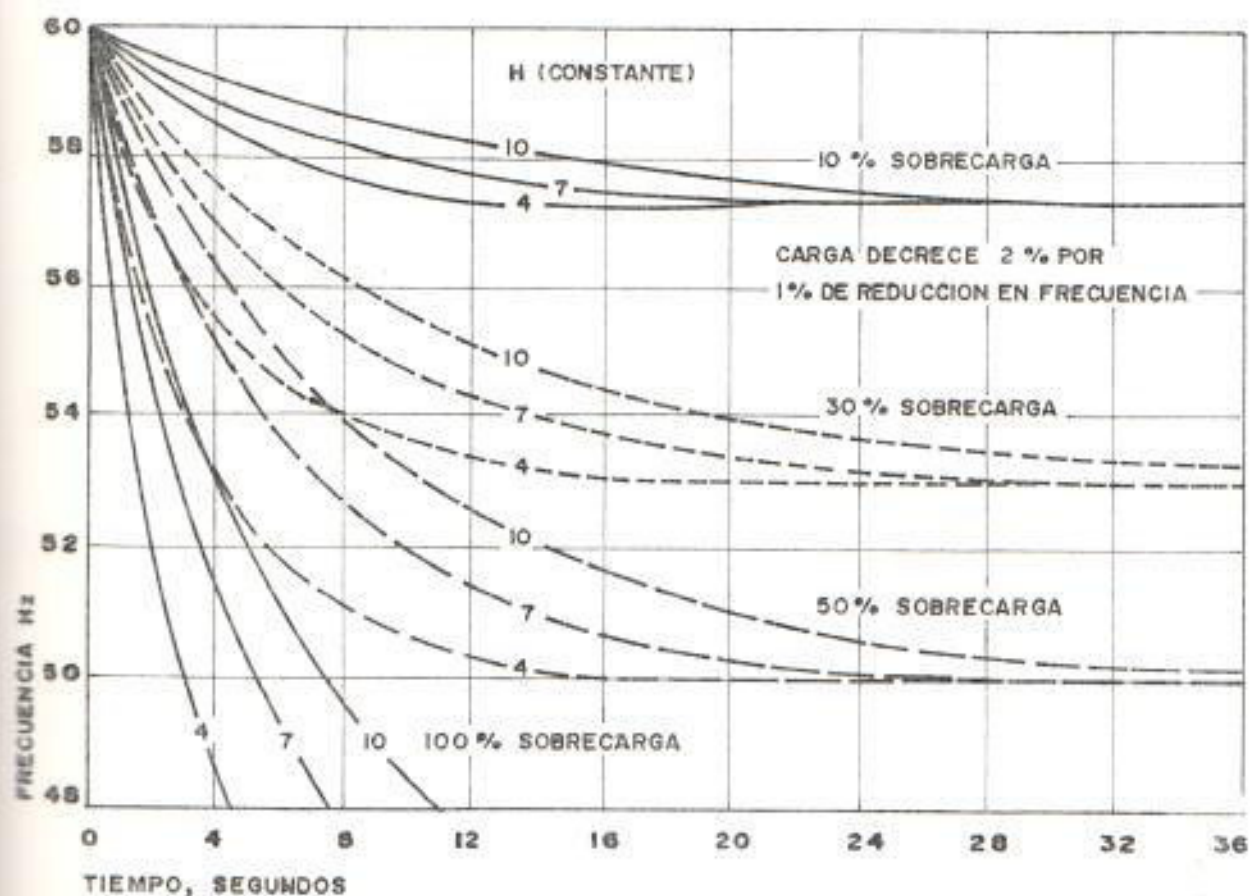


FIGURA 1.2

Como está descrito anteriormente, severas sobrecargas en sistemas de potencia producirán una rápida caída de frecuencia a niveles radicalmente bajos del valor nominal. Los aparatos de dicho sistema están diseñados para operar a la frecuencia nominal 60 Hz y no pueden trabajar efectiva y seguramente a un mayor porcentaje bajo dicha frecuencia.

Las plantas de generación, donde un óptimo funcionamiento es esencial para sobrepasar las sobrecargas, son altamente sensibles a las caídas de frecuencia. Hay dos grandes problemas en esas áreas:

- a. Los motores, particularmente bombas de alimentación de agua para calderos, disminuirán su velocidad, reduciendo la salida del generador. Los márgenes de seguridad en refrigeración del generador y lubricación de rodamientos del sistema pueden reducirse peligrosamente. Muchas plantas operarán efectivamente sólo el rango desde 56,5 hasta 57,5 Hz.
- b. El último grupo de álabes de baja presión en

las turbinas de vapor o de gas, están sintonizados para operar libre de resonancia a 60 Hz., cuando estas giran bajo condiciones de carga pesada a cerca de 58,5 Hz o menos, la frecuencia de excitación del vapor se aproxima a la frecuencia de resonancia de los álabes. Los álabes pueden así empezar a vibrar produciendo la fatiga del material. Como promedio, los álabes no deben estar sujetos a un total de más de 10 minutos en su vida útil (la fatiga es acumulativa). Todas las posibles precauciones deben ser tomadas para evitar que operen bajo 58 o 58,5Hz. Los límites de frecuencia y tiempo para las turbinas deben ser especificados por el fabricante.

1.1.2. Previsiones: Uso del relé detector de baja - frecuencia

Para graduales incrementos de carga, o para repentinas pero ligeras sobrecargas, las unidades gobernadoras sentirán cambios en la velocidad e incrementarán la potencia de entrada al generador.

La carga extra es manejada usando la reserva de giro de la capacidad no usada de todos los generadores operando y sincronizados al sistema. Si todos los generadores están operando a su máxima capacidad, la reserva de giro es cero, y los gobernadores tienen menor capacidad de potencia para socorrer en caso de sobrecargas.

En algunos casos la rápida caída de frecuencia - que acompaña una severa sobrecarga requiere una rápida respuesta del gobernador y caldero, la cual es imposible. Para detener semejante caída, es necesario desconectar intencionalmente y de manera automática, una porción de carga igual o mayor que la sobrecarga. Después que la caída ha sido detenida, y la frecuencia retorna a su valor nominal, la carga puede ser reconectada en pequeños incrementos, permitiendo a la reserva de giro nuevamente activarse y disponibilidad adicional de los generadores conectados a la línea.

La frecuencia es un seguro indicador de una condición de sobrecarga. Por lo tanto los relés de frecuencia pueden ser usados para desconectar la carga automáticamente. Arreglos semejan-

tes son dirigidos hacia esquemas de desconexión o ahorro de carga, y son diseñados para preservar la integridad del sistema y minimizar las salidas de servicio. Aunque generalmente se evita el interrumpir el servicio de manera intencional, esto es algunas veces necesario hacer para evitar un mayor colapso en el sistema. En general, las cargas menos críticas como las residenciales, pueden ser interrumpidas por cortos períodos de tiempo, minimizando el impacto por la pérdida del servicio.

La desconexión automática de la carga, debido a condiciones de baja frecuencia, debe realizarse rápidamente, en caso contrario moderadas o severas sobrecargas podrían sumergir el sistema en un peligroso estado más rápidamente de lo que cualquier operador podría reaccionar. Así los relés de baja frecuencia son usualmente instalados en subestaciones de distribución, donde las cargas seleccionadas pueden ser desconectadas.

El objetivo de desconectar cargas es el de balancear la generación con el consumo. Aunque la cantidad de sobrecarga no es realmente medi-

da en el momento de una perturbación, la carga va siendo desconectada por bloques a la vez, hasta que la frecuencia se estabilice. Esto se realiza con un grupo de relés de baja frecuencia, cada uno de los cuales controla su propio bloque de carga y se encuentran programados para desconectar a valores de frecuencia sucesivos en forma descendente. La primera línea de relés de baja frecuencia está programada para disparar justo bajo el rango dominal de frecuencia, usualmente de 59,4 a 59,7 Hz. Cuando la frecuencia cae bajo este nivel, estos relés van a desconectar un significativo porcentaje de carga del sistema. Si esta disminución de la carga es suficiente, la frecuencia se estabilizará o se incrementará nuevamente. Si esta primera desconexión de carga no es suficiente, la frecuencia va a seguir disminuyendo pero a una menor rapidez, hasta que el rango de frecuencia de la segunda línea de relés sea alcanzado. En este punto un segundo bloque de carga es desconectado. Este proceso continuará hasta que la sobrecarga sea aliviada o hasta que todos los relés de baja frecuencia hayan operado. Otra manera alternativa es colocar una cantidad

de relés a la misma frecuencia o a frecuencias muy próximas y usar retardos de tiempo de disparo diferentes.

1.1.3. Revisión de las regulaciones dictadas para el efecto

Varios procedimientos y criterios tienen que ser considerados cuando se diseñan esquemas de desconexión de cargas para sistemas específicos. Estos son los siguientes:

- a. Sobrecarga máxima anticipada
- b. Número de pasos de desconexión de carga.
- c. Tamaño de la carga desconectada en cada paso.
- d. Frecuencias de desconexión.
- e. Retardo de tiempo.
- f. Localización de los relés de frecuencia.

Sobrecarga máxima anticipada:

Los relés de baja frecuencia deben estar habilitados para desconectar una carga igual a la sobrecarga máxima anticipada. Lógicamente, no hay razones para limitar la carga desconectada a un porcentaje de la carga. En efecto, es prefe-

rible desconectar el 100 % de la carga, preservando las interconexiones y mantener generando las unidades en línea y sincronizadas, que permitir que el sistema se colapse con los consumidores todavía conectados a él. Aún si el 100 % de la carga es desconectada, el servicio puede ser restituido rápidamente; si el sistema llega al colapso, daría como resultado una prolongada pérdida del servicio. Por esta razón, es necesario evaluar el costo del esquema de desconexión de carga con la clara probabilidad de que una sobrecarga de gran severidad pueda ocurrir.

El sistema debe ser estudiado con respecto a la sobrecarga que resultaría de una inesperada pérdida de unidades de generación, líneas de transmisión, y enlaces. Los estudios de estabilidad pueden ayudarnos a identificar las áreas en las cuales, si separadas o aisladas del resto del sistema, tendrían una severa deficiencia de generación. Estas áreas necesitarán una más comprensiva desconexión de la carga.

En teoría, el factor de reducción de carga (d)

tiene además que ser considerado, en razón que puede reducir la sobrecarga una vez que la frecuencia ha caído. Si la reserva de giro, o una adicional capacidad de generación igual a la sobrecarga por d , no está disponible inmediatamente después de la perturbación, a ésta le será imposible regresar el sistema a la frecuencia de 60 Hz de operación. Esto significará - que un sistema aislado no podría ser resincronizado y las interconexiones con sus vecinos - no serían nuevamente cerradas. Debe además - recordarse que los generadores de turbina no tienen que estar operando por largos períodos bajo su velocidad nominal.,

El factor de reducción de carga (d) es raramente conocido con exactitud y puede variar con el tiempo. Para diseñar un esquema conservativo, el cual tendería a desconectar suficiente carga para que el sistema regrese a su frecuencia nominal de operación, lo más seguro es asumir que d es igual a cero.

Número de pasos de desconexión de carga:

El más simple esquema de desconexión de carga

es uno en el cual un predeterminado porcentaje de carga es desconectado de una vez cuando un grupo de relés sensan una caída de frecuencia. Mientras este esquema detendrá algún anticipado declinamiento de frecuencia, frecuentemente desconectará muchos más consumidores de los que son necesarios. Una mejor forma entonces sería el usar dos grupos de relés, uno operando a frecuencia menor que los otros y cada uno desconectando la mitad de una carga predeterminada. Los relés colocados a frecuencia mayor dispararían primero, deteniendo la caída de frecuencia mientras la sobrecarga era la mitad o menos de su valor en el peor de los casos. Para más severas sobrecargas, la frecuencia continuará cayendo, aunque con menor rapidez, hasta el segundo grupo de relés programados para desconectar la otra mitad de la carga.

El número de pasos de desconexión de carga, puede ser incrementado virtualmente sin límite. Con una cantidad mayor de pasos el sistema puede desconectar carga en pequeños incrementos hasta que la declinación de frecuencia pare; casi no se desconectara carga en exceso. Puede -

ser muy difícil el coordinar demasiados pasos, más frecuentemente se usan entre dos y cinco pasos de desconexión de carga, siendo tres el más común.

Tamaño de la carga desconectada en cada paso: Hasta donde es posible, el tamaño de los pasos de desconexión de carga debe estar relacionado con el porcentaje de sobrecarga esperado. Cuando un estudio de la configuración de un sistema o de la estabilidad, revela que hay una relativamente alta probabilidad de pérdida de ciertas unidades de generación o líneas de transmisión, los bloques de desconexión de carga deben estar de acuerdo con esta probabilidad. La determinación del tamaño puede ser de la siguiente manera:

Se asume que un sistema de potencia tiene una planta de generación (A) en un lugar remoto ; que esta planta está enlazada al resto del sistema por medio de largas líneas; y que el sistema además está conectado por un enlace de transmisión (B) con sus colindantes. Se asume además, que A transporta hasta el 20 % de la -

carga del sistema y B transporta hasta el 20%. Estudios de estabilidad muestran que ciertas fallas o perturbaciones pueden resultar en pérdidas de sincronismo entre A y el sistema, así que estos enlaces de transmisión pueden ser abiertos. Problemas adicionales pueden hacer necesaria la salida de B. Es necesario implementar un esquema de desconexión de carga que preservará el sistema si se pierde A y B. Es por tanto lógico el usar tres pasos de desconexión de carga para manejar sobrecargas: (1) Pérdida de A, (2) Pérdida de B, ó (3) Pérdida de ambos A y B, simultáneamente.

Los siguientes pasos de desconexión de carga son implementados para manejar cada situación en secuencia:

Paso 1:

Desconecta el 12 % de la carga total (12% del total).

Paso 2:

Desconecta un 8 % adicional de la carga restante (20 % del total).

Paso 3:

Desconecta un 12% adicional de la carga restante (32 % del total).

Si el sistema bajo consideraciones es grande, pueden haber muchas posibilidades en combinaciones de pérdidas a considerar, cada una causando sólo un pequeño porcentaje de sobrecarga. En este caso, un número de situaciones de sobrecarga puede ser juntado y manejado en un sólo paso. Contrariamente, estos pueden ser suficientes para desconectar un porcentaje de sobrecarga en pequeños e iguales pasos.

Para implementar la desconexión imparcial a nivel de distribución, se requeriría un gran número de relés de frecuencia, distribuidos a través del sistema.

Frecuencias de desconexión:

La frecuencia a la cual cada paso desconectará la carga depende del rango de frecuencia nominal de operación, de la velocidad de operación y la exactitud de los relés y del número de pasos de desconexión de carga.

TABLA DE RELACION POR PERDIDAS DE GENERADOR O INTERCONEXION

TABLA N° 1.1.

C A U S A	PERCENTAJE DE PERDIDA DE GENERACION	PERCENTAJE DE SOBRECARGA (DE LA ECUACION)
Pérdida de interconexión B	12	13,6
Pérdida del generador A	20	25
Pérdidas de A y B, simultáneamente.....	32	47

.....

La frecuencia en el primer paso debe estar justo bajo la banda de frecuencia nominal de operación del sistema, permitiendo variación en la frecuencia de disparo del relé. Los relés de estado sólido pueden ser colocados desde 59.6 a 59.8 Hz - para disparar a la primera indicación de problemas. Para relés electromecánicos debe ser aproximadamente entre 0.1 y 0.2 Hz bajo la frecuencia nominal de operación. Independientemente - del tipo de relé usado, la frecuencia debe ser seleccionada para evitar desconexiones debido a perturbaciones menores de las cuales el sistema puede recuperarse por sí mismo.

Los pasos de desconexión de carga restante pueden ser seleccionados como sigue:

- a. Usando las curvas de disparo del relé, calculando la frecuencia actual a la cual la carga será desconectada por los relés del primer paso.
- b. Colocando los relés de segundo paso justo bajo esta frecuencia, dejando un margen de tolerancia para ambos grupos de relés.

- c. Calculando la frecuencia actual a la cual el segundo paso de desconexión de carga ocurrirá. La tasa de declinación de frecuencia para los relés del segundo paso puede ser calculada como resultado de la sobrecarga más severa esperada menos la carga desconectada en el primer paso.

- d. Nuevamente dándole un margen al relé, se colocan los relés del tercer paso bajo la menor frecuencia de desconexión del segundo paso.

- e. Se repiten los cálculos hasta que los valores sean obtenidos para todos los pasos. Determinar el valor más bajo de frecuencia del sistema antes que el último bloque de carga sea desconectado para el peor caso de sobrecarga. Este valor no debe exceder los límites de operación de baja frecuencia del sistema. Para evitar la vibración de los álabes de las turbinas y su consiguiente daño por fatiga, el límite no debe ser menor que 58 a 58.5 Hz. Si las turbinas están permitidas de operar bajo este nivel pero dentro de un límite

de tiempo de fatiga, el esquema de desconexión de carga puede ser diseñado para permitir que la frecuencia caiga entre 56.5 y 57.5 Hz. Bajo este límite, las plantas de generación funcionarán forzosamente.

Si la más baja frecuencia calculada está bien por encima del menor valor tolerable de frecuencia de operación, el margen entre pasos o el número de pasos pueden ser incrementados para minimizar la posibilidad de una innecesaria desconexión de la carga. Si por el contrario, el límite de operación de baja frecuencia es excedido - en el peor de los casos de sobrecarga, una o más de las siguientes soluciones pueden ser aplicadas, después de lo cual los valores tienen que ser recalculados:

- a. Reduciendo intencionalmente los retardos de tiempo auxiliares.
- b. Usando un mayor valor de frecuencia para el primer paso, si es posible.
- c. Usando rápidos relés de frecuencia.

- d. Usando más exactos relés de frecuencia para reducir el margen de coordinación entre pa sos.
- e. Incrementando la proporción de carga a desconectarse en los primeros pasos de desconexión.
- f. Reduciendo el número de paso e incrementando el tamaño de los mismos.

Retardo de tiempo:

Una importante regla en los esquemas de desconexión de carga es el usar el mínimo retardo de tiempo posible consistente con la seguridad del relé. Si menor es el retardo, más fácilmente el esquema puede hacer frente a severas sobrecargas.

Existen naturalmente excepciones donde un retardo extra de tiempo puede ser necesario.

Localización de los relés de frecuencia:

En grandes sistemas, los relés de desconexión de carga deben estar repartidos a través de to do el sistema para evitar pesados flujos de pó

tencia e indeseables aislamientos. La desconexión de la carga en un área concentrada, por ejemplo, puede causar pesados flujos de potencia sobre las líneas de transmisión desde el área donde la carga fue desconectada hacia áreas de carga excesiva. Debido a la perturbación original, estas líneas pueden aún estar operando a altos niveles de emergencia, y una inconstante desconexión de carga puede causar sobrecarga térmica o inestabilidad en el sistema.

Concentradas pérdidas de generación en ciertas áreas además darán como resultado una dispersión de frecuencia; que significa que la frecuencia en las áreas de sobrecarga caerá más rápidamente que en otro lugar. La diferencia en frecuencias, produce rápidamente incrementos de los ángulos de torque en las líneas de transmisión, los cuales pueden causar que el sistema se salga del paso. Afortunadamente los relés de desconexión de carga en el área de mayor declinación de frecuencia dispararán primero. Esta acción alivia la dispareja sobrecarga, ayudando a regresar el sistema a una

cuencia uniforme, y evitando la inminente pérdida de sincronismo. Finalmente las prioridades de desconexión de carga tienen que ser establecidas.

La naturaleza de las cargas desconectadas puede usualmente ser controlada por medio del disparo de los alimentadores al nivel de distribución. La implicación es que los relés de frecuencia estarán instalados en muchas subestaciones de distribución y controlarán bloques de carga relativamente pequeños.

1.2. TEORIA DE OPERACION DEL RELE DE BAJA FRECUENCIA

Como la función exclusiva del relé de baja frecuencia es la de desconectar cierta cantidad de carga conforme la frecuencia desciende del valor nominal, entonces el relé de baja frecuencia resulta ser un interruptor de contactos normalmente cerrados controlado por frecuencia. Los contactos del relé se abrirán cuando la frecuencia de la línea descienda hasta un cierto valor preseleccionado y haya transcurrido un cierto intervalo de tiempo en esta condición. Como el relé es un pequeño aparato que no podría manejar directamente la desconexión de la carga necesaria para estabilizar

el sistema, el relé es más bien un interruptor de contactos normalmente abiertos que cierran en caso de una condición de baja frecuencia, activando de esta manera circuitos externos que disparan un disyuntor u otro dispositivo semejante.

En el relé se puede graduar digitalmente la frecuencia abajo de 60 Hz a la cual deberá producirse la desconexión de la carga y se puede también seleccionar digitalmente el tiempo (en ciclos), luego de lo cual se desconectará una vez que la frecuencia ha descendido hasta el valor de desconexión preseleccionado. Indica además por medio de despliegues visuales, la diferencia - entre la frecuencia de disparo y la frecuencia nominal en Hertz, el retardo en ciclos y el número de veces - que el relé se ha disparado.

El relé consta de dos entradas y una salida:

- Entrada del voltaje de alimentación
- Entrada sensora
- Salida al circuito externo de disparo

Entrada del voltaje de alimentación:

A esta entrada llegan 120 voltios de valor eficaz, que son los que suministran a través de la fuente de po

der, la energía necesaria para el funcionamiento de todos los circuitos internos del aparato.

Entrada sensora:

Aquí llega la línea a la cual se va a sensar su frecuencia. Como estas líneas son de alta tensión, el relé se conecta al secundario de un transformador y la línea de alta tensión al primario de dicho transformador. Estos transformadores ya se encuentran instalados en las subestaciones y proveen a los elementos de protección la señal sensada de la línea, pero a un voltaje de 120 voltios de valor eficaz. De esta manera el relé recibe esta señal para que sea sensada y realice de acuerdo a la frecuencia de esta señal su trabajo de protección.

Salida al circuito externo de disparo:

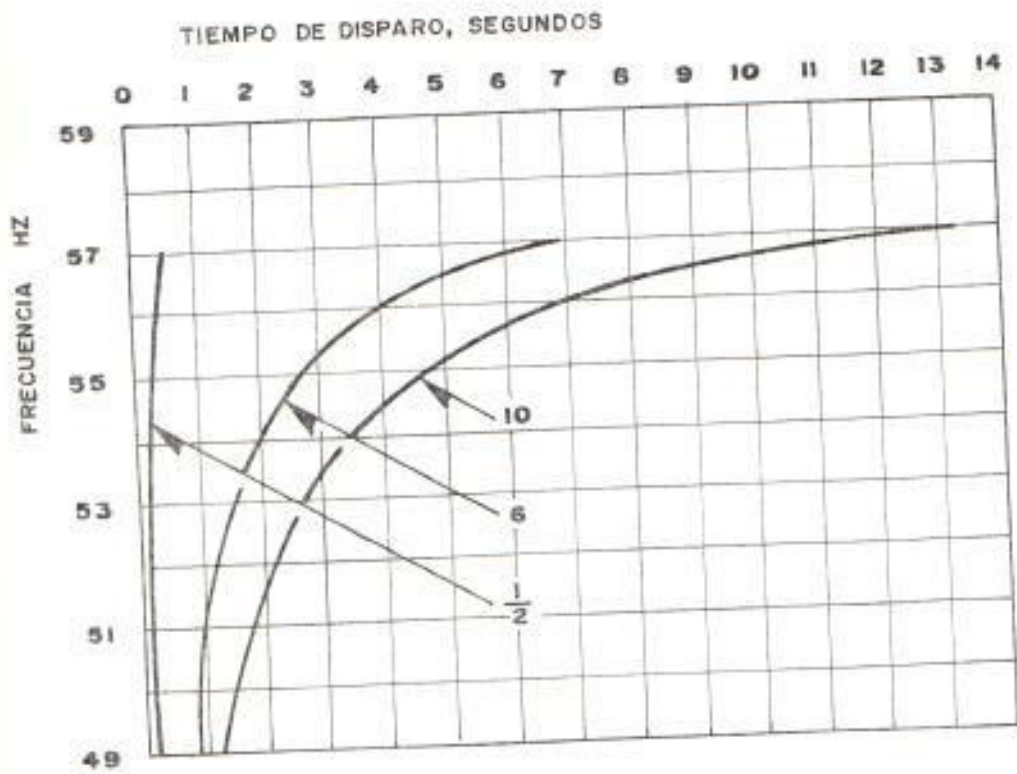
Esta salida no es más que un dispositivo electrónico que tiene la función de "switch", esto es que permanece abierto mientras no se produce el disparo, al producirse el disparo del relé este "switch" o interruptor se cierra, energizando un circuito externo de disparo. Este circuito externo de disparo es el que produce la desconexión de la carga, entonces el disparo del relé es la energización del circuito externo de disparo cuando se han cumplido las condiciones de ba

ja frecuencia que ameritan la desconexión de la carga.

1.2.1. Comparación de diversas arquitecturas

Existen tres tipos de relés de baja frecuencia. El relé de disco de inducción y el relé de cilindro de inducción son ambos electromecánicos y usan una red sensitiva de frecuencia por medio del desplazamiento de fase. El tercer y más sofisticado tipo de relé es el que usa dispositivos electrónicos o de estado sólido para una programación más exacta y estable. Todos los relés de baja frecuencia usan un voltaje AC proveniente de un transformador o un dispositivo capacitivo para hacer la medición de frecuencia.

Relé de baja frecuencia de disco de inducción: Este relé funciona por el principio de dos flujos AC cuyas relaciones de fase cambian con la frecuencia para producir el torque de abertura de los contactos encima del valor de frecuencia programado y produciendo el torque de cerramiento bajo este valor. Las curvas características de este tipo de relé para una frecuencia programada de 58 Hz están dadas por la figura N° 1.3.



TIEMPO DE DISPARO EN SEGUNDOS DESDE QUE LA FRECUENCIA
EMPIEZA A DESCENDER (FRECUENCIA INICIAL 60 HERTZ)

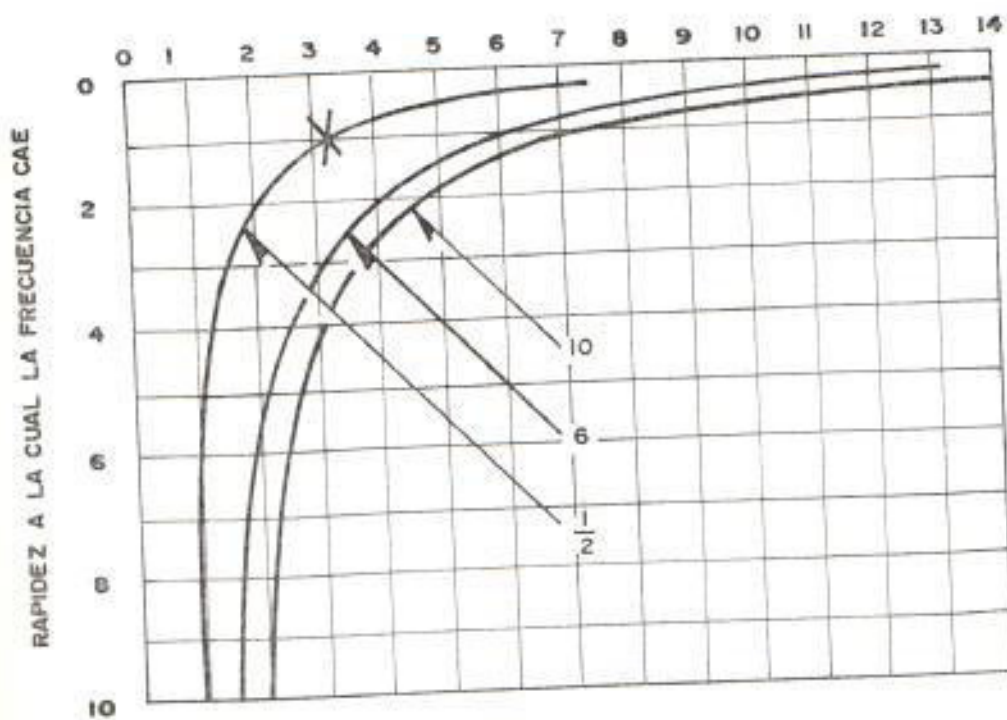


FIGURA 1.3

Como las curvas de la figura N° 1.3., lo muestran, tiene una relación inversa entre el tiempo y la condición de baja frecuencia. El parámetro nivelador de tiempo, referido al ajuste para la separación inicial de los contactos, el cual determina el tiempo de operación para una frecuencia aplicada conocida. Para predecir el comportamiento del relé durante una perturbación de frecuencia, la forma gráfica más usada es usando el tiempo de operación como una función de la rapidez de cambio de frecuencia.

El relé de disco de inducción es exacto para un rango de 0.1 a 0.2 Hz de programación, dependiendo de la temperatura y las variaciones del potencial AC. Este relé fue diseñado para aplicaciones donde una alta velocidad de disparo no es esencial.

El tiempo de operación de este relé puede ser calculado de la siguiente manera: si el relé es usado en un sistema en el cual $H = 8$ y que está sujeto a un 31 % de sobrecarga, la rapidez de declinación inicial de la frecuencia entre 60 y 58 Hz., puede ser calculada usando la

ecuación (1.1)

$$R = \frac{(0.85)(0.31)(-2)}{8(0.0656)} \quad (1.4)$$

$$= -1,0 \text{ Hz/s}$$

Estos relés tienen una programación de frecuencia de 58 Hz y una programación del dial de tiempo de 1/2; ellos están conectados a breakers con un tiempo de disparo de seis ciclos. La figura N° 1.3., muestra que para una declinación de frecuencia de 1 Hz/s en el punto X, el relé disparará 3.2 segundos después que la perturbación empiece.

Aunque la declinación de frecuencia puede no ser detenida hasta que las cargas conectadas sean desenergizadas, todos los retardos de tiempo externos (incluyendo el tiempo de interrupción del breaker) tiene que ser sumado al tiempo del relé. Sumando el tiempo de 6 ciclos del breaker, ó 0.1 segundos, da un total de 3.3 segundos desde el inicio de la perturba

ción hasta la interrupción de la carga. Con una declinación de 1 Hz/s, la frecuencia de interrupción de la carga será $3,3 \times 1 = 3,3$ Hz bajo la frecuencia normal ó 56,7 Hz.

Relé de baja frecuencia de cilindro de inducción: Este relé es más exacto y mucho más rápido que el relé de disco de inducción. El principio de operación sin embargo es el mismo: dos flujos AC, cuyas relaciones de fase cambian con la frecuencia, para producir el torque de cerramiento de los contactos cuando la frecuencia desciende bajo el valor programado. Los contactos tienen una separación inicial fija y pueden cerrar de 5 a 6 ciclos después de la aplicación de un potencial de baja frecuencia.

El desplazamiento de fase en el potencial AC de suministro, resultante de una falla, puede aparecer ante el relé como un rápido cambio de frecuencia, y podría resultar un cerramiento incorrecto de los contactos del cilindro.

Por esta razón, un retardo intencional de por lo menos 6 ciclos tienen que ser añadidos al tiempo de operación del relé antes del disparo. Este

retardo puede ser obtenido por medio de un relé telefónico de 6 ciclos o energizando un temporizador en el relé. La exactitud de la programación de frecuencia de este relé es de 0,1 Hz. , dependiendo de los cambios de temperatura y voltaje.

Las características de disparo para el relé de cilindro de inducción son mostradas por la figura N° 1.4. Este tipo de gráfico es usado para predecir la frecuencia a la cual el disparo va a ocurrir durante una declinación de la frecuencia. Este además revela como la frecuencia va a continuar cayendo después que la frecuencia programada en el relé sea sobrepasada durante el tiempo que el relé está operando. Como resultado, la frecuencia de cerramiento de los contactos va a ser un poco más baja que el valor programado.

El parámetro de los ciclos de retardo asociados con cada curva de esta familia es el tiempo de retardo intencionalmente colocado después que los contactos de la unidad de cilindro cierran. El gráfico de la figura N° 1.4., incluye el

RELACION PARA UN RELE ELECTROMECHANICO

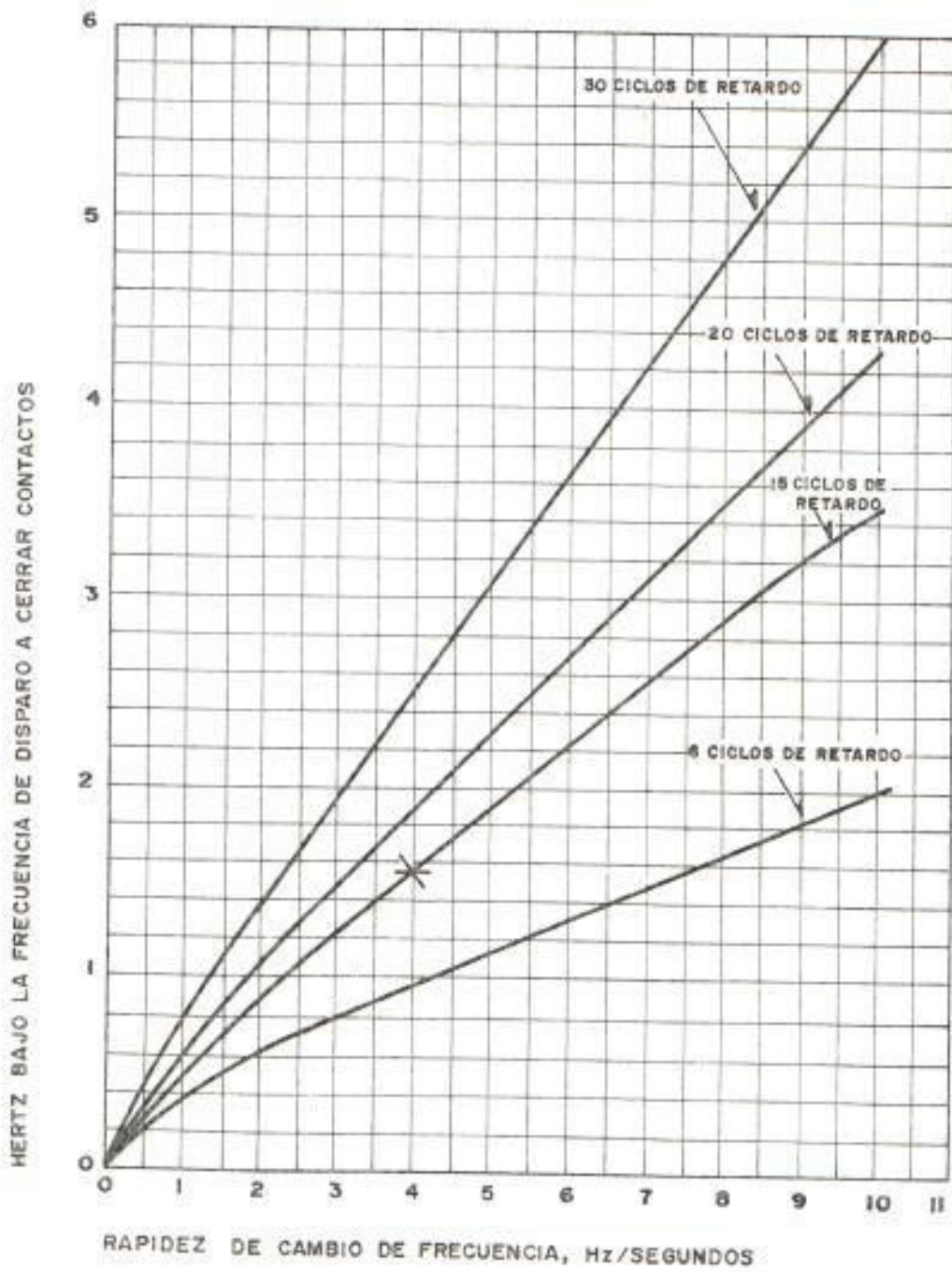


FIGURA 1.4

tiempo de operación inherente a la unidad de cilindro. Un examen de la curva de retardo de 6 ciclos con una declinación de frecuencia de 10 Hz/s indica que los contactos cerrarán cuando la frecuencia este 2 Hz debajo de la frecuencia de disparo programada. El tiempo total de operación va a ser:

$$\frac{2}{10} \times 60 \text{ (bax)} = 12 \text{ ciclos} \quad (1.5)$$

En otras palabras, la unidad de cilindro va a operar en 6 ciclos, y el temporizador añade un retardo de 6 ciclos.

El tiempo desde la perturbación hasta la interrupción, usando el relé de cilindro de inducción, puede ser calculado de la siguiente manera. Asumiendo que el relé está siendo utilizado en un sistema donde $H = 2$ y el cual tiene un 31 % de sobrecarga, rapidez inicial de declinación de frecuencia es 4 Hz/s (ecuación (1.1)). Si el temporizador de retardo está colocado a 10 ciclos, y el relé dispara un breaker de 5 ciclos, el retardo total efectivo en

desconectar la carga es de 15 ciclos. La figura N° 1.4., indica que si el relé está programado para disparar a 59,0 Hz., la carga realmente será desconectada en el punto X, 1,55Hz bajo lo programado, ó a 57,45 Hz. Así el tiempo desde la perturbación hasta la desconexión es:

$$\frac{60,0 \text{ Hz} - 57,45 \text{ Hz}}{4 \text{ Hz/s}} = 0,64 \text{ seg.}$$

(1.6)

1.2.2. Comparación y explicación general del funcionamiento

Este relé combina un reloj controlado por un cristal de cuarzo con un circuito digital de cuenta para dar mayor exactitud, estabilidad y rápida operación. En suma este relé es insensitivo a transientes desplazamientos de fase provocados por fallas.

La figura N° 1.5., muestra un diagrama de bloque simplificado del relé. Un potencial AC debidamente filtrado es aplicado a un detector -

DIAGRAMA DE BLOQUE DEL RELE ELECTRONICO

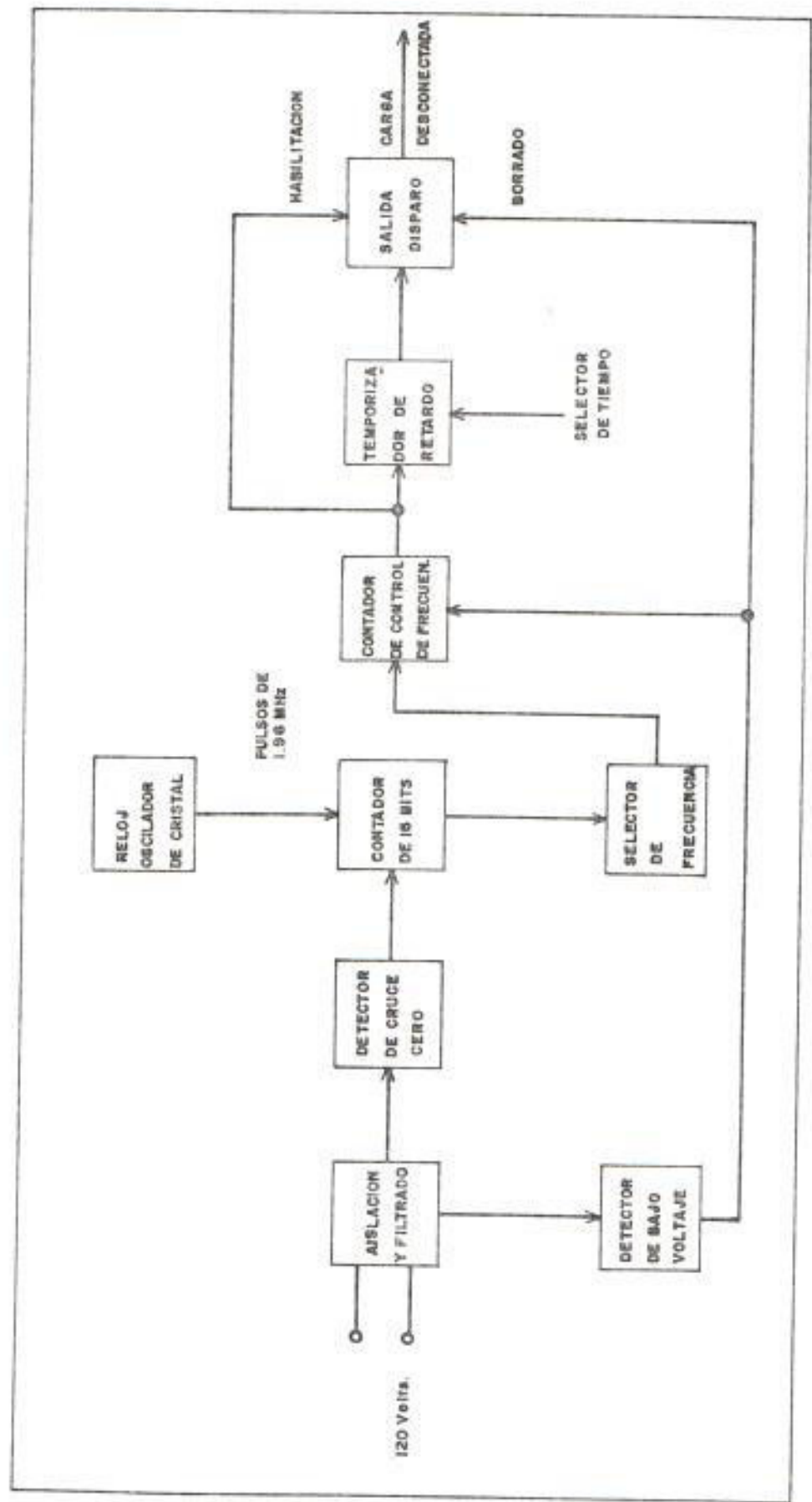


FIGURA 1.5

de cruce por cero, el cual envía un pulso cada vez que la onda AC cruza por cero. Este pulso define el período de la forma de onda y es usado para disparar la acumulación de pulsos de reloj generados por un oscilador de cristal de 1,96 MHz en un contador binario de 16 bits.

El siguiente pulso de cruce por cero señala el final del período y el circuito detector de período chequea la cantidad de pulsos acumulados.

El contador es entonces encendido para el siguiente ciclo y una nueva cuenta es empezada. Si la frecuencia disminuye, el período aumenta y el número de pulsos de reloj acumulados en el contador de 16 bits durante cada ciclo, también aumenta.

El relé es programado colocando una serie de dígitos en binario al circuito detector de período. Las entradas son puestas al contador binario para la correspondencia de período a la frecuencia de disparo. Si el circuito detector de período sensa que la cuenta acumulada es mayor que la indicada por la programación -

del relé, el detector de período indica al con tador de control de disparo que un ciclo de baja frecuencia ha sido detectado. El conta- dor de control de disparo inmediatamente ener- gizará el temporizador de retardo de tiempo, pe ro no habilitará la salida de disparo del cir cuito hasta que tres ciclos consecutivos de ba ja frecuencia sean detectados. La salida de disparo va a encerrar y parar el temporizador - sólo después de dos ciclos consecutivos con - frecuencia mayor que el valor programado hayan sido detectados.

La frecuencia de disparo del relé es exacta en 0,007 Hz de la frecuencia programada. El tiem po mínimo total de operación es 4 ciclos, in cluyendo un ciclo para accionamiento del relé telefónico interno. El temporizador de retardo es ajustable en incrementos de un ciclo desde 2 hasta 99 ciclos, 33,3 ms. a 1,65 segundos . Este empieza después del primer ciclo detectado de baja frecuencia.

Si el potencial AC cae bajo 40 VAC, un detector de bajo voltaje bloquea la cuenta de baja fre

cuencia en el contador de control de disparo y deshabilita la salida de disparo.

El comportamiento de este relé puede ser predicho usando la figura N° 1.6. El parámetro de los ciclos de retardo en cada curva corresponde al retardo programado en el panel frontal del relé.

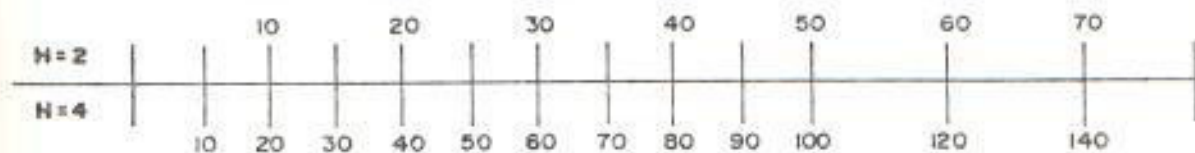
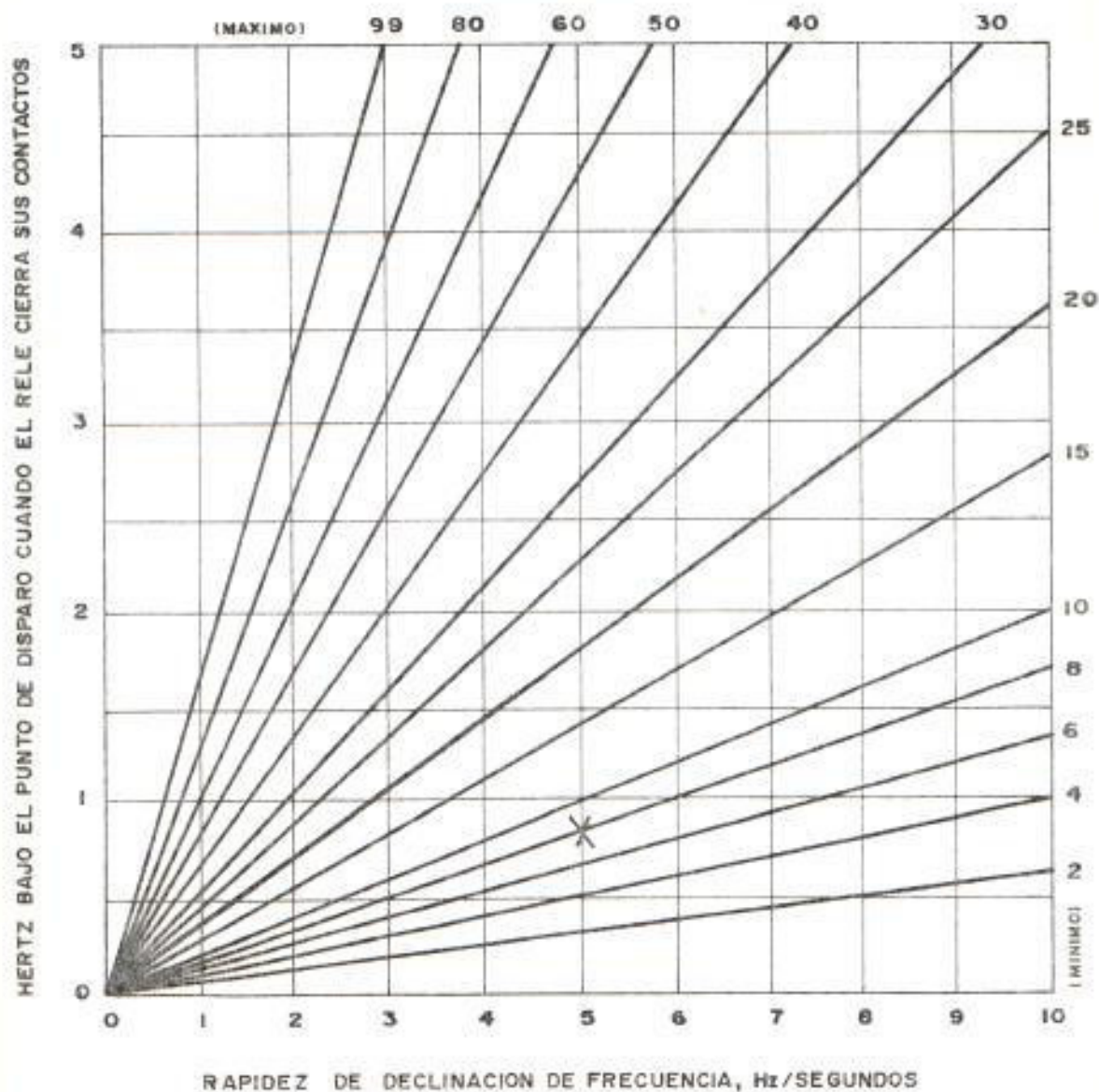
Las curvas están graficadas para mostrar el tiempo total de operación del relé, el cual es aproximadamente dos ciclos mayor que el valor programado.

Nuevamente el retardo externo tiene que ser añadido al programado cuando se quiera determinar el tiempo o la frecuencia a la cual la curva será desconectada. Las líneas indicadoras de sobrecarga debajo de la figura N° 1.6., indica el porcentaje de sobrecarga a la rapidez inicial de declinación de la frecuencia, basada en la ecuación con un intervalo de frecuencia de 60 - 58 Hz y un factor de potencia de 0.85.

El tiempo total desde el inicio de la perturba

RELACION PARA UN RELE ELECTROMECHANICO

CICLOS DE RETARDO EN UNA BASE DE 60 Hz



PORCENTAJE APROXIMADO DE SOBRECARGA EN EL SISTEMA
(ASUMIENDO CARGA CONSTANTE CON LA FRECUENCIA)

FIGURA 1.6

ción hasta la desconexión de la carga es calculado como sigue. Asumiendo que el relé está funcionando en un sistema donde $H = 2$ y el cual tiene un 38,5 % de sobrecarga. La rapidez de declinación de la frecuencia es 5 Hz/s (ver figura N° 1.4). Si el relé está programado para un retardo intencional de 3 ciclos (50 ms) y está conectado para disparar un breaker de 5 ciclos para desconectar la carga, la curva de retardo es 8 ciclos. Con una programación de frecuencia de 59,5 Hz y una curva de retardo de 8 ciclos, en la figura N° 1.4., se encuentra que cantidad de carga va a ser desconectada a 0,83 Hz el valor programado en el relé, o 58,67 Hz. Aunque el relé tenga un tiempo de operación de dos ciclos mayor que el retardo intencional, el tiempo total para la interrupción es 10 ciclos (0,17 seg.).

El tiempo total desde el inicio de la perturbación hasta la desconexión de la carga es:

$$\frac{60,0 \text{ Hz} - 58,67 \text{ Hz}}{5 \text{ Hz/s}} = 0.27 \text{ seg.} \quad (1.7)$$

1.2.3. Diagrama Básico General de Bloques

En la siguiente página podemos encontrar - la figura N° 1.7., la cual nos muestra de manera muy clara, el Diagrama Básico General de Bloques

DIAGRAMA GENERAL DE BLOQUES

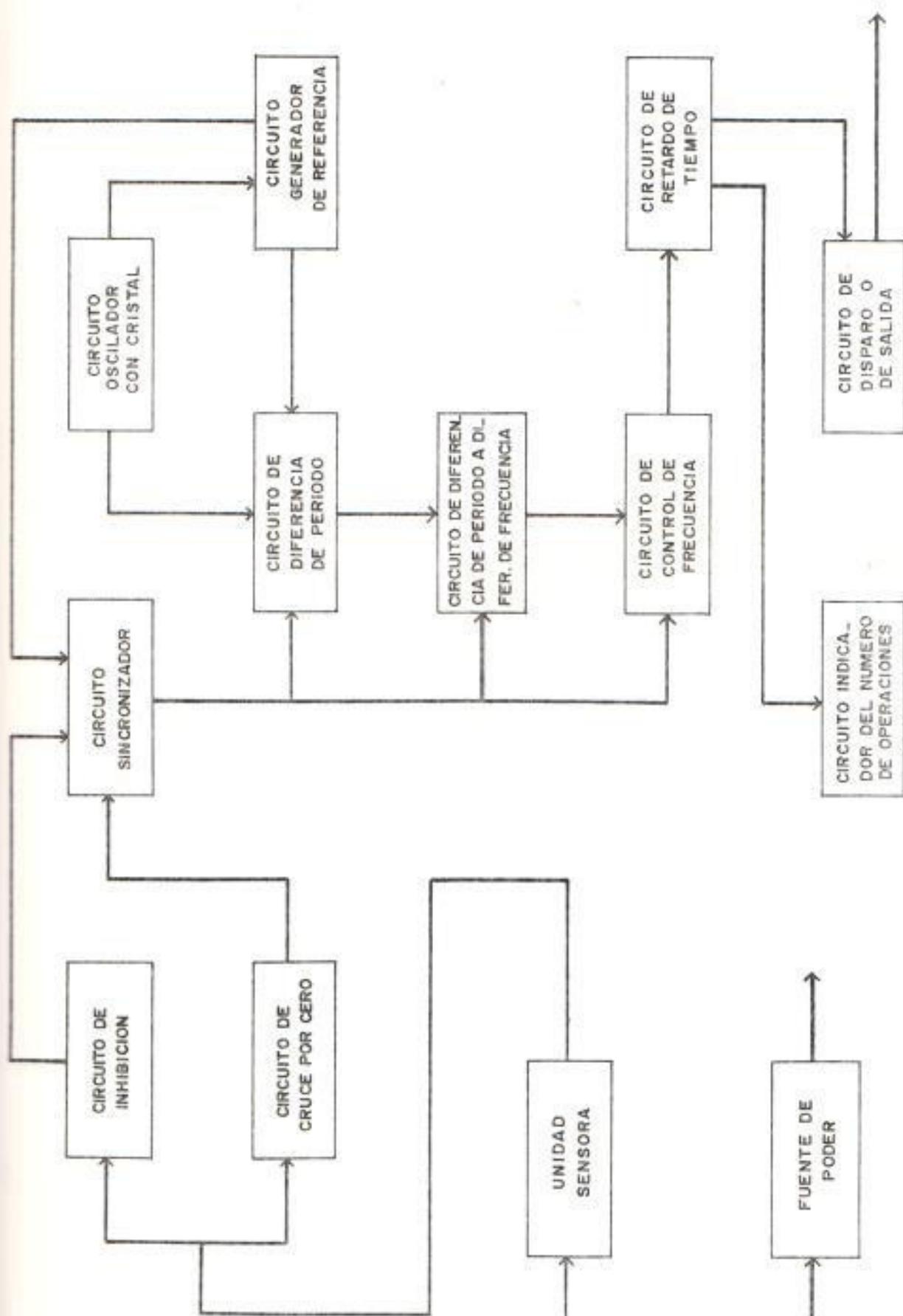


FIGURA 1.7

1.2.4. Descripción General del Diagrama de Bloques

Entrada sensora:

Una sola fase de 120 Vrms, un transformador provee la señal apropiada al circuito inhibidor de voltaje y al circuito detector de cruce por cero.

Circuito inhibidor de voltaje:

Este circuito previene el disparo debido a las condiciones de transiente, este se inhibe de de sensar condiciones de baja frecuencia, proveyendo una señal de inhibición al circuito sincronizador hasta que el voltaje de entrada sea mayor que el mínimo requerido para que el relé sea -operable.

Circuito detector de cruce por cero:

La frecuencia del voltaje sensado es determinada midiendo el período de la señal. Este circuito mide el período generando un pulso cada -vez que la onda cruza por cero, el tiempo entre los pulsos es inversamente proporcional a la -frecuencia de la señal de entrada. Estos pulsos son aplicados al circuito sincronizador.

Oscilador con cristal de referencia:

Es un cristal de 4 megahertz que controla un oscilador, el cual es usado para proveer una adecuada referencia al circuito de referencia de 60 Hz y al circuito de diferencia de período.

Circuito sincronizador:

Este circuito genera el pulso de cruce por cero sincronizado, el cual es usado para sincronizar el circuito de referencia de 60 Hz con el pulso de cruce por cero. Cada vez que un pulso de cruce por cero sincronizado ocurre, una nueva comparación es empezada.

Circuito de referencia de 60 Hz.:

Este circuito genera una señal cada 16,6667 milisegundos (período de 60 Hz) después de un sincronizado pulso de cruce por cero. Esta señal es generada desde el oscilador con cristal de referencia, contando el número de pulso desde el oscilador y proveyendo una señal de salida cuando la cuenta del apropiado número de pulsos es alcanzada.

Circuito de diferencia de período:

Este circuito inicia un tren de pulsos, el cual

empieza cuando aparece el pulso de referencia de 60 Hz y termina cuando ocurre el pulso sin cronizado de cruce por cero. El tiempo de tramo entre estos dos pulsos es la diferencia en período de la frecuencia nominal. Cada pulso del tren representa un microsegundo de diferencia en período.

Circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia:

Este circuito convierte el tren de pulsos proveniente del circuito de diferencia de período, a un pulso por cada 0.05 Hz de diferencia de la frecuencia nominal.

Circuito comparador de control de frecuencia:

Este circuito cuenta el número de pulsos provenientes del circuito de diferencia de frecuencia y compara este valor con el que está preseleccionado en el control de frecuencia. Cuando la frecuencia decrece bajo la diferencia establecida en el control de frecuencia, un pulso de salida es aplicado al circuito de tiempo.

Circuito de retardo de tiempo definido:

Este circuito cuenta el número de ciclos conse

cutivos de operación en baja frecuencia.

Cuando la cuenta es igual al valor grabado en el control de retardo de tiempo, un pulso es generado al circuito de disparo de salida.

Circuito de disparo:

Este recibe la señal desde el circuito de retardo de tiempo, la cual dispara el scr de salida.

Circuito indicador del número de operaciones:

Este circuito cuenta el número de veces que el relé se ha disparado.

C A P I T U L O II

UNIDAD SENSORA, DE INHIBICION Y DE CRUCE POR CERO

2.1. CIRCUITO SENSOR

No es un circuito, su función es la de proveer al relé de una señal que sea fiel reproducción de la señal sensada, pero de menor valor de voltaje para que puede ser utilizada por los circuitos integrados.

Como en realidad lo que interesa es sensar la frecuencia, se transforma la señal que es alterna a cualquier valor de voltaje, sabiendo que esto no altera su frecuencia.

2.1.1. Características de la señal sensada

La señal sensada es monofásica, con un voltaje nominal de 120 voltios y una frecuencia nominal de 60 Hz. Es decir el voltaje normalizado de acometida de INEN.

2.1.2. Acondicionamiento de la señal sensada

La señal sensada es acondicionada solamente en voltaje, esto es para que pueda ser usado por los circuitos integrados TTL. En cuanto a la frecuencia, por ser esta el parámetro crítico a ser medido, no sufre ninguna alteración y pasa directamente a ser medido.

2.2. CIRCUITO INHIBIDOR DE VOLTAJE

Este circuito inhibe a los demás de sensar señales de transiente que provocan un disparo errado del relé, sobre todo en el momento de la energización del aparato.

2.2.1.-Condiciones de transiente que se abstiene de sensar

La condición principal de transiente que el relé no sensa es la de bajo voltaje, ya que esta es la principal razón de disparo errado en los relés de baja frecuencia.

2.2.2.Análisis de la señal de inhibición

La señal de inhibición es un pulso de nivel bajo

que inhibe los circuitos posteriores, de esta manera es difícil que el relé se dispare por una condición de transiente, ya que los circuitos se encuentran inhibidos hasta que la condición sea superada. Es un pulso de nivel bajo porque los circuitos TTL tienen una característica en común, que es la de que su entrada de "enceramiento" es verdadera con nivel bajo, es decir trabajan con lógica negada.

2.3. CIRCUITO DETECTOR DE CRUCE POR CERO

Este circuito provee un pulso, cada vez que la onda de la señal sensada sea cero, tanto en sentido positivo como en sentido negativo.

2.3.1. Relación frecuencia período

La distancia (en tiempo) entre pulsos de cruce por cero representa la mitad del período de la señal, por consiguiente la distancia de un pulso no al siguiente sino al consecutivo será el período de la señal. De esta manera se tiene ya una medida de la frecuencia porque el período es el inverso de la frecuencia, sin embargo el relé utiliza sólo la medida del período para todo el

funcionamiento de sus circuitos.

2.3.2. Generación del pulso de cruce por cero

Debido a que la única función de este circuito es la de entregar un pulso de nivel de voltaje compatible con circuitos integrados TTL, y que este pulso ocurra cada vez que la onda cruce por cero en cualquier sentido, la generación del pulso de cruce por cero no reviste mayor dificultad. El pulso de cruce por cero es generado por un circuito integrado diseñado especialmente para esta función y al que solamente es necesario añadirle una pequeña red externa, que es la que le da las características del pulso, esto es su nivel de voltaje y su ancho.

2.4. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS

2.4.1. Diagrama Esquemático

En la página siguiente encontramos la figura N° 2.1., la cual nos muestra el Diagrama Esquemático.

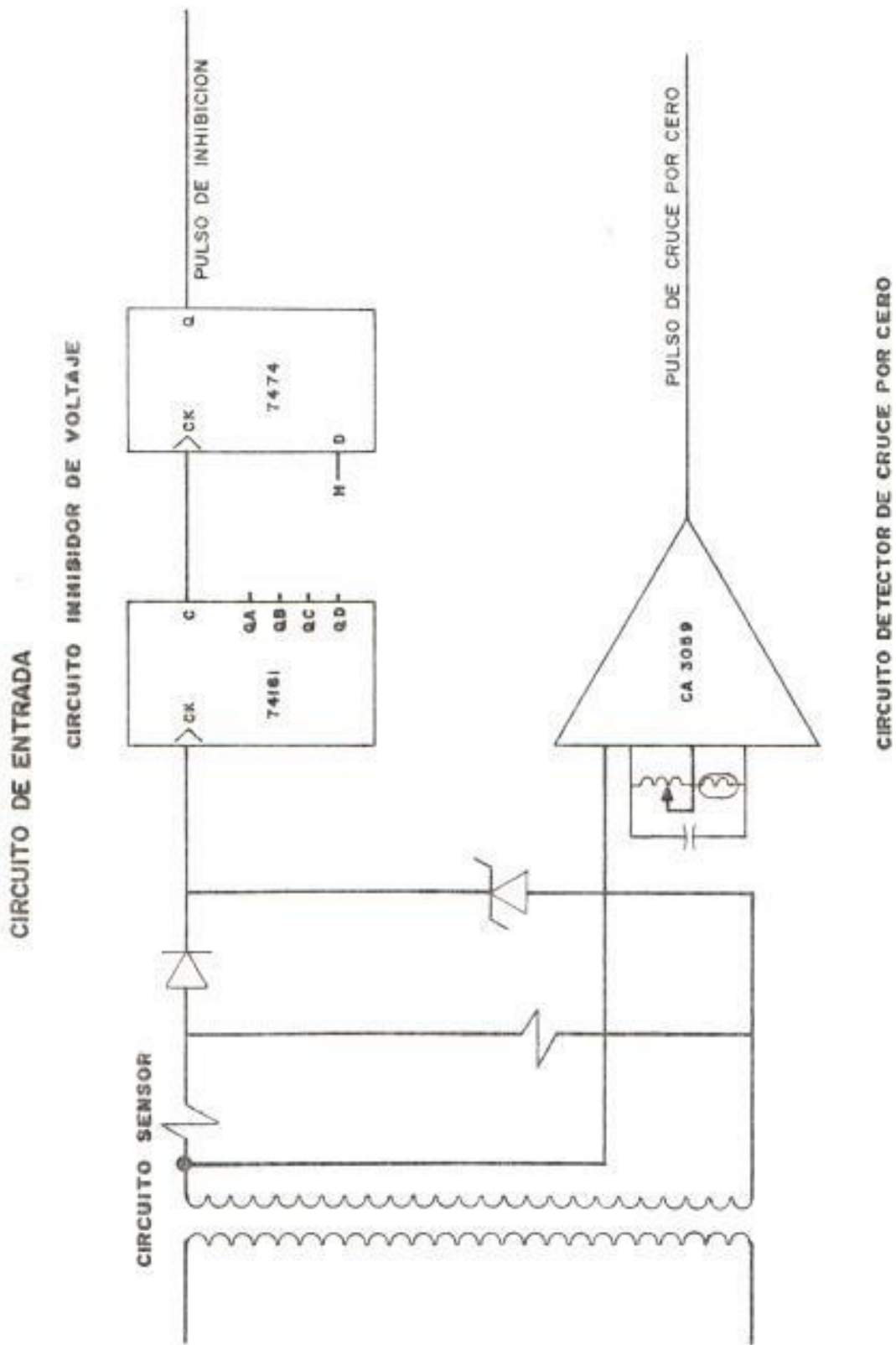


FIGURA 2.1

2.4.2. Cálculos Pertinentes

Circuito sensor:

El cálculo de la relación de vueltas del transformador sabiendo que el voltaje de entrada es 120 voltios y se necesita que sea transformado a 12 voltios, entonces:

$$N_2 = 120/12 \times 1 = 10 \quad (2.1)$$

la relación de vueltas es de 10 a 1.

Circuito inhibidor de voltaje:

Este circuito provee un retardo de 16 ciclos, ya que después de contar hasta 16 el número de ciclos, el relé empezará a funcionar. El retardo en tiempo es:

$$t_r = 1/16 \text{ ciclos} = 0,0625 \text{ segundos}$$

Circuito detector de cruce por cero:

El ancho del pulso de cruce por cero debe ser menor a la mitad del ciclo de la señal sensada, de manera que dos pulsos consecutivos de cruce por cero no se intercepten. El tiempo del semiperíodo o mitad del período es 0,0083333 segundos -

(1/120 Hz), entonces el ancho del pulso tiene que ser menor a 0,008333 segundos, pero sería mejor - si fuera igual a la mitad de este valor es decir 0,0041666 segundos.

2.4.3. Descripción del circuito y Diagrama de bloques

Circuito sensor:

Este circuito está formado por un transformador - con relación de vueltas de 10 a 1, es decir en tran al primario 120 voltios de valor eficaz y sa len en el secundario 12 voltios de valor eficaz. Este transformador es de baja potencia, ya que no se requiere mucha corriente en el proceso de de tección de cruce por cero de la onda sensada.

Circuito inhibidor de voltaje:

Consta de un divisor de voltaje, un diodo común, un diodo zenner de 5 voltios, un contador binario asincrónico <74161>, un flip-flop tipo D <7474>. El divisor de voltaje reduce el voltaje a un nivel adecuado, mientras el diodo rectifica la onda y el zenner funciona hasta que el voltaje sea el - adecuado, una vez alcanzado el nivel adecuado de voltaje, el zenner recorta los pulsos a voltios, haciendo contar al contador, el cual provee un re

tardo hasta que la salida de transporte "carry" del contador permite al flip-flop tipo D habilitar los circuitos posteriores.

Circuito detector de cruce por cero:

Consta de un sólo circuito integrado, el CA3059 que es un "chip" que sensa el cruce de la onda por el nivel cero y emite un pulso cada vez que este cruce existe ya sea en sentido positivo o en sentido negativo. Este circuito no requiere de un voltaje de polarización ya que utiliza el voltaje al que va a sensar el cruce por cero, sin embargo como interiormente tiene un diodo zenner de 6 voltios es necesario que el voltaje sensado sea siempre mayor a 6 voltios.

De acuerdo a las especificaciones en el manual de operación del Ic CA 3059, se le debe añadir un circuito externo formado por un capacitor, una resistencia y un potenciómetro, para graduar las características del pulso.

2.4.4. Optimización

Circuito sensor:

Es un transformador, lo que hace sumamente sen-

cillo este circuito.

Circuito inhibidor de voltaje:

Este circuito fue mejorado de una manera sencilla, al hacer el retardo que es de 16 ciclos por medio del contador, tiempo suficiente para que cualquier transiente de voltaje sea superado, inhabilitado - además por intermedio del zenner cualquier voltaje menor al especificado.

Circuito detector de cruce por cero:

Este circuito hubiera podido requerir algunos elementos para realizar su función, pero se optimizó esto con la existencia en el mercado de un circuito integrado al que sólo es necesario alimentar - con la señal sensada y este entrega el pulso de cruce por cero.

2.4.5. Selección de componentes

Circuito sensor:

Este transformador se selecciona sólo por número - de vueltas sin tomar mucho en cuenta su requerimiento de potencia, la que siempre es menor al mínimo para el cual son diseñados estos elementos.

Circuito inhibidor de voltaje:

El criterio de selección de componentes en este circuito, el cual es digital, es el mismo que para el resto de elementos del relé, es decir - que sean circuitos integrados digitales TTL de la serie 74.

Circuito detector de cruce por cero:

Por economía, reducción de tamaño y otros criterios de optimización se escogió un circuito integrado lineal que realiza exactamente la misma función que se requiere que realice este circuito. Este circuito es el CA 3059 y es el único circuito integrado lineal en el relé.

2.5. CONSTRUCCION

2.5.1. Lista de materiales

La siguiente lista de materiales necesarios para la construcción de la unidad sensora, de inhibición y de cruce por cero:

- 1 IC 74161 < contador binario asincrónico de 4 bits >

- 1 IC 7474 < flip - flop tipo D >
- 1 IC CA 3059 < Detector de cruce por cero >
- 1 Diodo zenner de 5 voltios 1/2 vatio
- 1 Diodo común 50 voltios 1/2 vatio
- 1 Potenciómetro 3 K ohmios 1/2 vatio
- 1 Capacitor 0,1 micro faradios 50 voltios
- 3 Resistencias 1/2 vatios y diversos valores re
sistivos.

2.5.2. Pruebas

- Circuito sensor: Al ponerle un voltaje eficaz externo de 120 V., la salida fue 12 V de valor eficaz (RMS), comprobando de esta manera el funcionamiento de este circuito.
- Circuito inhibidor de voltaje: Solamente envía el pulso que desinhibe al sistema una vez que el voltaje es mayor que el del Zeimer y luego de un retardo de 267 milisegundos dado por el contador, de acuerdo con la frecuencia del sistema.
- Circuito detector de cruce por cero: el pulso de cruce por cero es inmediato y su flanco positivo se inicia en el instante que la onda sensada cruza por

cero, siendo el retardo en el orden de los nono segundos, el cual es despreciable además porque es el mismo para cada flanco manteniéndose constante la distancia entre flancos positivos.

C A P I T U L O I I I

UNIDAD GENERADORA DE REFERENCIA Y SINCRONIZACION

3.1. CIRCUITO OSCILADOR CON CRISTAL DE REFERENCIA

Este circuito es el reloj del relé. Genera una onda cuadrada de cuatro mega Hertz (4 MHz), de frecuencia, y un nivel de voltaje de cinco voltios (5 voltios), compatible con circuitos integrados TTL. Este reloj será utilizado en otros circuitos como referencia o para hacer comparaciones.

3.1.1. Breve análisis de los cristales de cuarzo

Un cristal de cuarzo tiene la propiedad que cuando un esfuerzo mecánico es aplicado a través de las caras del cristal, una diferencia de potencial se produce a través de las caras opuestas del cristal. Esta propiedad de un cristal es llamada EFECTO PIEZOELECTRICO. Similarmente, un voltaje aplicado a través de las caras del cristal causa

una distorsión mecánica en la forma del cristal.

Un oscilador de cristal es básicamente un oscilador sintonizado usando un cristal piezoeléctrico como un circuito tanque resonante.

El cristal de cuarzo tiene una gran estabilidad para mantener estable la frecuencia a la cual el cristal ha sido originalmente diseñado para operar. De esta manera los osciladores de cristal son usados donde una gran estabilidad es requerida.

3.1.2. Generación de la onda cuadrada a alta frecuencia

La frecuencia natural de resonancia del cristal produce un voltaje muy pequeño, debido al efecto piezo eléctrico, pero este voltaje tiene la frecuencia del cristal, de manera que solamente será necesario amplificar este voltaje hasta los valores necesarios para obtener un reloj de frecuencia estable para manejar el sistema.

En el relé los voltajes necesarios son los nive

les TTL, de esta manera se logrará un excelente reloj usando los circuitos integrados apropiados de la serie 74.

3.2. CIRCUITO SINCRONIZADOR

Este circuito provee una onda que tiene el mismo periodo que la señal sensada, pero con niveles de voltaje compatibles con TTL. Esta onda en adelante se denominará: Pulso de cruce por cero sincronizado,

3.2.1. Generación del pulso de cruce por cero sincronizado

El pulso de cruce por cero sincronizado es generado a partir del pulso de cruce por cero, con el primer flanco positivo del pulso de cruce por cero, el nivel de voltaje del pulso sincronizado de cruce por cero cambia de "0" a "1" lógico, con el segundo flanco positivo del pulso de cruce por cero, el nivel de voltaje del pulso sincronizado de cruce por cero regresa nuevamente a "0" lógico. Para el siguiente flanco positivo del pulso de cruce por cero, nuevamente cambia de nivel el pulso sincronizado de cruce por cero. Entonces con cada flanco positivo del pulso de cru

ce por cero el nivel de voltaje del pulso de cruce por cero sincronizado cambia, si esta en "0", lógico cambia a "1" lógico y viceversa como lo indica la figura.

De la figura N° 3.1., se tiene que el tiempo entre flancos positivos es el período, que existe además un flanco negativo y que la distancia de un flanco negativo a uno positivo es el semiperíodo o la mitad del período.

Se tiene ya una medida del período de la señal - sensada, el cual no es más que el tiempo entre los flancos positivos del pulso sincronizado de cruce por cero, por tanto es necesario ahora tener una referencia para saber si este período corresponde a una frecuencia de 60 Hz o si esta ha descendido. Además el tiempo entre el flanco positivo y el flanco negativo del pulso de cruce por cero sincronizado es el semiperíodo (mitad del período). Este semiperíodo será el que sirva para hacer las comparaciones y sincronizaciones con el resto del sistema.

3.2.2. Coordinación con el sistema

El flanco negativo del pulso de cruce por cero -

DIAGRAMA DE TIEMPO QUE INDICA LA RELACION
ENTRE LA SEÑAL SENSADA Y EL PULSO DE CRUCE POR
CERO

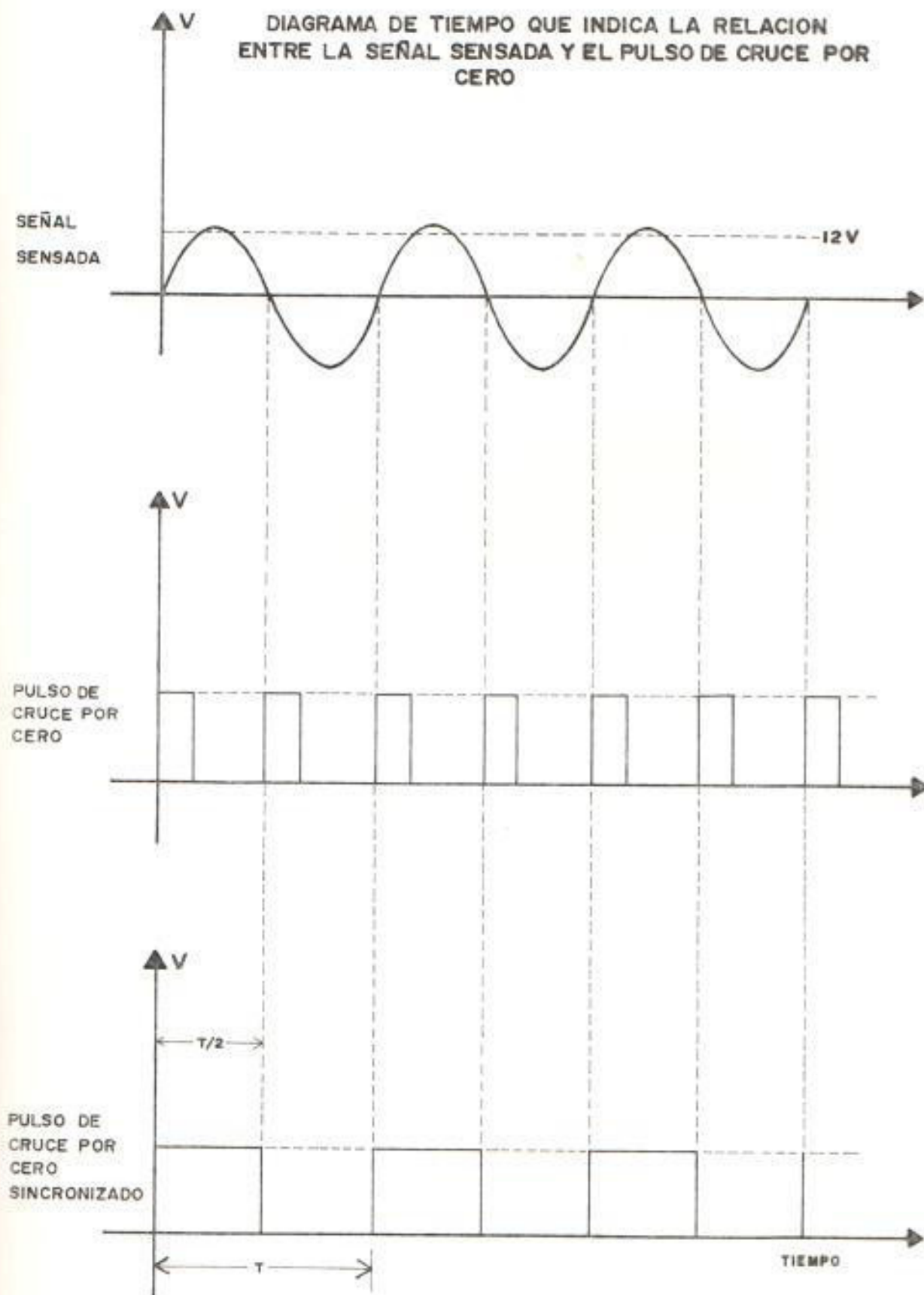


FIGURA 3.1

sincronizado deshabilita todos los circuitos posteriores manteniéndolos en esta condición mientras permanece en nivel bajo, volviéndolos a habilitar el flanco positivo de este pulso. De esta manera el pulso de cruce por cero sincronizado coordina todo el sistema de manera que todas las operaciones del relé se realicen solamente en el instante y bajo las condiciones necesarias para su correcto funcionamiento.

3.3. CIRCUITO GENERADOR DE LA REFERENCIA (60 Hz)

Este circuito da una referencia de 60 Hz exactos, esta referencia sirve para compararla con la señal sensada y de acuerdo al resultado tomar las acciones correspondientes. Pero como la comparación no se realiza con el período de la señal sensada sino con la mitad del período, la relación entre la frecuencia y el período es inversa, entonces no se compara con la frecuencia nominal (60 Hz) y se lo hace con el doble de este valor (120 Hz).

Así en realidad este circuito provee una referencia exacta de 120 Hz.

3.3.1. Generación de la señal por cuenta del número de pulsos

A partir de la relación inversa entre el período y la frecuencia se tiene que: si en vez de tomar el período (T) se toma el semiperíodo (T/2), entonces la frecuencia no será (f) valiendo en realidad (2f).

T = 0,0166666666 seg. ----- F = 60 Hz.

T = 0,00833333333 seg. ----- F = 120 Hz.

Para generar entonces una referencia de 120 Hz., teniendo un reloj de 4 MHz, es decir que envía - cuatro millones de pulsos por segundo, si se quiere obtener 0,0083333333 segundos es necesario contar hasta 33.333,33.

3.3.2. Lógica de Conteo

La forma de contar del circuito está íntimamente relacionada con el valor hasta el cual este circuito debe hacerlo. Este valor es fácil de obtener por una sencilla operación aritmética. Si se tiene cuatro millones de pulsos por segundo -

(4'000.000 pulsos/seg.) y se necesita ciento veinte ciclos por segundo (120 Hz)., dividiendo los $4'000.000/120 = 33.333,33$. Entonces si se cuenta 33.333,33 pulsos/seg. se obtendrá una referencia exacta de 120 Hz.

De esta manera el circuito cuenta desde cero hasta 33.333 y emite un pulso, el tiempo que se demora en realizar esta cuenta es 0,008333333 segundos ($T/2$), teniendo así una referencia casi exacta, pero no lo es precisamente porque cuenta sólo de uno en uno despreciando los decimales (0,33) . Aunque este valor decimal es despreciable porque representa unos pocos nano segundos.

La figura Nº 3.2., ilustra con un diagrama de tiempo el funcionamiento del circuito.

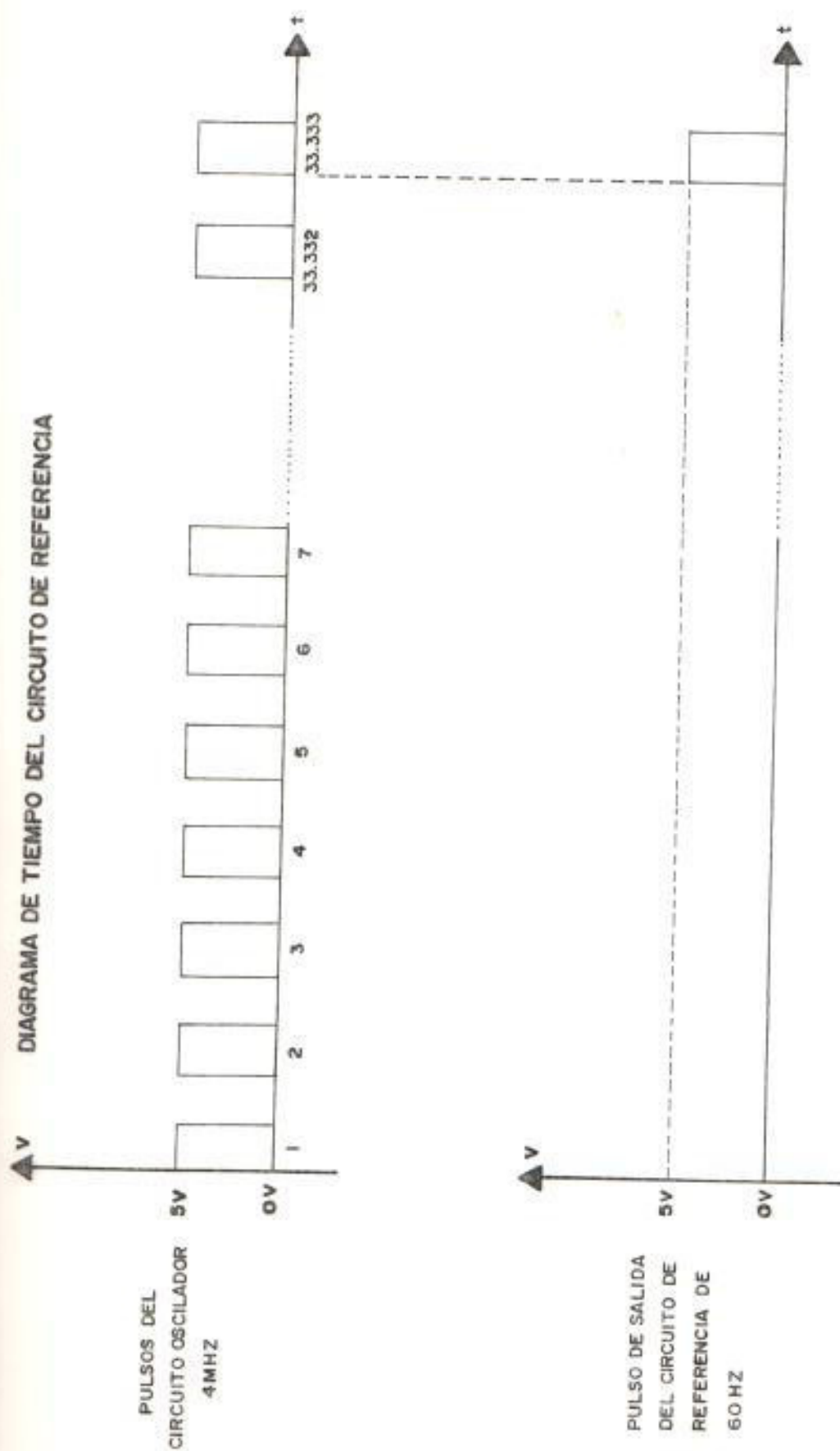


FIGURA 3.2

3.4. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS

3.4.1. Diagrama esquemático

En la página siguiente podremos apreciar la figura N^o 3.3., la cual nos muestra un circuito generador de frecuencia y sincronización .-



CIRCUITO GENERADOR DE FRECUENCIA Y SINCRONIZACION

CIRCUITO SINCRONIZADOR

CIRCUITO GENERADOR DE LA REFERENCIA

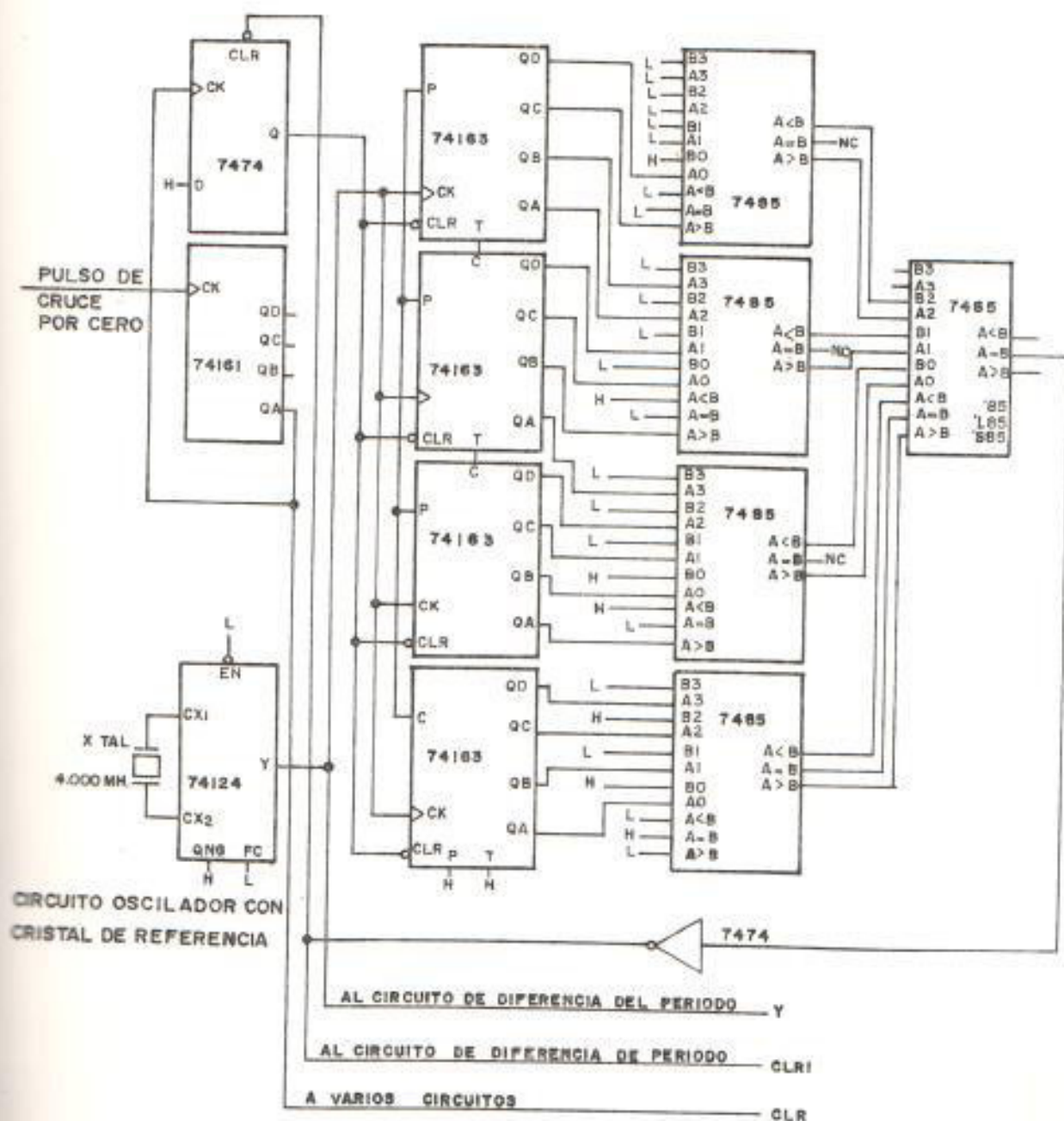


FIGURA 3.3

3.4.2. Cálculos pertinentes

Circuito oscilador con cristal de referencia:

Se necesita un reloj de 4 MHz porque es más fácil a partir de este valor, obtener un reloj de 1 MHz a través de un divisor de frecuencia.

Este reloj de 1 MHz será usado en el circuito de diferencia de período.

$$4 \text{ MHz} / 4 = 1 \text{ MHz.}$$

Además es un valor que no es tan elevado, como para hacer necesario el uso de elementos especiales de rápida respuesta, ni tan bajo que no permita una referencia prácticamente exacta.

Circuito sincronizador:

Este circuito en realidad es un divisor de frecuencia de los pulsos de cruce por cero, porque divide para dos el valor de su frecuencia.

Circuito generador de la referencia:

De una simple operación aritmética se sabe que para obtener una referencia de 120 Hz con pulsos de 4 MHz. de frecuencia es necesario contar hasta 33.333:

$$4'000.000 \text{ Hz}/120 \text{ Hz} = 33.333$$

Pero es necesario saber el valor de 33.333 en binario de esta manera puede ser usado como referencia en los circuitos digitales:

$$33.333 \text{ (DECIMAL)} = 1000001000110101 \text{ (BINARIO)}$$

Entonces los contadores digitales contarán en binario desde 0 hasta 1000001000110101.

3.4.3. Descripción del circuito y Diagrama de bloques

Circuito oscilador con cristal de referencia:

Este circuito está solamente formado por un circuito integrado 74124 y un cristal oscilador de Cuatro Mega Hertz (4 MHz). El (74124) es un oscilador especial que sólo requiere un cristal o un capacitor, que al ser conectados a las entradas respectivas del "Chip", producen a la salida una onda cuadrada de niveles TTL y con frecuencia de acuerdo al valor de la capacitancia o la frecuencia intrínseca del cristal, según sea el caso.

Circuito sincronizador:

Este circuito consta de un contador binario de 4 bits

(74161) y un Flip-Flop) tipo D (7474). El circuito funciona de la siguiente manera: El reloj del contador le llega el pulso de cruce por cero, de tal manera que con cada flanco positivo de dicho pulso el contador incrementará en uno su cuenta binaria, así desde 0000 hasta 1111 para volver a 0000. Como se desea un flanco positivo cada vez que la onda sensada cruza por cero en el sentido positivo y a su vez se requiere de un flanco para terminar la comparación cuando la onda sensada cruza por cero en sentido negativo. La forma de solucionar esto usando el contador es con la salida del bit menos significativo, se genera un flanco positivo cada vez que la onda cruza por cero en sentido negativo, esta a su vez entra al reloj de un flip-flop D, a su vez la entrada D del flip-flop está fijada a "1" o sea 5 voltios cuando llega el flanco positivo proveniente del contador, en la salida del flip-flop aparece un "1", como esta salida está conectada al clear de los contadores del circuito de referencia de 60 Hz, en este momento se habilita este circuito. Así mismo cuando el circuito de referencia de 60 Hz genera un pulso, este pasa a través de un inversor y encera el flip-flop, deshabilitando de esta manera el circuito de referencia de 60 Hz al aparecer en la salida Q del flip-flop -

un "0", volviéndose a habilitar nuevamente cuando ocurre un flanco positivo proveniente del contador. El flanco negativo del contador y la parte en que se mantiene en estado bajo "0", son usados para habilitar o deshabilitar circuitos posteriores.

Circuito generador de la referencia:

Consta de cuatro contadores sincrónicos de décadas (74163) conectados en cascada, de cinco comparadores de magnitud de 4 bits conectados en cascada (7485) y un inversor lógico (7404), por tanto los contadores como los comparadores conectados en cascada forman un sólo bloque. Mientras el clear de los contadores esté en estado bajo "0" la salida de los contadores será cero, a pesar que el reloj de estos le está llegando una señal de 4 MHz en todo instante. Cuando al clear de los contadores llega una señal alta "1", estos se habilitan y empiezan a contar desde cero con cada flanco positivo de la señal de 4 MHz, hasta que los contadores alcanzan el valor de 33.333 en binario 1000001000110101, en este momento la salida A=B de los comparadores conectados en cascada pasa a ser un "0" a ser un "1", esta señal entra al reloj de un flip-flop en el circuito de diferencia de período, esta

misma señal pasada a través de un inversor es usada en el circuito sincronizador de la siguiente manera:

Cuando los contadores se encuentran deshabilitados o se encuentran contando pero todavía no han alcanzado el valor deseado, la salida $A=B$ va a tener un nivel bajo o "0" que entra al inversor, entonces a la salida del inversor habrá un nivel alto "1" que está entrando al clear del flip-flop del circuito sincronizador, de tal manera que con un "1" en el clear, el flip-flop se encuentra habilitado. Cuando el bloque de contadores alcanza el valor deseado, en la salida $A=B$ del bloque de comparadores aparece un nivel alto "1", de tal manera que a la salida del inversor - aparecerá un nivel bajo "0" que al entrar al clear - del flip-flop del circuito sincronizador, lo deshabilita, apareciendo casi de inmediato un nivel bajo "0" en la salida Q del flip-flop que al llegar al clear del bloque de contadores lo deshabilita, tomando entonces la salida $A=B$ del bloque de comparadores nuevamente un nivel bajo "0".

3.4.4. Optimización

Circuito oscilador con cristal de referencia:

La única función de este circuito es la de generar -

un reloj TTL de 4 mega hertz, después de probar varios diseños y prototipos, el usar el oscilador - 124 de la serie 74 TTL, resulta el más sencillo y económico, ya que sólo requiere de un cristal aparte del circuito integrado.

Circuito sincronizador:

El diseño más sencillo requiere de un contador para dividir la frecuencia del pulso de cruce por cero para dos y un flip-flop tipo D que hace la función de controlador del circuito generador de la referencia.

Circuito generador de la referencia:

Debido a que el número de pulsos que debe contar - este circuito es elevado, y lo tiene que hacer en forma binaria, no es posible reducir la cantidad - de elementos sin perder exactitud.

3.4.5. Selección de componentes

Circuito oscilador con cristal de referencia:

Se escogió el cristal de 4 mega hertz primeramente por ser de un valor de frecuencia existente en el mercado, es un valor suficientemente alto para dar una muy buena exactitud, pero tan alto que requiera

un circuito de referencia demasiado grande para contar un mayor número de pulsos.

En cuanto al oscilador (74124) no necesita ser especial (Schottky), debido a que 4 mega hertz es un valor de frecuencia dentro del rango de funcionamiento de la serie TTL.

Circuito sincronizador:

Al igual que el resto de los componentes del relé, los circuitos integrados son TTL de la serie 74.

Circuito generador de la referencia:

Aunque no se requiere, los circuitos integrados son Ls en esta etapa. Los contadores conectados en cascada son sincrónicos para mayor exactitud, al ser sincrónicos la salida no pasa inmediatamente a nivel bajo, al sensar un nivel igual en la entrada de clear, esperando la llegada del siguiente flanco positivo de reloj. De esta manera cuenta los 33.333 pulsos completos, generando una referencia más exacta.

3.5. CONSTRUCCION

3.5.1. Lista de materiales

La siguiente es la lista de materiales necesarios - para la construcción de la unidad generadora de referencia y sincronización:

- 5 IC 7485 (comparadores de magnitud de 4 bits)
- 4 IC 74163 (contador sincrónico de 4 bits)
- 1 IC 74161 (contador asincrónico de 4 bits)
- 1 IC 74124 (Oscilador controlado)
- 1 IC 7474 (flip-flop tipo D)
- 1 IC 7404 (Inversor lógico)
- 1 Cristal de cuarzo de 4 mega hertz

3.5.2. Pruebas

- Circuito oscilador con cristal de referencia:

La frecuencia de la señal entregada por el circuito fue de 3'999.995 Hz haciendo que éste dé una referencia exacta dentro de los parámetros pre-establecidos.

- Circuito sincronizador:

Funcionó de acuerdo a lo establecido, entregando una señal cuyo flanco positivo se inicia con el pulso de cruce por cero y su flanco positivo ocurre con el siguiente pulso de cruce por cero y así subsecuentemente, dividiendo - para dos la frecuencia de la señal sensada.

- Circuito generador de la referencia:

La frecuencia que genera este circuito es exactamente de 120,0012 Hz y el ancho del pulso generado es de 250 nanosegundos.

C A P I T U L O I V

UNIDAD DE DIFERENCIACION

4.1. CIRCUITO DE DIFERENCIA DE PERIODO

Este circuito inicia un tren de pulsos de 1 microsegundo de período, cuando aparece el flanco positivo del pulso de referencia de 60 Hz y termina cuando aparece el flanco negativo del pulso sincrónico de cruce por cero. El tiempo de tramo entre estos dos flancos representa la diferencia de período (si existiera) de la señal sensada con el período de 60 Hz.

4.1.1. Generación del tren de pulsos

Este circuito convierte el reloj de 4 MHz del relé en un reloj de 1 MHz. La manera de lograr esto es pasando los pulsos de 4 MHz por un divisor de frecuencia, el cual no es más que un contador binario que recibe el tren de pulsos de 4 MHz en

su entrada de reloj y entrega en cada una de sus salidas la señal original, pero con $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$, de su frecuencia, respectivamente. Entonces si se toma la salida del contador que divide para $1/4$ se obtendrá una señal de 1 MHz.

4.1.2. Diferencia en período de la frecuencia nominal

La relación entre la frecuencia y el período es inversa, de manera que si la frecuencia disminuye el período aumenta.

Así si se conoce el tiempo en que, el período de la señal cuya frecuencia ha disminuido, aventaja al período de la señal de 60 Hz., se conocerá también a que valor de frecuencia la señal ha descendido. Para conocer este tiempo se genera el tren de pulsos de 1 microsegundo de período (1 MHz de frecuencia), desde el instante en que aparece el pulso de referencia de 60 Hz hasta que llega el pulso sincronizado de cruce por cero, se cuenta el número de estos pulsos y se tiene un valor correcto del tiempo de tramo. La figura N° 4.1., ilustra mediante un diagrama de tiempo el funcionamiento del circuito de diferencia de período.

DIAGRAMA DE TIEMPO QUE INDICA EL INICIO Y EL FINAL DEL TREN DE PULSOS DE 1 MICROSEGUNDO

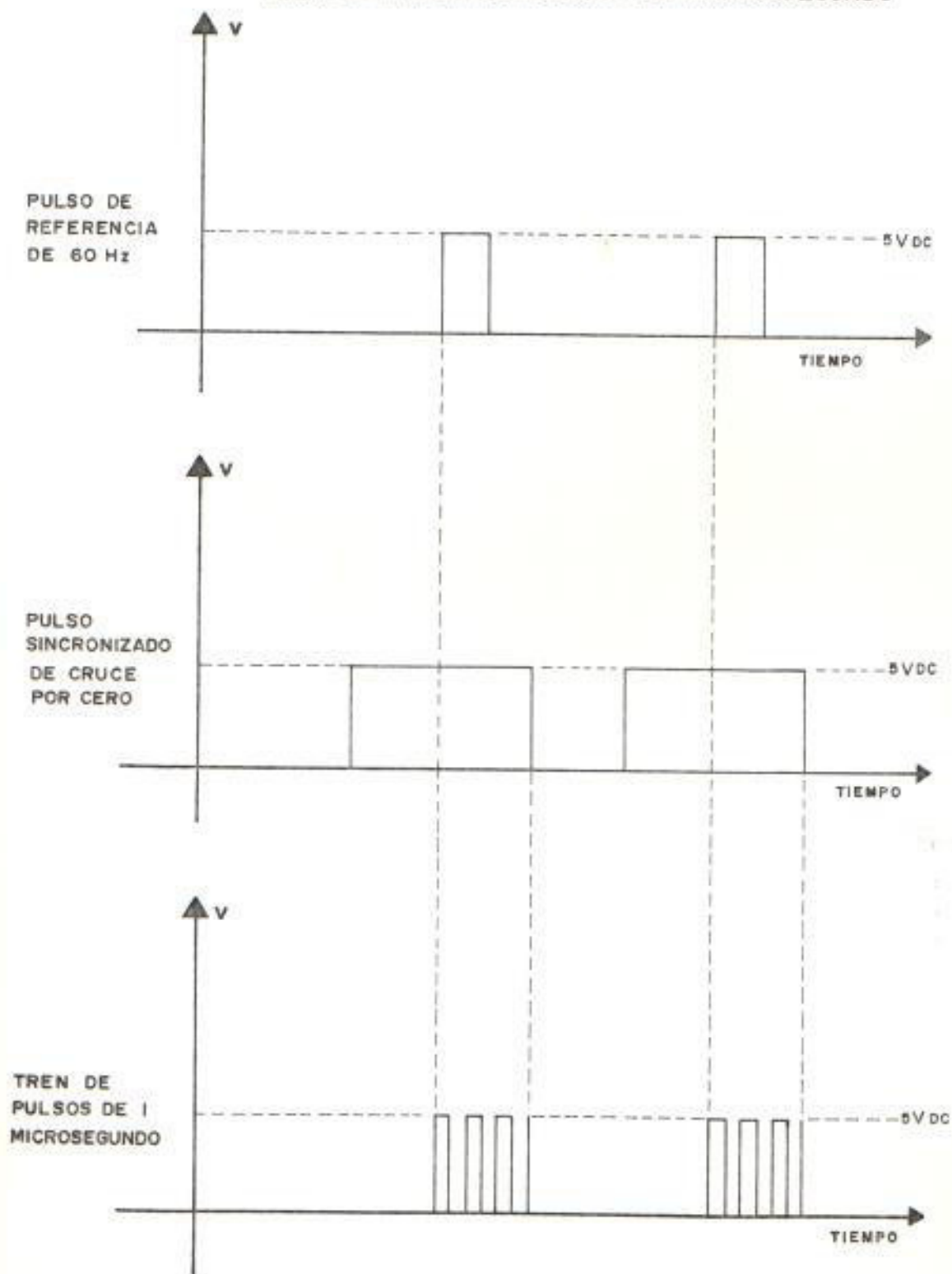


FIGURA 4.1

4.2. CIRCUITO DE DIFERENCIA DE PERIODO A DIFERENCIA DE FRECUENCIA

Este circuito convierte la diferencia de período en segundos entre la señal sensada y la referencia, a diferencia de frecuencia en Hertz.

4.2.1. Conversión del tren de pulsos

Se está comparando el semi período de la señal sensada ($T/2$), es decir con una referencia de 120 Hz, es necesario entonces saber cuantos pulsos de 1 microsegundo (provenientes del circuito de diferencia de período), representan una diferencia en frecuencia de 0,05 Hz., entre la señal sensada y la referencia. El valor de diferencia de 0,05 Hz., es importante porque el relé se programará en pasos de 0,05 Hz.

4.2.2. Cálculo de la escala de conversión apropiada

El primer paso de programación del relé será 0,05 Hz bajo la frecuencia nominal, es decir a 59,95 Hz.

$$60 \text{ Hz} - 59,95 \text{ Hz} = 0,05 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

si se multiplica por dos la relación 4.1., debido a que se está comparando la mitad del período $T/2$, esta relación en frecuencia será el doble por ser inversa:

$$120 \text{ Hz} - 119,9 \text{ Hz} = 0,1 \text{ Hz} \quad (4.2)$$

Trabajando ahora en período:

$$T/2 = 1/120 \text{ Hz} = 0,008333333 \text{ seg.} \quad (4.3)$$

$$1/119,9 \text{ Hz} = 0,008340283 \quad (4.4)$$

Entonces si la frecuencia disminuye desde 60 Hz hasta 59,95 Hz., al estar trabajando con el doble, sería desde 120 Hz hasta 119,9 Hz y el período aumentaría desde 0,008333333 segundos hasta 0,008340283 segundos, de la relación 4.4. Se denomina N , al número de pulsos de 1 microsegundo que representan 0,05 Hz ó 0,1 trabajando al doble de la frecuencia.

$$0,008333333 \text{ seg.} + N(1 \times 10^{-6} \text{ seg.}) = 0,008340283 \text{ seg.}$$

De la relación 4.3.:

0,008333333 seg. - período de 120 Hz

$N(1 \times 10^{-6} \text{seg.})$ - tiempo adicional de la señal
sensada.

0,008340283 seg. - período de 119,9 Hz.

Entonces de 4.4 se despeja el valor de N :

$$N = \frac{0,008340283 \text{ seg} - 0,008333333 \text{ seg.}}{1 \times 10^{-6} \text{ seg.}} \quad (4.5)$$

$$N = 6,95 \quad (4.6)$$

Debido a que para optimizar el diseño se cuenta de uno en uno enteros, se aproxima el valor de N a 7, pero se obtendrá un pequeño error que se irá acumulando. Si $N = 7$, cada 7 microsegundos que demore en llegar el flanco negativo del pulso sincrónico de cruce por cero, significarán 0,05 Hz. de disminución en frecuencia de la señal sensada. Así este circuito cuenta los pulsos del tren de 1 microsegundo y cada 7 pulsos emite un pulso.

4.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS

4.3.1. Diagrama esquemático

En la siguiente página podremos apreciar la figura N° 4.2., la cual nos muestra el circuito de diferenciación.-



CIRCUITO DE DIFERENCIACION

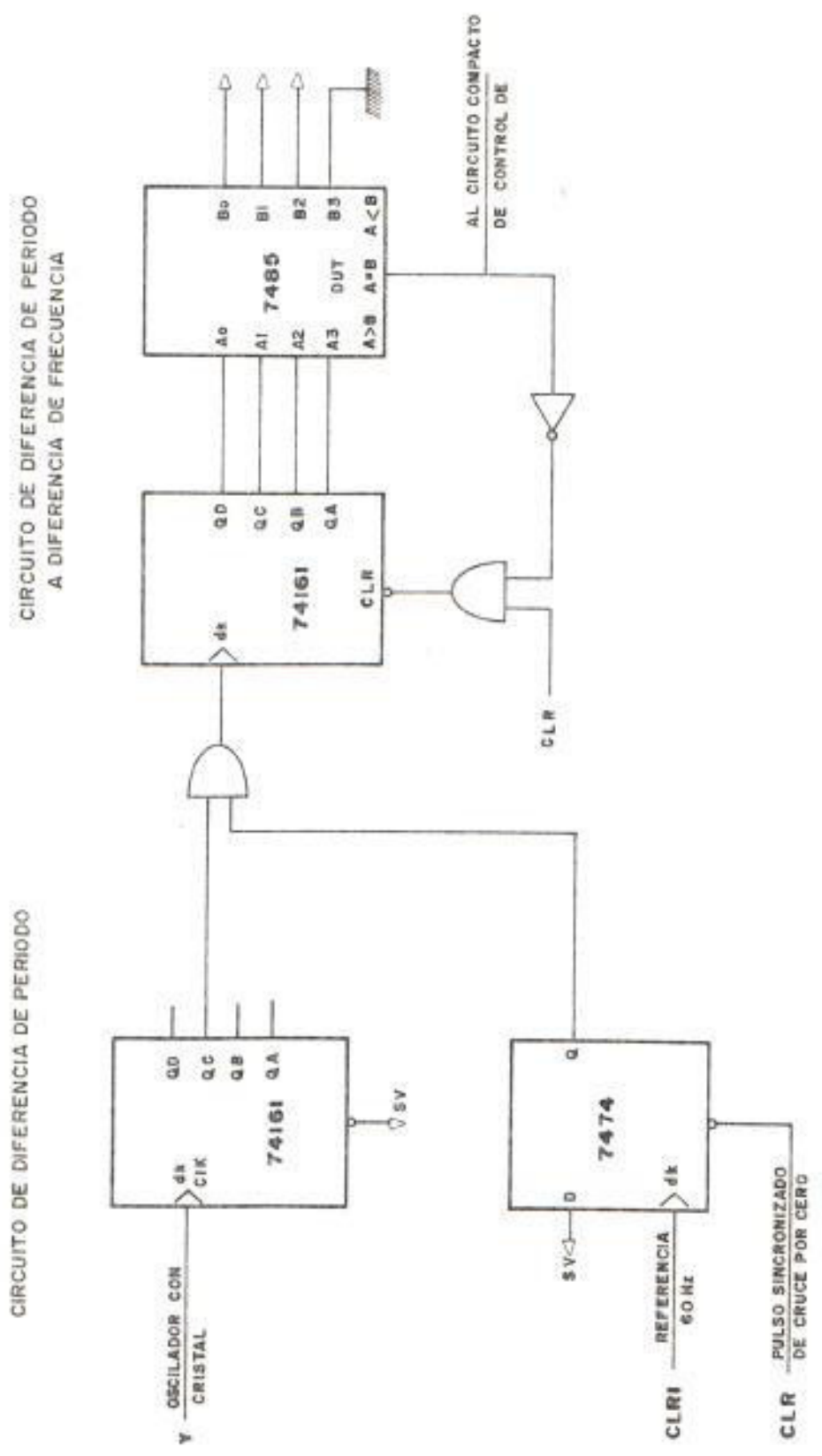


FIGURA 4-2

4.3.2. Cálculos pertinentes

Circuito de diferencia de período:

Este circuito tiene que generar un reloj con frecuencia de 1 MHz a partir del reloj propio del relé, cuya frecuencia es de 4 MHz. Si se divide 4 MHz para 1 MHz se obtiene un valor de 4:

$$\frac{4 \text{ MHz}}{1 \text{ MHz}} = 4 \quad (4.7)$$

Entonces es necesario dividir la frecuencia del reloj del relé de 4 MHz, para cuatro.

Circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia:

De la relación 4.6., se tiene que $N = 6,95$, pero se aproxima este valor a 7. Para obtener una diferencia de frecuencia de 0,05 Hz, entonces es necesario contar hasta 7 pulsos de 1 MHz pero en binario. $7(\text{DECIMAL}) = 111(\text{BINARIO})$. Así el contador empezará en 000 (BINARIO) su cuenta y la terminará al alcanzar el valor de 111 (BINARIO).

4.3.3. Descripción del circuito y Diagrama de bloques

Circuito de diferencia de período:

Este circuito está formado por un contador (74161) una puerta And (7408) y un flip-flop tipo D(7474). El contador sirve para convertir los pulsos del reloj de 4 MHz de frecuencia (1/4 de microsegundo de período) en pulsos de 1 microsegundo de período. La forma de realizarlo es similar a la sincronización del pulso de cruce por cero, en el circuito sincronizador. De la figura N° 4.3., Q_b cuadruplica el período de la señal que entra al reloj del contador, por tanto esta salida del contador estará continuamente generando ondas con 1 microsegundo de período. La puerta And de 2 entradas funciona como un switch, cuando en una de las entradas se pone un nivel bajo "0", lo que aparece en la otra entrada no importa porque la salida será siempre "0", em cambio si en esta entrada se pone un nivel alto "1" a la salida aparecerá lo que se tiene en la otra salida. El flip-flop (7474), es el que controla la función de interruptor de la puerta And. La entrada D del flip-flop está puesta a nivel alto, así con el flanco que recibe del circuito de referencia y que está conectada a la entrada de reloj, se tendrá a la salida del flip-flop un nivel alto, entonces a la salida de la puerta "0" se tendrá una on

DIAGRAMA DE TIEMPO DEL CIRCUITO DIFERENCIADOR

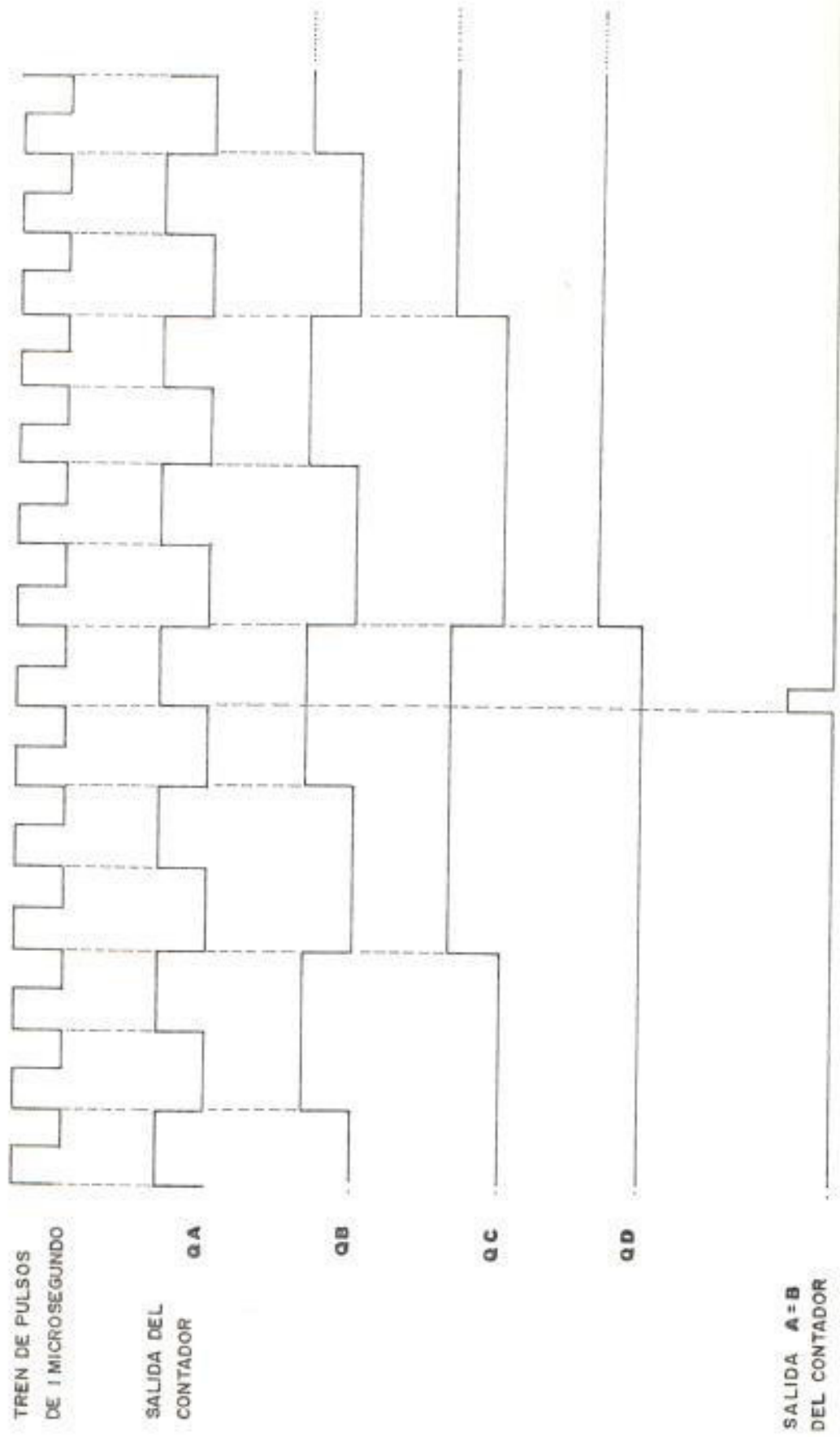


FIGURA 4.3

da cuadrada de 1 microsegundo de período, esta onda empieza con la llegada del pulso de referencia y termina con la llegada del flanco negativo del pulso sincrónico de cruce por cero, ya que este está conectado al encerador del flip-flop y al llegar este flanco negativo la salida pasa a ser cero, consecuentemente la salida de la puerta "Y" se torna también cero.

Circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia:

Los elementos de este circuito son un contador binario asincrónico (74161), un comparador de 4 bits (7485), un inversor lógico (7404) y una puerta lógica "Y". Al reloj del contador llega la salida del circuito de diferencia de período, esto es un tren de pulsos de 1 microsegundo, con cada flanco positivo de este tren de pulsos el contador incrementa la cuenta binaria en uno, estos valores aparecen a la salida del contador, los cuales a su vez están conectados a una entrada del comparador mientras que la otra entrada está fijada al valor 7 en binario (0111), entonces cuando el contador alcanza el valor de 7 la salida A = B del comparador pasa a nivel alto "1", entregando un flanco positivo para ser usa

do en el circuito siguiente y al mismo tiempo - pasado a través de un inversor para encerrar el contador, de tal manera que cada cuenta sea siempre de 0 hasta 7.

La puerta "Y" es para que el contador se encere con cualquiera de las dos posibilidades: el pulso invertido de la salida $A = B$ o la parte de nivel bajo del pulso sincrónico de cruce por cero.

4.3.4. Optimización

Circuito de diferencia de período:

Este circuito cuenta con los elementos necesarios que dan una rapidez y exactitud apropiada, el cambiar los elementos por otros que realicen las mismas funciones, no optimizarían el circuito ni lo reducirían, produciendo en cambio graves dudas acerca de su exactitud.

Circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia:

Al igual que el circuito de diferencia de período, no es posible mejorar más este circuito sin

aumentar más su costo o reducirlo sin perder exactitud, además este y el circuito de diferencia de período son de los más pequeños dentro del relé.

4.3.5. Selección de componentes

Circuito de diferencia de período:

En este circuito todos los componentes son de la serie 74 TTL, no necesitan ser circuitos integrados especiales, debido a que la frecuencia a la que trabajan no es tan alta y la rapidez de respuesta es suficiente para un óptimo funcionamiento.

Circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia:

De igual manera que en el anterior, este circuito no requiere componentes especiales que sólo encarecerían y no mejorarían en mucho el resultado final.

4.4. CONSTRUCCION

4.4.1. Lista de materiales

La siguiente es la lista de materiales necesarios

para la construcción de la unidad de diferencia
ción.

2	IC 74161 (Contador binario asincrónico de 4 bits)
1	IC 7485 (Comparador de magnitud de 4 bits)
1	IC 7474 (Flip - flop tipo D)
2	IC 7408 (Puertas lógicas "Y")
1	IC 7404 (Inversor lógico)

4.4.2. Pruebas

- Circuito de diferencia de período:

Inicia el tren de pulsos de 1 microsegundo con la llega
da del flanco positivo proveniente del circuito de referencia, produciéndose tan solo un retardo des
preciable del orden de los nanosegundos, de igual manera con la llegada del flanco negativo de cru
ce por cero extingue el tren de pulsos siendo el retardo de tiempo de esta acción, despreciable.

- Circuito de diferencia de período a diferencia de frecuen
cia:

El período de el pulso de salida de este circuito es de 7 microsegundos, lo cual representa exactamente una dife
rencia de 0.05036 Hz en frecuencia.

C A P Í T U L O V

UNIDAD PROGRAMABLE DE CONTROL DE FRECUENCIA Y RETARDO DE TIEMPO

5.1. CIRCUITO DE CONTROL DE FRECUENCIA

Este circuito cuenta el número de pulsos de diferencia de período a diferencia de frecuencia y compara este valor con el pre-seleccionado en la botonera. Este valor aparece en despliegue visuales, de manera que en todo momento es posible saber el valor a que ocurrirá el disparo.

5.1.1. Selección de la memoria apropiada

La importancia de la memoria en este circuito radica en que ésta almacena el valor de frecuencia a que deberá producirse la desconexión, para comparar este valor con el generado por el circuito de diferencia de período a diferencia de

frecuencia y emitir un pulso en caso de que exista igualdad entre ambos valores. Existen muchas maneras de almacenar un valor binario y muchos dispositivos capaces de hacerlo, sin embargo la más económica y apropiada, además de estar fácilmente disponible en el mercado local, es usando contadores binarios de 4 bits, a los cuales se les introduce pulsos en su entrada de reloj por medio de una botonera para así hacerlos contar hasta obtener el valor deseado, el cual será mantenido mientras los contadores no sean necesarios o se cambie su valor introduciendo pulsos en su entrada de reloj.

5.1.2. Cuenta y comparación de pulsos

Los valores se pueden preseleccionar de 0,05 Hz, en 0.05 Hz, así el valor primero de desconexión es 59,95 Hz., cuando se preselecciona 0.05 Hz., el siguiente será 59.90 Hz., cuando se preselecciona 0.10 Hz., y así sucesivamente hasta 50.05 Hz., al preseleccionar 9.95 Hz. Existe sin embargo un error que se va acumulando cuando la frecuencia desciende más abajo de 58.00 Hz., como se ve a continuación: Cuando $F = 60 \text{ Hz.}$,

$N = 7$. Si se preselecciona 0.05 Hz., el disparo debe producirse cuando la frecuencia desciende a 59.95 Hz., sin embargo no se vá a producir exactamente a este valor. El período de 59.95 Hz., es 0,016680567 seg., entonces se tiene:

$$1/60 \text{ seg} + 14 \times 10^{-6} \text{ seg} = 0,016680666 \text{ seg.} \quad (5.1)$$

$$0,016680666 \text{ seg.} - 0,016680567 = 0,00000099 \text{ seg.} \quad (5.2)$$

Este error es despreciable, pero mientras más - abajo de 60 Hz., se preseleccione el valor de la frecuencia de disparo, este error se ira acumulando el disparo a una frecuencia diferente de la preseleccionada, aunque en este caso el disparo se producirá a $1/0,016680666 \text{ seg.} = 59,9496447 \text{ Hz.}$ que es precisamente 59,95 Hz.

Ahora si se preselecciona 1,00 Hz., es decir para que el disparo se produzca a 59,00 Hz., se tiene que de 60,00 a 59,00 Hz., hay 20 pasos de 0,05 Hz., entonces la cantidad de pulsos a contar es 20 N.

$$1/60 \text{ seg} + 20 \times 14 \times 10^{-6} \text{ seg} = 0,016946666 \text{ seg.} \quad (5.3)$$

$$1/59 \text{ seg} = -0,01694152 \quad (5.4)$$

$$0,016949152 \text{ seg} - 0,016946666 \text{ seg} = 0,000002486 \text{ seg.} \quad (5.5)$$

entonces la desconexión se va a producir a:

$$1/0,016946666 \text{ seg} = 59,00865692 \text{ Hz. casi } 59,00 \text{ Hz.} \quad (5.6)$$

El error se va acumulando, ahora si el valor preseleccionado es 2,00 Hz.

$$1/60 \text{ seg.} + 40 \times 14 \times 10^{-6} \text{ seg} = 0,017226666 \text{ seg.} \quad (5.7)$$

$$1/0,01722666666 \text{ seg} = 58,0495 \text{ Hz.} = 58,05 \text{ Hz.} \quad (5.8)$$

De la relación se ve como ya existe error para 58,00 Hz., y la desconexión en realidad se va a producir a los 58,05 Hz.

Ahora al preseleccionar 3,00 Hz., hay 60 pasos, en

tonces se cuentan 60 N pulsos y se tiene:

$$1/60 \text{ seg} + 60 \times 14 \times 10^{-6} \text{ seg} = 0,017506666 \text{ seg.} \quad (5.9)$$

$$1/0,017506666 \text{ seg} = 57,12 \text{ Hz.} \quad (5.10)$$

De la relación 5.10., el disparo se va a producir a 57,12 Hz., cuando deberfa producirse a 57,00 Hz. A continuación una tabla de comparación entre los valores preseleccionados y los valores reales de disparo.

TABLA II.

VALOR PRESELECCIONADO	VALOR REAL DE DISPARO
59,50 Hz.	59,50 Hz.
59,00 Hz.	59,01 Hz.
58,50 Hz.	58,53 Hz.
58,00 Hz.	58,05 Hz.
57,50 Hz.	57,58 Hz.
57,00 Hz.	57,12 Hz.
56,50 Hz.	56,67 Hz.
56,00 Hz.	56,22 Hz.
55,50 Hz.	55,78 Hz.
55,00 Hz.	55,35 Hz.

sigue..

viene...Tabla II..

54,50 Hz.	54,92 Hz.
54,00 Hz.	54,51 Hz.
53,50 Hz.	54,09 Hz.
53,00 Hz.	53,69 Hz.
52,50 Hz.	53,29 Hz.
52,00 Hz.	52,89 Hz.
51,50 Hz.	52,50 Hz.
51,00 Hz.	52,11 Hz.
50,50 Hz.	51,74 Hz.

Ahora se tiene una idea más clara de como afecta el usar $N = 14$, cuando en realidad el valor de $N = 13,9$; sin embargo, el relé siempre se gradúa máximo hasta 2 Hz., abajo de 60 Hz., como se vió en el Capítulo I., de manera que este error no reviste gran importancia.

5.1.3. Selección del tipo de pantalla y su decodificador

El valor en hertz bajo 60 Hz., a que deberá producirse la desconexión, aparece en despliegues visuales de 7 segmentos de manera que es posible - en todo momento conocer este valor. La pantalla

de visualización está entonces conformada por 3 despliegues visuales de 7 segmentos y de ánodo común los cuales son a su vez manejados por decodificadores apropiados para manejar estos despliegues visuales. Esta es la manera más simple y económica de presentar el valor de desconexión para su programación y conocimiento - por parte del operador.

5.2. CIRCUITO DE RETARDO DE TIEMPO

Este circuito es el que provée el retardo al disparo - de relé, cuando la frecuencia desciende hasta el nivel de disparo preseleccionado.

5.2.1. Selección de la memoria apropiada

En este circuito la memoria almacena el valor - del tiempo de retardo, pero en ciclos, para compararlo con el número de ciclos en que ha ocurrido la perturbación y emitir el pulso de disparo en caso de que exista igualdad entre ambos valores. Al igual que en el circuito de control de frecuencia la manera más económica de almacenar el valor de retardo es usando contadores, a los cuales se les introduce pulsos en su entra

da de reloj por medio de una botonera para así hacerlos contar hasta obtener el valor deseado, el cual será mantenido mientras los contadores no sean encerrados o se cambie su valor introduciendo pulsos en su entrada de reloj.

5.2.2. Cuenta y comparación de pulsos

Este circuito inicia la cuenta del número de ciclos que el relé opera en baja frecuencia y emite un pulso de disparo, cuando este número de ciclos es igual al número de ciclos de retardo preseleccionado.

La cantidad de ciclos de retardo que se puede preseleccionar varía desde 00 ciclos hasta 99 ciclos, siempre en enteros, o sea de uno en uno.

5.2.3. Selección del tipo de pantalla y su decodificador

El número de ciclos de retardo a que debe producirse la desconexión, aparece en despliegues visuales de 7 segmentos de manera que es posi

ble en todo momento conocer este valor. La pantalla de visualización está entonces conformada por dos despliegues visuales de 7 segmentos y de ánodo común, los cuales son a su vez manejados por decodificadores apropiados para estos despliegues visuales. Al igual que en el circuito de control de frecuencia, esta resulta la manera más simple y económica de presentar el valor del retardo de tiempo en ciclos, para su programación y conocimiento por parte del operador.

5.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS

5.3.1. Diagrama Esquemático

En la siguiente página se puede apreciar la figura N^o 5.1., que nos muestra de manera muy clara el Diagrama Esquemático.

CIRCUITO DE CONTROL DE FRECUENCIA Y RETARDO DE TIEMPO

CIRCUITO DE RETARDO DE TIEMPO DEFINIDO

CIRCUITO COMPARADOR DE CONTROL DE FRECUENCIA

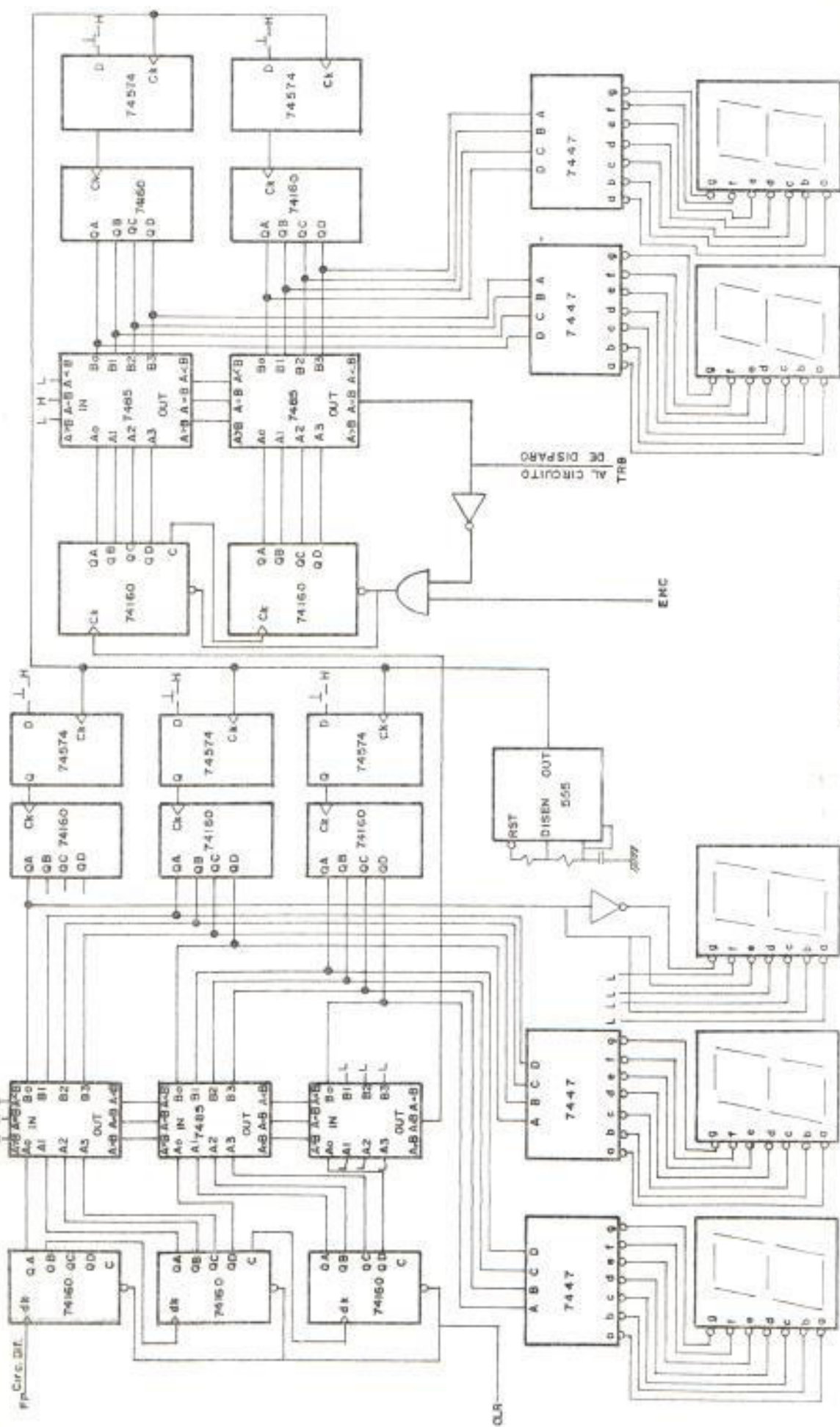


FIGURA 5.1

5.3.2. Cálculos pertinentes

Circuito comparador de control de frecuencia:
 El único cálculo de importancia en este circuito es el que sirve para encontrar los valores de resistencias y capacitancias necesarias para la generación de un pequeño reloj de frecuencia sumamente baja que servirá para eliminar el rebote mecánico al programar los valores en las botoneras. Este reloj de baja frecuencia es necesario para que el rebote que genera gran cantidad de pulsos, cuando se requiere solamente uno, no sea tomado en cuenta por los contadores programables, así estos solo aumentarán su cuenta cuando el flip-flop, que es el que le dá el pulso de cuenta al reloj de los contadores, cambia de estado de acuerdo al pulso proveniente de la botonera y manejado por este reloj, de manera que los pulsos de rebote que son de alta frecuencia son despreciados. Esta frecuencia va a ser 2 Hz., y la relación para calcular los valores necesarios en el circuito estable formado por un temporizador 555 es:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_a + 2R_b)C} \quad (5.11)$$

Entonces si se tiene un capacitor de 10 microfaradios, una resistencia R_B de 1 kilo ohmio y la frecuencia tiene que ser 2 hertz, reemplazando en (5.11), se tiene que R_A debe ser una resistencia de 70 kilo ohmios.

Estos cálculos también son válidos para el circuito de retardo de tiempo definido, por que usa el mismo reloj.

5.3.3. Descripción del circuito y Diagrama de bloques

Circuito comparador de control de frecuencia:
 Consta este circuito de 6 contadores de décadas - (74160) en dos grupos de 3 contadores conectados en cascada, 3 comparadores binarios de 4 bits - (7485) conectados en cascada, 3 despliegues visuales de 7 segmentos, 2 decodificadores para los despliegues visuales (7447), 3 flip-flop tipo D (74574), temporizador (555).

El reloj de los contadores conectados en cascada recibe los pulsos del circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia, con cada flanco positivo de estos pulsos los contadores aumen-

tan en uno su cuenta y el bloque de comparadores conectados a la salida de estos contadores va comparando el valor de esta cuenta con el valor preseleccionado a través del otro bloque de comparadores, el cual es posible de programar a través de las botoneras y donde los flip-flops y el temporizador son para eliminar el rebote mecánico producido en las botoneras. Mientras el valor de la cuenta a la salida del primer bloque de contadores es menor que el valor preseleccionado en el segundo bloque, la salida $A = B$ del bloque de comparadores permanece en nivel bajo, pero al alcanzar la cuenta el valor preseleccionado, este valor es la frecuencia bajo 60 Hz., a la que debe producirse el disparo, la salida $A=B$ del bloque de comparadores pasa a nivel alto produciendo un pulso que será usado en el circuito siguiente. El bloque seguirá aumentando la cuenta, mientras su reloj reciba pulsos (flancos positivos) y sólo es encendido con el flanco negativo del pulso sincrónico de cruce por cero. Los decodificadores (7447) sirven para poder visualizar en números decimales por medio de despliegues visuales, el valor preseleccionado.

Circuito de retardo de tiempo definido:

Este circuito está formado por 4 contadores de década (74160) conectados en dos grupos de dos contadores conectados en cascada, 2 comparadores de 4 bits (7485) conectados en cascada, 2 flip-flop tipo D, 2 decodificadores (7447), 2 despliegues visuales de 7 segmentos. El reloj del bloque primer bloque de contadores recibe los pulsos del circuito comparador de centros de frecuencia y con cada flanco positivo aumenta su cuenta en uno hasta que la cuenta alcanza el valor preseleccionado en el segundo bloque de contadores, este valor es el retardo en ci cl os, cuando el valor preseleccionado es alcanzado por los contadores, la salida $A = B$ del blo que de com par ado res pasa a nivel alto, produciéndose un pulso que va al circuito de disparo. La manera de encerrar los contadores es poniendo un nivel bajo en la entrada encerradora de los contadores. Los decodificadores permiten apreciar en números decimales por medio de los des pl ie gues vis ua les, el número de ci cl os de ret ar do que ha sido preseleccionado en el segundo blo que de com par ado res, este valor se encuentra en binario en código BCD.

5.3.4. Optimización

Circuito comparador de control de frecuencia:
La parte más crítica en la optimización de este circuito resulta ser la memoria, esta es la forma de mantener los valores preseleccionados para ser comparados.

Podría usarse memorias RAM, pero estas resultan difíciles de conseguir en el mercado local, igual cosa ocurre con los interruptores BCD que entregan a la salida en código BCD el número seleccionado en binario, resultando en este circuito verdaderamente los más indicados. Finalmente se soluciona este problema usando contadores de décadas, los cuales se programan introduciendo flancos positivos en la entrada de reloj hasta alcanzar el valor deseado, de esta manera el circuito resulta más económico y con iguales características que si se usara memorias sofisticadas.

Circuito de retardo de tiempo definido:

Se usaron iguales razonamientos para la optimización de este circuito que los que se usaron para el circuito de control de frecuencia.

5.3.5. Selección de componentes

Circuito comparador de control de frecuencia:
Por economía y disponibilidad en el mercado local, fueron escogidos todos los componentes de este circuito que al igual que el resto de los componentes del relé son dispositivos TTL. En cuanto a los decodificadores que manejan los despliegues visuales de 7 segmentos, fueron seleccionados los que eran compatibles con los despliegues, los cuales son de ánodo común por tanto la salida de los decodificadores tienen que ser de lógica negada.

Circuito de retardo de tiempo definido:
Por ser este circuito muy parecido al circuito comparador de control de frecuencia, iguales consideraciones fueron hechas en la selección de los componentes de este circuito.

5.4. CONSTRUCCION

5.4.1. Lista de materiales

La siguiente es la lista de materiales necesarios para la construcción de la unidad programa

ble de control de frecuencia y retardo de tiempo:

- 10 IC 74160 (contador asincrónico de décadas de 4 bits).
- 5 IC 7485 (comparador de magnitud de 4 bits).
- 4 IC 7447 (manejadores para despliegues visuales de ánodo común).
- 5 IC 5082 - 7730 (despliegues visuales de 7 segmentos de ánodo común).
- 1 IC 74574 (flip-flop tipo D).
- 1 IC 555 (temporizador programable).

5.4.2. Pruebas

- Circuito de control de frecuencia:

Cada 7 microsegundos aumenta en uno cada 7 microsegundos aumenta en uno su cuenta siempre que le llegue el pulso correspondiente del circuito de diferencia de período a diferencia de frecuencia, su cuenta vuelve a hacerse cero con la llegada del flanco negativo del pulso de cruce por cero sincronizado.

- Circuito de retardo de tiempo:

La llegada de cada pulso proveniente del circuito de control de frecuencia aumenta en uno la cuenta y representa un ciclo cada pulso, el disparo se produce cuando el

valor a que llega el circuito es igual al valor prefijado.



C A P I T U L O VI

UNIDAD DE DISPARO

6.1. CIRCUITO DE SALIDA O DE DISPARO

Cuando se han cumplido las condiciones de baja frecuencia y ha transcurrido el tiempo de retardo, debe producirse el disparo del relé, es entonces que actúa este circuito.

6.1.1. Aplicación del SCR y su funcionamiento

El tiristor es un semiconductor sólido de silicio formado por cuatro capas P y N alternativamente, dispuestas como se ve en la figura N° 6.1., donde también se representa su símbolo.

Los dos terminales principales son el de ánodo y el de cátodo, y la circulación entre ellos de corriente directa (electrones que van del cátodo al ánodo o corriente que va de ánodo a cáto

do) está controlada por un electrodo de mando llamado "puerta" ("gate" en inglés).

El tiristor es un elemento unidireccional; una vez aplicada la señal de mando a la puerta, el dispositivo deja pasar una corriente que sólo puede tener un único sentido. Por ello a veces se designa al tiristor por lo que constituye, de hecho, su definición, rectificador controlado, traducción incompleta del inglés, "Silicon Controlled Rectifier" de ahí las siglas de SCR.

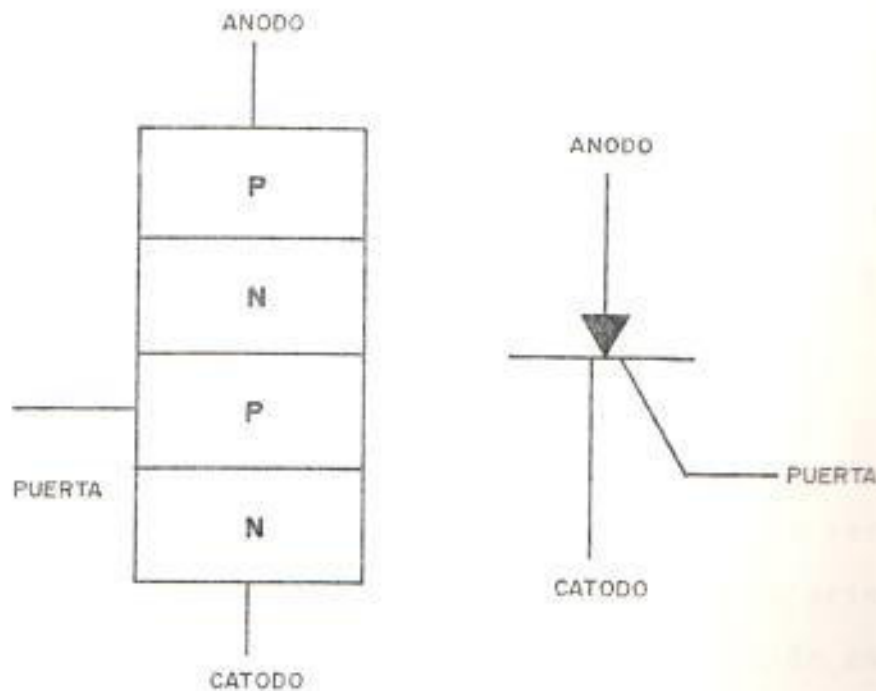


FIGURA Nº 6.1. TIRISTOR

6.1.2. Amplificación de la señal recibida

El SCR cumple varias misiones que se puede clasificar un poco arbitrariamente como sigue:

- Rectificación:

Consiste en usar la propiedad de funcionamiento unidireccional del dispositivo, el cual realiza entonces la función de un diodo;

- Interrupción de corriente:

Usado como interruptor, el tiristor puede reemplazar a los contactores mecánicos;

- Regulación:

La posibilidad de ajustar el momento preciso de cebado permite emplear el tiristor para gobernar la potencia o la corriente media de salida.

- Amplificación:

Puesto que la corriente de mando puede ser muy débil en comparación con la corriente principal, se produce un fenómeno de amplificación en corriente o en potencia. En ciertas aplicaciones esta "ganancia" puede ser de utilidad.

En el relé de baja frecuencia la amplificación es de muchísima utilidad, debido a que el pulso que envía el circuito de retardo de tiempo definido es de nivel de voltaje compatible con TTL y gracias a la amplificación e interrupción de corrientes se puede manejar cargas grandes en el circuito externo de disparo.

6.1.3. Remoción de la señal en el Gate

El cebado por puerta es el método más usual de disparo de tiristores.

Una vez polarizado directamente el tiristor, se inyecta un impulso positivo de mando en su puerta (este ataque es en corriente) y este empieza a conducir la corriente. Al remover la señal en la puerta, el SCR continuará conduciendo, entonces la manera de terminar con la conducción del SCR no es quitando la señal de la puerta.

Finalmente cuando se ha producido el disparo del relé, la manera de regresar a su estado normal, una vez que la perturbación ha cesado

tiene que ser externa y manual, porque aún cuando ya no existe el pulso proveniente del circuito de retardo de tiempo definido el SCR continuará en estado de conducción.

6.1.4. Circuito externo de disparo

Este circuito es particular de cada subestación o lugar donde el relé funcione, sin embargo todos los circuitos externos de disparo tienen en común que necesitan de un interruptor, el cual es el circuito de salida, que active elementos posteriores tales como alarmas, luces pilotos, etc., y finalmente el disyuntor o breaker que será el encargado de interrumpir el suministro de energía eléctrica a una carga predeterminada hasta que las condiciones de baja frecuencia hayan sido superadas.

6.2. CIRCUITO INDICADOR DEL NUMERO DE OPERACIONES

Este circuito cuenta el número de veces que el relé se ha disparado, es decir aumenta en uno el número anterior cada vez que se produce un disparo el relé.

6.2.1. Cuenta del número de operaciones

Cada vez que el circuito de retardo de tiempo de finido envía un pulso hacia el circuito de salida o de disparo, este mismo pulso es recibido - también por el circuito indicador del número de operaciones y este circuito con el flanco positivo de este pulso aumenta en uno el valor anterior indicando así cuantas veces se ha producido un disparo en el relé.

6.2.2. Pantalla indicadora y borrado manual

El número de veces que el relé ha operado aparece en despliegues visuales y puede ser encerado, es decir puesto en cero con sólo presionar una botonera. La cuenta empieza en cero y llega a 99, superado este valor vuelve nuevamente a 00, o sí es presionado el botón de enceramiento. El tipo de pantalla es el mismo que para los circuitos de control de frecuencia y de retardo de tiempo, es decir despliegues visuales de 7 segmentos de ánodo común con sus respectivos decodificadores.

6.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS

6.3.1. Diagrama esquemático

En la página siguiente podremos apreciar la figura N° 6.2., la cual nos muestra de manera completa el circuito de salida.

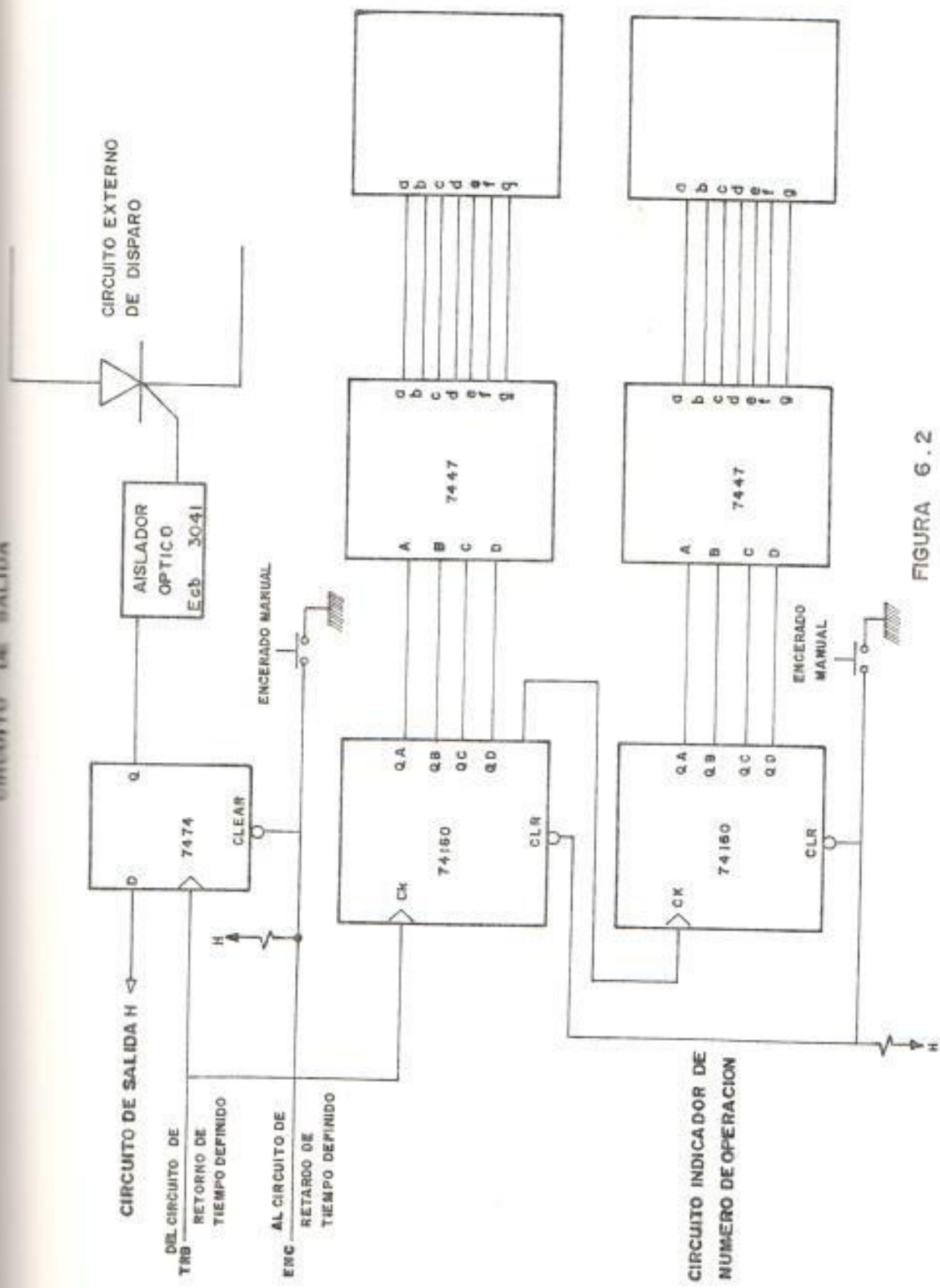


FIGURA 6.2

6.3.2. Cálculos pertinentes

Circuito de salida:

El diseño de este circuito no necesita cálculos de gran importancia.

Circuito indicador del número de operaciones:

El circuito es sencillo y como se usan decodificadores que muestran en decimal el valor de la cuenta en binario, este circuito tampoco requiere de importantes cálculos.

6.3.3. Descripción del circuito y Diagrama de bloques

Circuito de salida:

Este circuito consta de un flip-flop tipo D(7474) un aislador óptico, un SCR, una botonera. Cuando se produce el pulso de disparo en el circuito de retardo de tiempo definido, con el flanco positivo de este pulso, la salida Q del flip-flop D pasa a nivel alto, de esta manera produce una señal que activa el aislador óptico, el cual a su vez dispara el SCR pasando a estado de conducción de esta manera es como si se cerrara el contacto y se activa un circuito externo de disparo. Para borrar el nivel alto a la salida Q del flip-flop

tipo D, se presiona el botón del encendedor manual, así el encendedor del flip-flop se pone a nivel bajo, produciéndose a su vez un nivel en la salida Q de este flip - flop que desactiva el aislador óptico y a su vez impide el paso de corriente a través del SCR, produciendo la desconexión del circuito externo de disparo.

Circuito indicador del número de operaciones:
Consta de dos contadores binarios de décadas (74160), dos decodificadores (7447) y dos indicadores visuales. Cada vez que se produce un disparo en el relé, se produce un flanco positivo que va al reloj de los contadores conectados en cascada, de esta manera cada vez que ocurre un disparo los contadores aumentan su cuenta en uno, como este valor está en binario, a la salida de los contadores conectados en cascada se conectan dos decodificadores que son los que manejan los despliegues visuales de 7 segmentos, de manera que puedan ser vistos en números decimales de hasta dos dígitos, la cantidad de operaciones de disparo que se han producido en el relé.

6.3.4. Optimización

Circuito de salida:

Usar el flip - flop tipo D en este circuito como un interruptor que se activa con la recepción - del pulso del circuito de retardo de tiempo de finido, es la manera más económica y sencilla - de hacer funcionar este circuito. El aislador óptico impide que el ruido en el circuito ex - terno de disparo interfiera con el funcionamien - to de los circuitos del relé.

Circuito indicador del número de operaciones:
La presencia en este circuito de decodificadores encapsulados en una sola pastilla, hacen del ma - nejo de los despliegues visuales de 7 segmentos algo sencillo, economizando de esta manera el uso de un gran número de puertas lógicas.

6.3.5. Selección de componentes

Circuito de salida:

El diseño de este circuito requirió la selección de un elemento de estado sólido, en lugar de - usar un electro-mecánico para habilitar el cir - cuito externo de salida, debido a que es uno de los mpas importantes condicionamientos del relé, esto es que todos sus elementos sean de estado -

sólido, aún los que funcionen como interruptores.

Circuito indicador del número de operaciones:
Las razones para la selección de los componentes de este circuito son los mismos que para la selección de los componentes de los circuitos de control de frecuencia y retardo de tiempo definido y la manera de funcionar en el circuito de salida es muy similar al funcionamiento de estos en los circuitos anteriormente nombrados.

6.4. CONSTRUCCION

6.4.1. Lista de materiales

La siguiente es la lista de materiales necesarios para la construcción de la unidad de disparo:

- 1 IC 7474 (flíp-flop tipo D)
- 1 IC ECG 3041 (Aislador óptico)
- 2 IC 74160 (contador binario de décadas asincrónicas)
- 2 IC 7447 (Decodificadores para despliegues visuales de 7 segmentos).

- 2 IC 5082-7730 (Despliegues visuales de 7 segmentos).
- 1 SCR.

6.4.2. Pruebas

- Circuito de salida:

El ancho del pulso de disparo es de unos pocos nano segundos, pero este circuito queda activado indefini finidamente con la llegada de este pulso.

- Circuito indicador del número de operaciones:

Aumenta en uno su valor con cada flanco positivo del pulso de disparo que recibe. Llega a 99 desde 00 y vuelve a 00 o si es encendido normalmente.

C A P I T U L O V I I

APLICACION EN SISTEMAS ELECTRONICOS DE PROTECCION

La aplicación más general de los relés de baja frecuencia es la de usarlos para poder configurar un sistema de rechazo de carga que permita mantener la estabilidad del sistema y proteger los primo motores generadores.

Los relés de baja frecuencia deben colocarse lo más dispersos posible a través del sistema y cada paso debe desconectar en lo posible una pequeña cantidad de carga. La concentración de pérdida de generación en ciertas áreas del sistema puede dar lugar a una dispersión de la frecuencia, esto es, la frecuencia en las áreas sobrecargadas cae más rápidamente que en todos los demás. Esta diferencia en las frecuencias produce naturalmente un rápido incremento de los ángulos de torque en las líneas de transmisión, lo cual aceleraría el colapso del sistema, pero como afortunadamente en estos lugares de carga concentrada la frecuencia cae más rápido, consecuentemente la desconexión de carga se produce también más rápido. El fenómeno anterior alivia el aumento del ángulo de torque, de aquí

que sea importante la rapidez con que un relé de baja frecuencia pueda detectar un cambio en la misma.

El uso del relé de baja frecuencia es recomendable en los sistemas industriales para configurar sus propios programas de rechazo de carga. El uso del relé de baja frecuencia es altamente deseable en los sistemas industriales en los cuales se usa exclusivamente de generación propia o una combinación de generación propia y la red de servicio público. En el caso de los sistemas industriales se debe seguir los mismos esquemas de dispersión, recordando siempre que la meta fundamental es la protección de los generadores.

Existen cuatro casos particulares y son:

- Sistemas industriales con generación propia:

Generalmente usan un número reducido de generadores, los cuales pueden servir a una gran parte o a la totalidad de la carga, en caso de salir de línea una de las unidades generadoras, esto causaría que deba desconectarse una gran cantidad de carga, lo cual puede crear problemas de estabilidad. Entonces debe pensarse en desconectar carga de una manera conveniente.

- Sistemas industriales con generación propia y externa y donde la generación externa es mucho mayor que la propia:

En este caso la desconexión de carga debe ser inmediata y en un sólo bloque para evitar daños en los generadores propios del sistema industrial.

- Sistemas industriales con generación propia y externa y en cercanía de otros sistemas industriales:

En este caso la pérdida de generación externa podría hacer que los generadores de un sistema alimenten el otro, produciendo una peligrosa sobrecarga en el sistema que entrega energía. En éste los relés de baja frecuencia deben combinarse con un relé de potencia inversa para no alimentar cargas vecinas.

- Sistemas industriales que usan únicamente generación externa:

Puede configurarse un sistema de rechazo de carga para evitar la eventualidad de sobrecargas algún equipo como transformadores, sin embargo esto se hace de mejor manera usando relés de sobrecorriente y no de baja frecuencia. Este es el caso de lugares donde se usa un sistema de transformadores en paralelo y falla uno de estos transformadores. Entonces la configuración del sistema debe coordinarse adecuadamente con un sistema de protección de sobrecorriente por cortocircuito.

Otra aplicación de los relés de baja frecuencia es la de controlar la reconexión de la carga. Usando estos relés para reconectar esta carga automáticamente, sin embargo se debe determinar bien los rangos de frecuencia para la reconexión, así como la

cantidad de carga que se reconecta en cada paso, además, en cada reconexión se debe dar el tiempo necesario para que el sistema se recobre de la perturbación producida por la reconexión esto es que se debe usar los retardos y debe hacerse en pasos muy pequeños (1-2% de la carga total del sistema) en cada paso.

Los pasos de reconexión son independientes de los de desconexión, tanto en frecuencia como en cantidad de carga, por esto no debe usarse el mismo relé que desconecta la carga, para reconectarla nuevamente.

Los relés de frecuencia pueden ser usados en la protección de generadores, esto es contra sobrevelocidad al momento del arranque o cuando se le quita abruptamente toda la carga, en este caso el relé controlaría el ingreso de potencia a las turbinas. Este tipo de relé debe tener un control continuo, así por ejemplo en el caso de turbinas de gas controlaría el paso de este a través de las válvulas.

Relés de baja frecuencia con retardo de tiempo largo se pueden usar para proteger los álabes de las turbinas contra daños que puedan resultar de operar el generador al máximo de su capacidad con una baja velocidad durante un tiempo muy prolongado.

También pueden ser usados para detectar perturbaciones que se puedan introducir en el sistema al abrir o cerrar líneas de enlace. Esto más que todo, cuando se trata de líneas de enlace que sirven de interconexión con sistemas adyacentes. En este caso deben usarse en com

binación con relés de potencia inversa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente relé de baja frecuencia electrónica, presenta características de rapidez de respuesta adecuada para la mayoría de los casos, lo que contrasta con los electromecánicos.
- Este relé es más fácil de construir, más barato y preciso que los relés electromecánicos. Debido a que en la fabricación de los relés electromecánicos se utilizan componentes que deben ser fabricados con altos márgenes de precisión.
- El relé de baja frecuencia del presente trabajo ha sido construido con elementos de la serie 74 de la familia TTL, lo cual lo hace más robusto que otros que otros relés construidos con la tecnología CMOS, los cuales si bien consumen menos potencia son mucho más sensibles a perturbaciones de diversa índole. Estos en muchos casos se colocan en lugares remotos sujetos a condiciones ambientales, climáticas y de manejo adversas.
- Casi todos los componentes son de fácil obtención en el mercado interno, lo cual es ventajoso para su construcción y obtención de repuestos.

- Para frecuencias cercanas a 60 Hz (nominal), el relé de baja frecuencia discrimina las frecuencias de acuerdo al valor preseleccionado. Para frecuencias dejadas a la nominal (desde 58.00 Hz para abajo) la discriminación se torna imprecisa, pero los relés de baja frecuencia practicamente en todos los casos se ajustan en valores superiores a 58.00 Hz. Esta imprecisión bajo los 58.00 Hz se debe al error que se va acumulando de la diferencia en frecuencia de 0.05 Hz que corresponde a una diferencia en tiempo de 6.95 microsegundos y para efectos de ahorro y optimización de circuitos en el relé se la aproxima a 7 microsegundos.

- Es recomendable entonces preseleccionar el relé en los valores para los cuales resulta exacto hasta en centésimas de Hertz y en caso contrario tomar en cuenta los valores dados por la tabla de disparo.

- Es además recomendable el uso del presente relé en todas las aplicaciones prácticas actuales en nuestro país, en las que se usa los relés importados.

A P E N D I C E S

APENDICE A

TEORIA BASICA DE LA TECNOLOGIA TTL

- Sistema binario
 - Dispositivos: Construcción y características
 - Modos de operación
 - Ventajas y desventajas
-
- Sistema Binario:

8421		DIGITOS DECIMALES
0000	=	0 + 0 + 0 + 0 = 0
0001	=	0 + 0 + 0 + 1 = 1
0010	=	0 + 0 + 2 + 0 = 2
0011	=	0 + 0 + 2 + 1 = 3
0100	=	0 + 4 + 0 + 0 = 4
0101	=	0 + 4 + 0 + 1 = 5
0110	=	0 + 4 + 2 + 0 = 6
0111	=	0 + 4 + 2 + 1 = 7
1000	=	8 + 0 + 0 + 0 = 8
1001	=	8 + 0 + 0 + 1 = 9



Cada columna es dos veces el valor de la anterior.-

- Dispositivos: Construcción y características

Los dispositivos TTL, son construidos a base de transistores bipolares, que pueden ser del tipo P-N-P o N-P-N, en conjunto con resistencias. Dependiendo del tipo de dispositivo, son integrados en una sola cápsula y pueden ser de la serie 74H(TTL de alta velocidad), 74L(TTL de baja potencia), 74S(TTL Shortky) que tiene la mayor velocidad, 74LS(alta velocidad y bajo consumo de potencia).

Los TTL pueden ser integrados además en pequeña escala (SSI) con menos de 13 puertas lógicas equivalentes por chip, a través de integración a escala media (MSI) con entre 13 y 99 puertas lógicas por un chip, a integración en gran escala (LSI) la cual cubre el rango mayor a 100 puertas lógicas por chip.

El factor de carga (tan out) para la serie 74 es 10.

- Modos de operación:

Voltaje de polarización(Vcc)	+4.75 V	- +5.25 V
Rango de temperatura	0°C	- +70°C

Todos los TTL en las entradas y en las salidas pueden tener solamente dos niveles de voltaje:

- * Nivel con voltaje bajo (Low)
- * Nivel con voltaje alto (high)

Los niveles lógicos de voltaje siempre deben corresponder a los niveles apropiados, porque los circuitos se conectan normalmente en cascada y de esta forma el comportamiento de un circuito dependería no sólo de sus propias características, sino también de las características de entrada de la puerta siguiente.

Vcc	4.74 V	-	5.25 V
Estado alto	2.4 V	-	Vcc
Margen de ruido	2.0 V	-	2.4 V
Estado intermedio	0.8 V	-	2.0 V
Margen de ruido	0.4 V	-	0.8 V
Estado bajo	0 V	-	0,4 V

- Ventajas y desventajas:

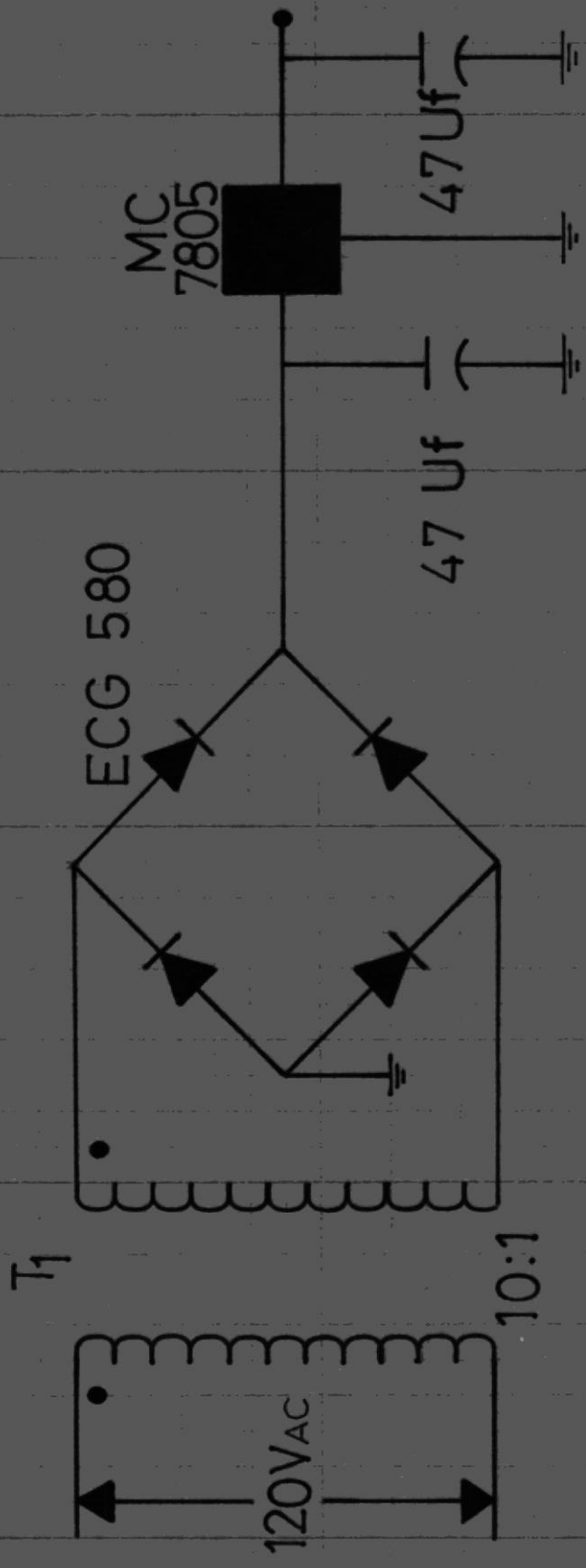
VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Mayor velocidad	- mayor consumo de potencia
- no les afecta las cargas estáticas.	- necesitan una fuente de valor fijo (Vcc).

APENDICE B

- Diseño de la fuente de poder
- Explicación del manejo del relé

- Diseño de la fuente de poder:

DISEÑO DE LA FUENTE DE PODER



FUENTE DE PODER 5Vdc , 5A dc

- Explicación del manejo del relé:

Por medio de microswitches se seleccionan: la frecuencia de disparo por debajo de 60 Hz y el tiempo de retorno en ciclos. El relé posee 7 despliegues visuales de 7 segmentos cada uno.

Los dos primeros despliegues indican el número de veces que el relé se ha disparado, esto es incrementan automáticamente en uno, el valor anterior cada vez que se produce un disparo. Los tres siguientes despliegues indican la cantidad de Hertz, bajo 60 Hz, a la cual se produce el disparo. Esta cantidad consta de un entero y dos decimales y se la programa digito a digito por medio de su respectiva botonera, cada botonera maneja un despliegue visual y para variar el digito que aparece en este, únicamente se presiona la botonera. Con cada accionamiento el digito aumenta en uno, así se acciona cada una de las botoneras hasta obtener la cantidad deseada tanto en enteros como en decimales. Hay que tomar en cuenta que el digito menos significativo solo varía de cero a cinco, esto es, con cada accionamiento se hace cero o se hace cinco, debido a que la exactitud del relé es 0.05 Hz.

Finalmente los dos últimos despliegues indican el retardo en ciclos, desde 00 hasta 99 e igualmente que la fre

cuencia se la programa con su propia botonera cada despliegue.

Existe una botonera que encierra el número de veces que el relé se ha disparado, cada vez que es presionada.

Cuando se produce el disparo del relé, este se mantiene en esta condición indefinidamente a no ser que por me dio de otra botonera claramente diferenciada de las demás, se regrese a su condición normal de funcionamiento, una vez que la perturbación que produjo el disparo ha cesado.



BIBLIOGRAFIA

1. R. BOYLESTAD, Electronics devices and Circuit theory
2. HENRY LILEN, Tiristores y Triacs.
3. J. TOCCI, Sistemas digitales
4. KENTRACION, Lógica y teoría de los amplificadores operacionales y lineales.
5. ZOPPETTI, Estaciones transformadoras y de distribución.
6. M. GRAW EDSON, Distribución system protection manual
7. LAWSON UHLENBECK, Threshold signals
GLOSER/SERBAKSHARPE, Integrated circuit engineering.
8. RODNAY SAKS, From Chips to Systems an Introducción to microprocessor.
9. WARRINGTON ALBERT RUSSELL, Protective Relaus.
10. JOHN D. IENK, Maunal de circuitos de lógica.
11. H.LILEN, Circuitos integrados y lineales.
12. DENIS RODDY - JOHNN COLEN, Electronic Theory Circuits Devices.
13. SAMTOKH S. BASI, Semmiconductor Pulse and Switching Circuits.
14. MALCOM H. STEWARD, Introducción a los Equipos Digitales.
15. ROBERT A. CHIPMAN, Theory and Problems of Tránsmission
16. GELDER - HEISCHMANN, Circuits with Semiconductor Componentes:
Designs of low - frecuencia and high - frecuencia circuits.

17. WILLIAM I. FLETCHER, Diseño Digital un método sintetizado.
18. INECEL, Normas para distribución
19. LANDERSON , AnaTisis de fallas en sistemas de potencia.



A.F. 141535