

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

*PROTOTIPO DE UNA EXCITATRIZ ESTATICA PARA
UN GENERADOR SINCRONICO BASADO EN EL
MICROCONTROLADOR 8751*

*TESIS PREVIA LA OBTENCION DEL TITULO EN
INGENIERIA EN LA ESPECIALIZACION DE
ELECTRONICA Y CONTROL*

JUAN CARLOS RIVERA GAIBOR

QUITO, DICIEMBRE DE 1992

*Certifico que el presente trabajo
de tesis ha sido realizado en su
totalidad por el señor:*

Juan Carlos Rivera Gaibor

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'B. Ledesma G.', written in a cursive style.

*Ing. Bolívar Ledesma G.
DIRECTOR DE TESIS.*

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial al Sr. Ing. Bolívar Ledesma G. Director de tesis por su valioso aporte humano y científico tanto en las aulas como durante el desarrollo del presente Tema de tesis.

A MIS PADRES

Por que todo el esfuerzo diario realizado para mi educación se vea recompensado en este trabajo.

INDICE

INTRODUCCION	1
NOMENCLATURA	3
CAPITULO I	
GENERALIDADES	
1.1. OPERACION IDEAL DE LA MAQUINA SINCRONICA	
1.1.1. Operación de la máquina sincrónica como compensador	7
1.1.2. Operación de la máquina sincrónica como motor	8
1.1.3. Operación de la máquina sincrónica como generador	8
1.1.3.1. Operación del generador en forma independiente	9
1.1.3.2. Operación de dos generadores en paralelo	10
1.2. MODELO LINEALIZADO DE LA MAQUINA SINCRONICA	
1.2.1. Ecuaciones de voltaje	12
1.2.2. Ecuación del torque eléctrico (T_e)	15
1.2.3. Ecuación del voltaje terminal	17
1.2.4. Efecto de carga	18
1.2.5. Comparación con el modelo clásico	19
1.2.6. Diagrama de bloques del modelo	19
1.2.7. Resumen general de fórmulas para el modelo lineal simplificado de la máquina sincrónica	21
1.2.8. Modelo linealizado de la máquina de experimentación	22
1.3. SISTEMAS DE EXCITACION DE LA MAQUINA SINCRONICA	
1.3.1. Componentes de un sistema de excitación	23
1.4. CONVERTORES AC-DC	
1.4.1. Generalidades	27
1.4.2. Operación del convertor trifásico semicontrolado tipo puente	30
1.5. CONTROL DIGITAL DE UN CONVERTOR AC-DC	
1.5.1. Introducción	35
1.5.2. Técnicas de control de convertidores AC-DC con microprocesador	39
1.5.2.1. Método relativo de control del ángulo de activado	40

CAPITULO II ESPECIFICACIONES Y DISEÑO

2.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

2.1.1. Sistema de potencia	45
2.1.2. Sistema de control	46
2.1.3. Protecciones	48

2.2. DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

2.2.1. Diagrama de bloques del sistema	49
--	----

2.3. DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

2.3.1. Diseño del convertor estático AC-DC	53
2.3.2. Diseño de los circuitos de protección y filtrado	55
2.3.3. Diseño del circuito de sincronización	60

2.4. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL MAESTRO

2.4.1. Circuito del microcontrolador	63
2.4.2. Teclado	67

2.5. DISEÑO DEL CIRCUITO DE ADQUISICION DE DATOS

2.6. DISEÑO DE CIRCUITOS AUXILIARES

2.6.1. Circuito de alimentación de control	71
2.6.2. Circuito de filtrado y activado	71

CAPITULO III DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.1. REQUISITOS DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR 73

3.2. DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR

3.2.1. Programa principal	79
3.2.2. Rutina de determinación de secuencia de fases	81
3.2.3. Rutina de la acción proporcional - integral	85
3.2.3.1. Rutina de lectura de voltaje de alimentación al convertor (voltaje generado)	85
3.2.3.2. Rutina para la obtención del error de voltaje	87
3.2.3.3. Rutina de la acción proporcional - integral	87
3.2.3.4. Rutina de la acción derivativa	89
3.2.3.5. Rutinas auxiliares de operaciones aritméticas	91
3.2.3.6. Rutina ALFA	91

3.2.4.	Rutina de lectura de la corriente de salida del conversor	91
3.2.4.1.	Rutina general de lectura	93
3.2.5.	Rutina para lectura de frecuencia	93
3.2.6.	Rutina de atención a la interrupción externa 0 (INT0)	95
3.2.6.1.	Rutina para obtener el retardo de tiempo o ángulo de activado (TIMER)	99
3.2.7.	Rutina para el disparo de los tiristores	102
3.2.8.	Rutina de teclado	105

**CAPITULO IV
RESULTADOS EXPERIMENTALES**

4.1. OPERACION DEL EQUIPO CON EL GENERADOR

4.1.1.	Respuesta del sistema ante variaciones de carga	114
4.2.	OPERACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	119
4.3.	PROTECCION Y DETECCION DE FALLAS	122
4.4.	DETALLES CONSTRUCTIVOS	125
4.5.	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL EQUIPO	129
4.6.	COMPARACION CON MODELOS CLASICOS	130

**CAPITULO V
CONCLUSIONES**

5.1.	ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	134
5.2.	ANALISIS TECNICO ECONOMICO	136
5.3.	CONCLUSIONES	137

BIBLIOGRAFIA	140
---------------------	-----------	------------

APENDICE A	
APENDICE B	
APENDICE C	
APENDICE D	
APENDICE E	
APENDICE F	
APENDICE G	
APENDICE H	

INTRODUCCION

Los sistemas eléctricos de gran potencia, que operan a frecuencia constante (50 - 60 Hz) confían casi exclusivamente en la máquina sincrónica para la generación de energía eléctrica. Estos sistemas suelen tener compensadores sincrónicos en ciertos puntos para el control de la potencia reactiva. Las empresas privadas también poseen para la generación de energía en las horas pico de consumo generadores sincrónicos con turbinas a diesel o gas, en grandes aeronaves así como en barcos donde se requieren fuentes de frecuencia variable los generadores sincrónicos son los más utilizados para este propósito. Los motores sincrónicos proveen una velocidad constante para aplicaciones industriales con la posibilidad de corrección del factor de potencia, pero no ofrecen una gran variedad de rangos en su construcción como ocurre con los motores de inducción.

En la actualidad se han desarrollado elementos semiconductores llamados microprocesadores para aplicaciones de control electrónico, por ejemplo el microcontrolador INTEL 8751. Estos dispositivos han ofrecido desde su creación gran confiabilidad y una capacidad de integración funcional que cada vez va aumentando (tecnología VLSI). Así mismo, ofrece la posibilidad de diagnósticos confiables en sistemas donde antes se requerían circuitos especiales para este propósito.

El presente Tema de Tesis, tiene la intención de realizar el estudio y la investigación de esta tecnología en los sistemas de control. El desarrollo de la tecnología de los microprocesadores y microcontroladores en el campo industrial, ha hecho que se vea la necesidad de aplicar estos conocimientos en asuntos prácticos. Se pretende por lo tanto, establecer puntos de comparación tales como diseño, construcción, mantenimiento, costos entre esta tecnología y la tradicional.

El objetivo de este trabajo es diseñar y construir una excitatriz estática basada en el microcontrolador INTEL 8751 para realizar el control sobre el voltaje generado de un generador sincrónico.

De igual forma, se pretende desarrollar el software necesario en lenguaje assembler del microcontrolador que permita la operación del sistema.

Adicionalmente el equipo a construirse incluirá un sistema de adquisición de datos análogos que permita realizar la medición simultánea de las siguientes señales externas: voltaje generado, corriente de carga, corriente de salida del convertor (corriente de excitación).

Para lograr los objetivos antes planteados, ha sido necesario dividir el desarrollo de este trabajo en cinco capítulos.

En el primer capítulo se presenta un desarrollo breve del modelo linealizado de la máquina sincrónica, información general sobre los convertidores AC-DC poniendo énfasis en aquella configuración que va a utilizarse.

En el segundo capítulo, se detallan las especificaciones tanto de control como de potencia y se desarrolla el diseño de los circuitos que constituyen el equipo.

En el tercer capítulo se diseña el software necesario para el funcionamiento del equipo. Se explican en detalle todas las rutinas desarrolladas en el microcontrolador.

El cuarto capítulo, resume los resultados experimentales de las pruebas a las que fue sometido el equipo para comprobar sus diferentes funciones.

Finalmente, el capítulo quinto muestra una serie de conclusiones y recomendaciones que pueden ayudar al desarrollo de futuros trabajos relacionados con el presente tema.

NOMENCLATURA

R_r	=	Resistencia de campo.
L_r	=	Inductancia de campo.
M_r	=	Inductancia mutua.
i_r	=	Corriente de campo.
i_d	=	Corriente en la dirección del eje d.
V_r	=	Voltaje de campo.
λ_r	=	Concatenación de flujo ($L_r \cdot i_r$).
E_{fd}	=	Valor RMS de la FEM.
τ_{do}'	=	Constante de tiempo del eje directo en circuito abierto.
E_q'	=	Voltaje de estator (RMS).
x_d	=	Reactancia en la dirección del eje directo.
x_d'	=	Reactancia transitoria en la dirección del eje directo.
δ	=	Angulo entre la posición del rotor y el voltaje terminal (ángulo de carga).
δ_0	=	Valor inicial de ángulo de carga.
α	=	Angulo de desfasaje del voltaje de la barra infinita.
w_r	=	Velocidad del generador.
R_e	=	Resistencia de la línea.
L_e	=	Inductancia de la línea.
T_e	=	Torque eléctrico
T_m	=	Torque mecánico.
P_m	=	Potencia mecánica.
P_s	=	Potencia de sincronización.

- K_1 = Cambio en la potencia eléctrica para una variación en el ángulo del rotor, con flujo en el eje directo constante.
- K_2 = Cambio en la potencia eléctrica para un cambio en el flujo del eje directo, con el ángulo de rotor constante.
- K_3 = Factor de impedancia.
- K_4 = Efecto desmagnetizante por un cambio en el ángulo del rotor en estado estable.
- K_5 = Cambio en el voltaje terminal para una variación en el ángulo del rotor, con $E = \text{constante}$.
- K_6 = Cambio en el voltaje terminal con un cambio en E , para un ángulo de rotor constante.
- E = Voltaje de entrada.
- I_{sc} = Corriente de cortocircuito.
- V_t = Voltaje terminal.
- F = Fuerza magneto motriz.
- Φ_m = Flujo por polo.
- E_1 = Fuerza electromotriz del estator.
- V_1 = Voltaje aplicado.
- x_s = Reactancia de estator.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Operación ideal de la máquina sincrónica.

Comprender el funcionamiento de una máquina sincrónica polifásica es más simple en términos de una máquina ideal de rotor cilíndrico conectada a una barra infinita. La máquina ideal tiene bobinados de estator con pérdidas despreciables, un entrehierro uniforme, un circuito magnético de alta permeabilidad sin saturación, y carga balanceada. La barra infinita a la cual la máquina está conectada produce un voltaje trifásico de amplitud y frecuencia constantes, y es capaz de absorber potencia reactiva y activa sin límite.¹

La máquina mostrada en la figura No.1.1, tiene bobinados (no mostrados) de estator conectados a la barra infinita y un rotor que contiene un bobinado de excitación D.C.. Para trabajar adecuadamente el rotor debe girar a velocidad sincrónica. El torque no puede ser

¹SAY M. G., " Alternating Current Machine ", Pitman Publishing Limited, III edition, 1977.

desarrollado si el rotor no está excitado, pero el estator debe tomar potencia reactiva para magnetizar la máquina hasta un flujo por polo Φ_m para que la f.e.m. del estator E_1 pueda ser inducida para balancear el voltaje aplicado V_1 . Si al rotor se le inyecta una pequeña excitación D.C., este toma una parte del trabajo de la excitación del circuito magnético con lo que reduce la demanda del estator de potencia magnetizante. Esta condición se la conoce como subexcitación.

(Ver figura No.1.1.)

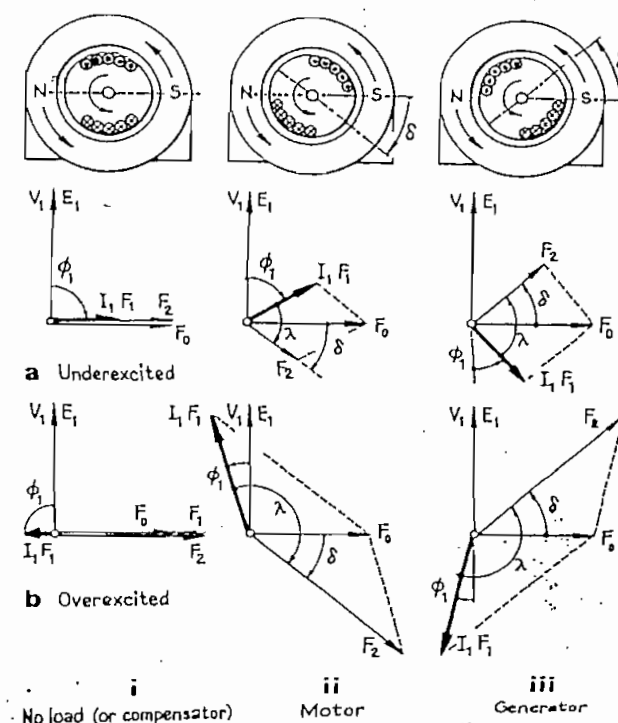


Figura No.1.1

Con la máquina sin carga (carga mecánica nula y por tanto potencia eléctrica activa nula), el diagrama fasorial puede realizarse utilizando el concepto de fase representativo incorporando la f.m.m. F_1 del estator y la f.m.m. rotatoria F_2 del rotor. Como no existe torque, los ejes de f.m.m. permanecen alineados con un ángulo de torque cero, y las dos

f.m.m. combinadas dan como resultante la f.m.m. F_0 necesaria para producir Φ_m . Si la f.m.m. del rotor es lo suficientemente incrementada para alcanzar la condición de **sobreexcitación**, el estator debe tomar corriente desmagnetizante tal que F_0 permanece sin cambiar y genera Φ_m y $E_1 = V_1$.

Las condiciones de operación sin carga son: el rotor gira con su eje alineado con el del estator, el flujo de entrehierro es constante tal que siempre $E_1 = V_1$; la magnetización es compartida entre el estator y el rotor; el estator absorbe una corriente reactiva, contribuyendo al retraso de la f.m.m. del rotor de acuerdo a si el rotor está sobre o subexcitado. Como no se produce torque, los ángulos de carga y de torque son cero.

1.1.1 Operación de la máquina como compensador.

Una máquina sincrónica diseñada para trabajar sin carga, puede operar únicamente en las condiciones indicadas en el diagrama fasorial para operación sin carga. Una variación en la excitación del rotor provoca que la máquina tome corriente puramente reactiva del estator, retrasándose si está subexcitada y adelantándose si está sobreexcitada. Por consiguiente el comportamiento en los terminales del estator es como si se tuviese una inductancia o condensador polifásico, cambiando de una condición a otra dependiendo únicamente de la excitación del rotor. Tal máquina es conocida como un compensador sincrónico, que puede ser usada para el control y regulación de voltaje en los sistemas de líneas de transmisión por modificación de la carga resultante observada. El límite del efecto capacitivo es el nivel de excitación del rotor, al igual que el efecto inductivo demanda de una subexcitación que no puede ser muy baja por que esto llevaría a la máquina a condiciones de inestabilidad (pérdida de sincronismo).

1.1.2 Operación de la máquina como motor.

Suponiendo que la máquina está operando sin carga, y un torque mecánico de retardo es aplicado en el eje: el rotor empieza a retroceder desde su posición coaxial; el eje de la f.m.m. F_2 se retarda y, para mantener el flujo de entrehierro normal y la f.m.m. F_0 resultante, la f.m.m. del estator debe realizar los ajustes necesarios. Los diagramas fasoriales de la figura No.1.1 describen las condiciones de estabilidad que deben alcanzarse, dependiendo de si el rotor está (a) subexcitado o (b) sobreexcitado. En cualquiera de estos casos, el estator absorbe una componente de corriente activa, consumiendo por lo tanto potencia desde la fuente y desarrollando un torque en el rotor que balancee al torque de la carga. La componente reactiva actúa para compensar las condiciones de sub o sobreexcitación.

1.1.3 Operación de la máquina sincrónica como generador.

Se asume que la máquina sincrónica está trabajando sin carga, pero ahora la máquina motriz conectada al eje provee un torque inicial en la dirección de movimiento del campo del estator. El rotor gira, desarrollando un ángulo de carga δ de signo opuesto al de operación como motor. La posición relativa del eje F_2 cambia con F_1 dando una fuerza resultante F_0 constante. La componente activa inversa de la corriente de estator entrega potencia a la fuente y desarrolla un torque para balancear al torque de movimiento. Así la máquina genera. Ahora la componente reactiva de I_1 puede dar una apropiada compensación, y ésta afecta al factor de potencia con el cual la máquina trabaja. Con respecto a la salida, una subexcitación causa un ángulo de adelanto ϕ_1 ; en sobreexcitación se tiene el efecto contrario.

1.1.3.1 Operación del generador en forma independiente.

Se va a considerar un generador sincrónico independiente, con excitación constante y girando a una velocidad constante. Sin tomar en cuenta la resistencia de estator, se puede deducir del diagrama fasorial de una máquina ideal (figura No.1.1) que para cargas con un factor de potencia unitario, el voltaje terminal está dado por: $V_1 + (I_1 * x_s)^2 = E_1^2 = \text{constante}$, y la relación V_1/I_1 , es una elipse con semi-ejes E_1 e I_{sc} (figura No.1.2). La corriente I_{sc} (corriente de cortocircuito) circula cuando la resistencia de carga se reduce a cero, teniéndose la condición $V_1 = 0$ e $I_{sc} = E_1/x_s$. Para una carga con un factor de potencia igual a cero en adelante o retraso, se tiene la relación escalar $V_1 = E_1 \pm I_1 * x_s$, obteniéndose las dos líneas rectas de la figura No.1.2(a). Cargas con un factor de potencia intermedio tienen una relación V_1/I_1 enmarcada dentro de las dos rectas.

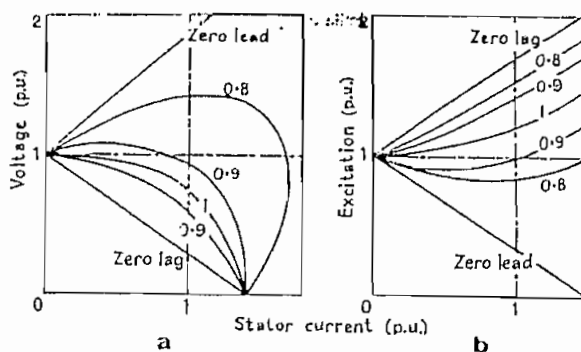


Figura No.1.2

Si el voltaje terminal $V_1 = V_t$ se mantiene constante, la excitación se ajustará de acuerdo con la carga y el factor de potencia, como se muestra en la figura No.1.2(b): todas las cargas con factores de potencia unitarios y en retraso requieren un incremento de la excitación de acuerdo con la corriente que consuman, pero cargas con factores de potencia

bajos en adelanto, para los cuales la f.m.m. del estator es directamente magnetizante, requieren que la excitación sea reducida. Entonces, una variación en las condiciones de saturación modifica a x_s y el efecto en la relación V_1/I_1 es tal que no invalida las características de carga de la figura No.1.2.

1.1.3.2 Operación de dos generadores en paralelo.

Cuando dos generadores sincrónicos son conectados en paralelo a una carga, estos tienen una tendencia inherente a intercambiar potencia sincronizadamente, el desarrollo de lo cual depende del hecho de que la impedancia de estator es predominantemente reactiva. Si ésta condición no se da, dos generadores no pueden operar en paralelo en forma estable. Considerando dos máquinas idénticas (máquinas 1 y 2 de la figura No.1.3) en paralelo y con una carga común: si las f.e.m.s. E_1 y E_2 divergen por causa de la aceleración de la máquina 1, ésto dará como resultado la diferencia de fase 2τ y la diferencia de voltaje E_s circulando una corriente I_s por los circuitos de los dos estatores a través de las impedancias x_1 y x_2 (resistencia despreciable). La reactancia provoca que I_s entregue la componente activa de potencia, consecuentemente la máquina 1 produce $P_s = E_1 * I_s$ (que esta trabajando como generador) y alimenta a la máquina 2 que trabaja como motor, dentro de los límites de potencia máxima. Por lo tanto, las máquinas desarrollan una potencia de sincronización mutua.

Este argumento no concuerda con el hecho de que las máquinas no son idénticas, ya que en general tienen diferentes f.e.m.s., distintas impedancias, diferente carga y diferente regulación de velocidad. Estos últimos son impuestos por la máquina motriz primaria. Ambas máquinas pueden girar sincronizadamente pero sus potencias de salida están determinadas por las respectivas máquinas primarias de acuerdo con su característica carga-velocidad.

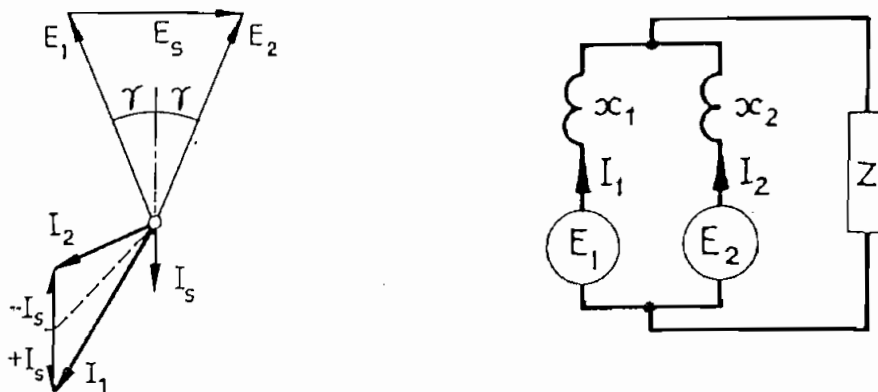


Figura No.1.3

1.2 MODELO LINEALIZADO DE LA MAQUINA SINCRONICA

Es posible desarrollar un modelo lineal simplificado para la máquina síncronica conectada a una barra infinita a través de una línea de transmisión que tenga una resistencia R_e y una inductancia L_e^2 . A continuación se indican las consideraciones (restricciones) que se realizan:

1. Efectos de amortiguamiento despreciables.
2. Resistencia del bobinado estático despreciable.
3. Los términos de voltaje de estator y de rotor en las ecuaciones dependientes del flujo d y q son despreciables comparados con los términos de voltaje debido a la velocidad w_q y w_d .
4. Los términos en las ecuaciones de voltaje de estator y de rotor dependientes de w se asumen aproximadamente iguales a w_r .

²ANDERSON P., FOUAD A., " Power System Control and Stability ", The Iowa State University press, 1977.

5. Se asumen condiciones balanceadas y los efectos debidos a la saturación son despreciados.

Bajo éstas consideraciones se escriben las ecuaciones que describen al sistema.

1.2.1 Ecuaciones de voltaje.

(Ref. 2; Cap.IV, p. 83 - 148)

Tomando en cuenta el modelo de la máquina sincrónica desarrollado en la referencia bibliográfica 2, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$V_f = I_f \lambda_f + L_f' \dot{I}_f \quad (1)$$

$$\lambda_f = L_f I_f + K M_f i_d \quad (2)$$

eliminando i_d se tiene:

$$V_f = \frac{I_f \lambda_f}{L_f} + L_f' \dot{I}_f - \frac{I_f K M_f i_d}{L_f} \quad (3)$$

teniéndose que : $e_p = \sqrt{3} E_q$, es la f.e.m. del estator proporcional al flujo de enlace del bobinado principal del estator, es decir, $\sqrt{3} E_q = w_r K M_r / r_r$. También E_{fd} es la f.e.m. del estator producida por la corriente de campo y corresponde al voltaje de campo V_f .

$$\sqrt{3} E_{fd} = \frac{w_r K M_f V_f}{I_f}$$

Utilizando las definiciones de τ_{do} , y en el dominio de la transformada de Laplace:

$$E_{fd} = (1 + \tau_{do}' s) * E_q' - (X_d - X_d') * I_d \quad (4)$$

donde $I_d = i_d/\sqrt{3}$, usando la definición para E_q' :

$$E_q' = \frac{\omega_r * K * M_f * i_f}{\sqrt{3}} + (X_d - X_d') * I_d$$

$$E_q' - E + (X_d - X_d') * I_d \tag{5}$$

Para los ejes q y d se tiene:

$$V_d = -\omega_r * L_q * i_q$$

$$V_d = -\sqrt{3} * V_\infty * \text{sen}(\delta - \alpha) + R_e * i_d + \omega_r * L_e * i_q \tag{6}$$

$$V_q = \omega_r * L_d * i_d + \omega_r * K * M_f * i_f$$

$$V_q = \sqrt{3} * V_\infty * \text{cos}(\delta - \alpha) + R_e * i_q - \omega_r * L_e * i_d \tag{7}$$

Linealizando las ecuaciones anteriores:

$$0 = -R_e * i_q + (X_d + X_e) * i_d + \omega_r * K * M_f * i_f + K * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) * \delta$$

$$0 = -R_e * i_d - (X_q + X_e) * i_q + K * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) * \delta \tag{8}$$

donde $K = \sqrt{3} V_\infty$, y V_∞ es el voltaje fase-neutro de la barra infinita.

Operando con (5) se obtiene:

$$-(X_d' + X_e) * I_d + R_e * I_q - E_q' + V_\infty * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) * \delta$$

$$R_e * I_d + (X_q + X_e) * I_q - V_\infty * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) * \delta \tag{9}$$

En forma matricial se tiene:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = K_1 \begin{bmatrix} -(X_q + X_e) & R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) - (X_q + X_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) \\ R_e & (X_d' + X_e) * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) + R_e * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_q' \\ V_\infty * \delta \end{bmatrix} \tag{10}$$

donde:

$$K_1 = \frac{1}{R_e^2 + (x_q + x_e) * (x_d' + x_e)} \quad (11)$$

Sustituyendo I_d en (4) con incrementos se tiene:

$$E_{fd} = \frac{E_g'}{K_3 + \tau'_{d0} * S} + K_4 * \delta \quad (12)$$

donde:

$$\frac{1}{K_3} = 1 + K_1 * (x_d - x_d') * (x_q + x_e)$$

de las ecuaciones (12) y (13) en el dominio de s se tiene:

$$K_4 = V_\infty * K_1 * (x_d - x_d') * [(x_q + x_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) - R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)] \quad (13)$$

$$E_g' = \frac{K_3 * E_{fd}}{1 + K_3 * \tau'_{d0} * S} - \frac{K_3 * K_4 * \delta}{1 + K_3 * \tau'_{d0} * S} \quad (14)$$

K_1 es un factor de impedancia que toma en cuenta el efecto de cargabilidad de la impedancia externa, y K_4 está relacionando el efecto desmagnetizante de un cambio de ángulo del rotor, es decir:

$$K_4 = \frac{E_g'}{K_3 * \delta} \quad (\text{con } E_{fd} = \text{cte}) \quad (15)$$

1.2.2 Ecuación del torque eléctrico (T_e):

El torque eléctrico en p.u. es numéricamente igual a la potencia trifásica, así:

$$T_e = \frac{V_d * i_d + V_q * i_q}{3} = (V_d * I_d + V_q * I_q) \text{ p.u.} \quad (16)$$

y por las condiciones asumidas para el modelo:

$$\begin{aligned} V_d &= -X_q * I_q \\ V_q &= X_d * I_d + \frac{\omega_r * K * M_f * i_f}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (17)$$

Usando (5) en la ecuación (17):

$$V_d = -X_q * I_q$$

de (16) y (18) :

$$V_q = X'_d * I_d + E'_q \quad (18)$$

$$T_e = [E'_q - (X_q - X'_d) * I_d] * I_d \quad (19)$$

linealizando la ecuación (19):

$$\begin{aligned} T_e &= I_{q0} * E'_q + [E'_{q0} - (X_q - X'_d) * I_{d0}] * I_q - (X_q - X'_d) * I_{q0} * I_d \\ T_e &= I_{q0} * E'_q + E_{qa0} * I_q - (X_q - X'_d) * I_{q0} * I_d \end{aligned} \quad (20)$$

donde:

$$E_{qa} = E + (X_d - X_q) * I_d$$

con E de la ecuación (5):

$$E_{qa0} = E_0 + (X_d - X_q) * I_{d0}$$

$$E_{qa0} - E'_{q0} - (x'_d - x_d) * I_{d0} + (x_d - x_q) * I_{d0}$$

$$E_{qa0} - E'_{q0} - (x'_q - x_d) * I_{d0} \quad (21)$$

Sustituyendo (10) y (11) en (20):

$$T_e - K_1 * V_\omega * [E_{qa0} [R_e * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) + (x'_d + x_e) * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$+ I_{q0} * (x_d - x'_d) * [(x_q + x_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) - R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)] * \delta$$

$$+ K_1 * [I_{q0} * [R_e^2 + (x_q + x_e)^2] + E_{qa0} * R_e] * E'_q$$

$$T_e \triangleq K_1 * \delta + K_2 * E'_q \quad (22)$$

Donde K_1 es el cambio en el torque eléctrico para pequeños cambios del ángulo del rotor a flujo del eje d constante, es decir, el coeficiente de torque de sincronismo:

$$K_1 = \frac{T_e}{\delta} \quad (E'_q = E'_{q0})$$

$$K_1 = V_\omega * [E_{qa0} * [R_e * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) + (x'_d + x_e) * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$+ I_{q0} * (x_q - x'_d) * [(x_e + x_q) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) - R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)]]$$

K_2 es el cambio en el torque eléctrico para pequeños cambios en el flujo del eje d a un ángulo constante del rotor:

$$K_2 = \frac{T_e}{E'_q} \quad (\delta = \delta_0)$$

$$K_2 = K_1 * [R_e * E_{qa0} + I_{q0} * [R_e^2 + (x_q + x_e)^2]]$$

1.2.3 Ecuación del voltaje terminal.

(Ref. 2, Cap. VI, p. 208 - 230)

De las ecuaciones del generador sincrónico de la referencia bibliográfica 2, el voltaje terminal tiene la siguiente ecuación:

$$V_t = \frac{V_d^2 + V_q^2}{3}$$

$$V_t^2 = V_d^2 + V_q^2 \quad (\text{valor RMS}) \quad (23)$$

la ecuación linealizada es:

$$V_t = \frac{V_{d0}}{V_{t0}} * V_d + \frac{V_{q0}}{V_{t0}} * V_q \quad (24)$$

sustituyendo (18) y (24):

$$V_t = \frac{V_{d0}}{V_{t0}} * X_q * I_q + \frac{V_{q0}}{V_{t0}} * (X_d' * I_d + E_q') \quad (25)$$

sustituyendo I_q e I_d de (10):

$$\begin{aligned} V_t = & \left[\frac{V_{q0} * K_1 * V_{\infty} * X_d'}{V_{t0}} * [R_e * \cos(\delta_0 - \alpha) - (X_e + X_q) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha)] \right. \\ & - \frac{K_1 * V_{\infty} * X_q * V_{d0}}{V_{t0}} * [(X_d' + X_e) * \cos(\delta_0 - \alpha) + R_e * \text{sen}(\delta_0 - \alpha)] * \delta \\ & \left. + \left[\frac{V_{q0} * [1 - K_1 * X_d' * (X_q + X_e)]}{V_{t0}} - \frac{V_{d0} * K_1 * X_q * R_e}{V_{t0}} \right] * E_q' \right] \\ & V_t \Delta K_5 * \delta + K_6 * E_q' \quad (26) \end{aligned}$$

donde K_5 es el cambio en el voltaje terminal V_t para pequeños cambios en el ángulo del rotor a flujo constante en el eje.

$$K_5 = \frac{V_t}{\delta} \quad (E_q' - E_{q0})$$

y K_6 es el cambio en el voltaje terminal V_t para pequeños cambios en el flujo en el eje d a ángulo de rotor constante.

$$K_6 = \frac{V_t}{E'_q} (\delta - \delta_0)$$

Resumiendo las ecuaciones se tiene:

$$E'_q = \frac{K_3 * E_{fd}}{1 + K_3 * \tau'_{d0} * S} - \frac{K_3 * K_4 * \delta}{1 + K_4 * \tau'_{d0} * S}$$

$$T_e = K_1 * \delta + K_2 * E'_q$$

$$V_t = K_5 * \delta + K_6 * E'_q$$

Donde las constantes $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ dependen de los parámetros de la red, el punto de operación y el voltaje de la barra infinita.

El ángulo δ en radianes se obtiene integrando w' .

En estas ecuaciones el tiempo está en p.u. en base a 1/377 seg. T es el torque total base de la potencia mecánica de la máquina y H es la constante de inercia en s.

$$T_j \omega' - T_m - T_e \quad \delta \quad T_j - 2 * H * \omega_r$$

1.2.4 Efecto de la carga.

Teniendo en cuenta el efecto desmagnetizante de la reacción de armadura, se tiene $E_{fd} = 0$, entonces:

$$E'_q = \frac{K_3 * K_4 * \delta}{1 + K_3 * \tau'_{d0} * S} \quad (27)$$

sustituyendo la ecuación anterior en la expresión de T_e :

$$T_e = \frac{(K_1 - K_2 * K_3 * K_4) * \delta}{1 + K_3 * \tau'_{do} * s} \quad (28)$$

$$V_t = \frac{(K_5 - K_3 * K_4 * K_6) * \delta}{1 + K_3 * \tau'_{do} * s} \quad (29)$$

$$V_t \approx \frac{K_4 * K_6 * \delta}{\tau'_{do}}$$

ésta simplificación debido a que el segundo término es mayor que el primero.

1.2.5 Comparación con el modelo clásico.

En el modelo clásico no se considera el efecto desmagnetizante de la reacción de armadura, manifestado como un cambio en E_q . Así en el modelo clásico se tiene que $K_2 = 0$, también la constante de tiempo efectiva se asume mucho más grande que $E_q \approx$ constante. Así mismo, en el modelo clásico $K_6 = 0$.

1.2.6 Diagrama de bloques del modelo.

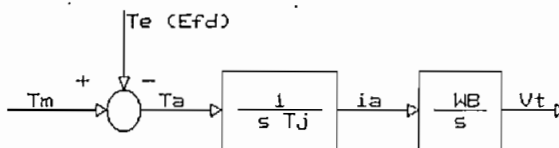


Figura No. 1.4

En la figura No.1.4, se representa el diagrama correspondiente a la ecuación $T_j \omega' = T_m - T_e$ y la ecuación para δ' . Combinando las ecuaciones (19) y (27) y del resumen de ecuaciones se obtiene el diagrama de bloques de la figura No.1.5. En ésta figura

se tienen dos entradas que son E_{fd} y T_m , la salida es el voltaje terminal V_t ; de éste diagrama se tiene que el modelo simplificado de la máquina síncrona es un sistema de tercer orden.

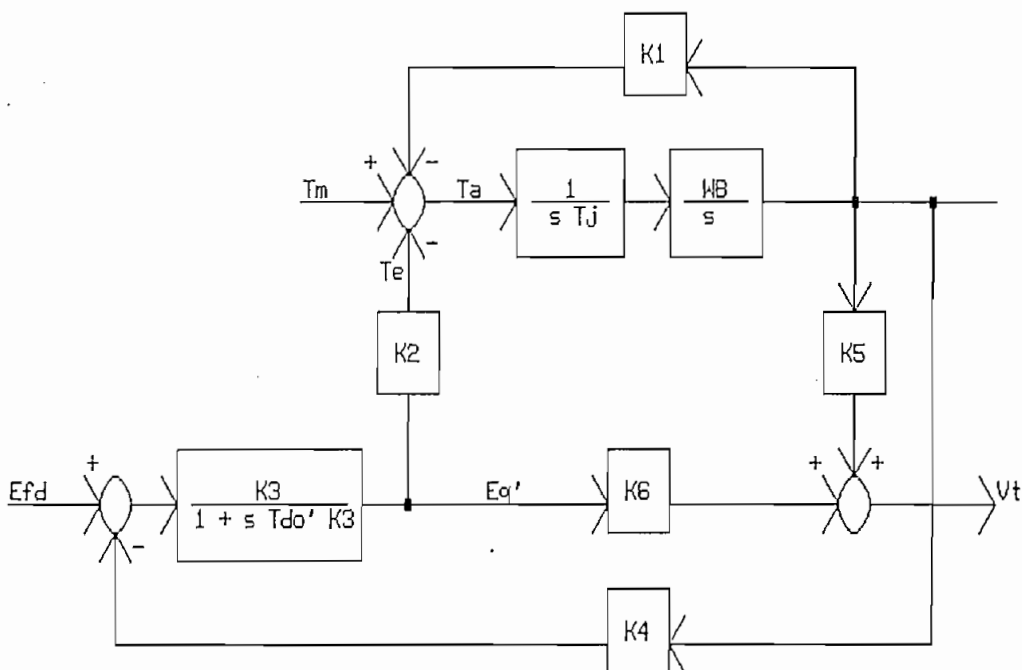


Figura No.1.5

- T_m = Torque mecánico
- T_e = Torque eléctrico
- E_{fd} = Valor RMS de la FEM
- V_t = Voltaje terminal
- E_q' = Voltaje del estator (RMS)

1.2.7 Resumen general de fórmulas para el modelo lineal simplificado de la máquina sincrónica.

$$K_1 = \frac{1}{R_e^2 + (X_q + X_e) * (X_d' + X_e)}$$

$$K_2 = K_1 * [R_e * E_{q0} + I_{q0} * (R_e^2 + (X_q + X_e)^2)]$$

$$K_3 = \frac{1}{1 + K_1 * (X_d - X_d') * (X_q + X_e)}$$

$$K_4 = V_\omega * K_1 * (X_d - X_d') * [(X_q + X_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) - R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$K_5 = \frac{K_1 * V_\omega * X_d' * V_{q0}}{V_{t0}} * [R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) - (X_q + X_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$- \frac{K_1 * V_\omega * X_q * V_{d0}}{V_{t0}} * [(X_d' + X_e) * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) + R_e * \text{sen}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$K_6 = \frac{V_{q0} * [1 - K_1 * X_d' * (X_q + X_e)]}{V_{t0}} - \frac{K_1 * X_q * R_e * V_{d0}}{V_{t0}}$$

$$T_j = 2 * H * \omega_r$$

τ_{do} = Constante de tiempo subtransitoria de la máquina.

La función de transferencia de la máquina una vez simplificado el diagrama de bloques y en base a las ecuaciones anteriores la función de transferencia es:

$$\frac{V_t}{E_{FD}} = \frac{\frac{K_6}{\tau'_{do}} * (S^2 + \frac{K_1 * K_6 - K_2 * K_5}{2 * H * K_6})}{[S^3 + \frac{S^2}{K_3 * \tau'_{do}} + \frac{S * K_1}{2 * H} + \frac{K_1 - K_2 * K_3 * K_4}{2 * H * \tau'_{do} * K_3}]}$$

1.2.8 Modelo linealizado de la máquina de experimentación.

En base al modelo planteado y con los parámetros conocidos de la máquina síncrona #1 del laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Escuela Politécnica Nacional (Apéndice A), la función de transferencia de la máquina síncrona de experimentación es la siguiente:

$$\frac{V_t}{E_{FD}} = \frac{0.000508 * [S^2 + 0.028512]}{S^3 + 0.02728 * S^2 + 0.025138 * S + 0.00053555}$$

La obtención de la función de transferencia para la máquina síncrona de experimentación se indica en el Apéndice A.

1.3 SISTEMAS DE EXCITACION DE LA MAQUINA SINCRONICA.³

Los sistemas de control de la excitación y regulación del voltaje terminal son de los más importantes para la operación adecuada del generador síncrono; por ésta razón en el presente trabajo se realiza el control del voltaje de un generador síncrono actuando sobre la excitación del mismo.

Inicialmente se hace una revisión de las diferentes formas de excitación de la máquina síncrona ya sean sistemas de corriente contínua, corriente alterna y estáticos.

³MULUKUTA S. SARMA, " Synchronous Machine their Theory, Stability and Excitation Systems ", Northeastern University.

1.3.1 Componentes de un sistema de excitación.

La fuente de voltaje de campo para la excitación de una máquina síncrona es un sistema de excitación que incluye el excitador, regulador y control manual. Los sistemas modernos de excitación para máquinas síncronas grandes son sistemas de control realimentados. La figura No.1.6 ilustra los elementos esenciales de un sistema de control automático; en la figura No.1.7 se da un diagrama general de los componentes de un sistema de excitación.

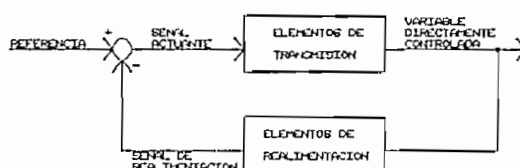
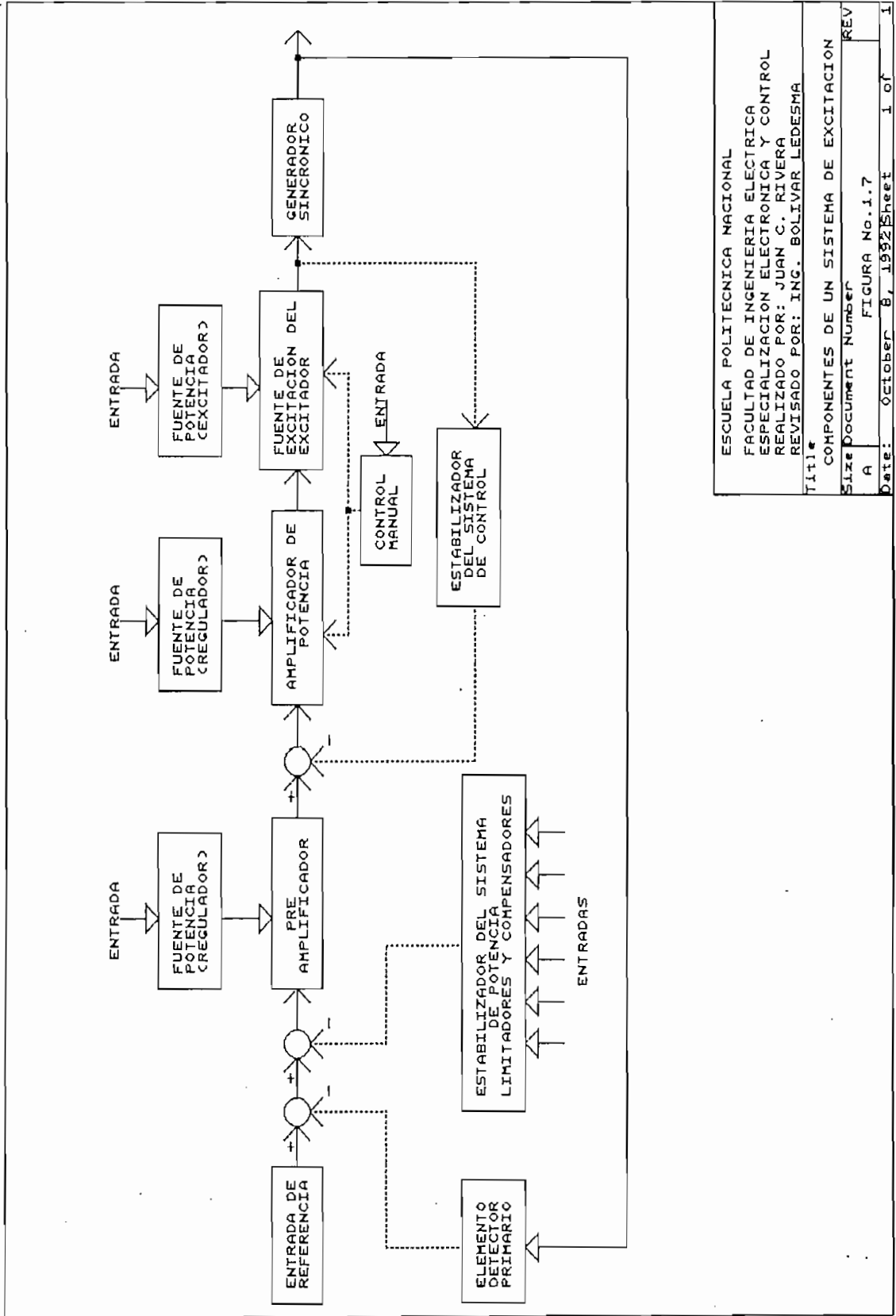


Figura No.1.6

Las excitatrices son los dispositivos que permiten obtener el voltaje DC desde alguna fuente primaria para alimentar con la corriente necesaria al campo de un generador síncrono; los principales excitatrices usadas pueden ser:

a) **Excitatriz con generador-conmutador DC.³**

Cuya energía es obtenida desde un generador de DC con conmutador y escobillas, la excitatriz puede ser manejada por un motor primario, o acoplado al mismo eje de la máquina síncrona.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
 ESPECIALIZACION ELECTRONICA Y CONTROL
 REALIZADO POR: JUAN C. RIVERA
 REVISADO POR: ING. BOLIVAR LEDESMA

Title	
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EXCITACION	
Size	Document Number
A	FIGURA No.1.7
Date:	October 8, 1992
Sheet	1 of 1

b) **Excitatriz alternador-rectificador.**

La energía es obtenida desde un alternador y convertida a DC por medio de rectificadores. Los rectificadores pueden ser controlados o no controlados, y pueden ser estacionarios o rotativos con el eje del alternador. El alternador puede ser manejado por un motor primario o acoplado al mismo eje de la máquina sincrónica.

c) **Excitatriz fuente de voltaje-rectificador.**

La energía se obtiene desde una fuente de voltaje AC y es convertida a DC por medio de rectificadores. La excitatriz incluye transformadores de voltaje y los rectificadores pueden ser controlados y/o no controlados incluyendo circuitería de disparo.

d) **Excitatriz rectificador-compound.**

La energía se obtiene desde los terminales AC de la máquina sincrónica (corriente y voltaje) y convertido a DC por medio de rectificadores. La excitatriz incluye transformadores de potencia (corriente y voltaje), inductancias de potencia y rectificadores de potencia los cuales pueden ser no controlados y/o controlados incluyendo circuitería de disparo.

El regulador se encarga de acoplar las variables de salida de la máquina sincrónica a la entrada de la excitatriz a través de la realimentación y transmitir a los elementos controladores las señales necesarias para regular las variables de la máquina sincrónica. El regulador generalmente consiste de un detector de error, preamplificador, estabilizadores, entradas auxiliares y limitadores.

El regulador actúa en forma continua de tal manera de realizar una acción correctiva para mantener un cambio depreciable de la variable controlada.

Los sistemas estabilizadores de potencia proveen una entrada adicional para el regulador para mejorar el comportamiento dinámico del sistema.

Valores tales como velocidad del eje, frecuencia, potencia eléctrica de la máquina pueden ser usados como entradas para el sistema estabilizador de potencia. Otras señales modificadas

incluyen limitadores y compensadores. Los limitadores actúan para limitar una variable por modificación o reemplazando la función del elemento detector primario cuando condiciones predeterminadas tienen que ser cambiadas. Ejemplos incluyen excitación máxima, excitación mínima y máximo valor de voltaje/frecuencia.

Los reguladores actúan para compensar el efecto de una variable por modificación del elemento detector primario. Ejemplos incluyen compensador de corriente reactiva, compensador de corriente activa y compensadores de caída de voltaje en la línea.

Los compensadores de caída en la línea introducen en el regulador una caída de voltaje equivalente a la impedancia y así se modifica el voltaje generado.

El sistema estabilizador del control de excitación modifica la señal transmitida para la compensación serie a la realimentación para mejorar la dinámica del sistema de control de excitación, para eliminar oscilaciones y sobretiro del voltaje. Las caídas de voltaje reactivo y resistivo en la impedancia son obtenidas por compensadores reactivos y activos respectivamente.

El principio de operación de un sistema de control de excitación puede ser descrito de la siguiente manera: de la diferencia entre la señal de voltaje generado y la de referencia se obtiene una señal de error la misma que produce una variación del voltaje de excitación, lográndose un nuevo nivel de excitación del generador sincrónico ya que también cambia el nivel de la corriente del campo.⁴

El sistema de control de excitación provee el adecuado voltaje y corriente de campo para mantener constante el voltaje (generado) del sistema. Una característica importante de tal sistema de control es la habilidad para responder rápidamente a las variaciones de voltaje durante una operación normal, anormal o de emergencia del sistema.

⁴LEDESMA B., ALVARADO D., " Diseño y Construcción de una Excitatriz Estática para un Generador de SMVA, E.P.N., 1990.

1.4 CONVERSORES AC-DC.

1.4.1 Generalidades.

Los conversores (rectificadores) AC-DC con conmutación natural, son circuitos que permiten obtener potencia DC a partir de una Fuente de AC.

La operación de un conversor AC-DC está basado en el encendido y apagado de los elementos rectificadores, los cuales son generalmente diodos y/o tiristores. El uso de tiristores como rectificadores a los cuales se les puede retardar en su activado, dan la posibilidad de obtener un voltaje variable DC en los terminales del conversor.

La elección de un tipo de conversor para una determinada aplicación depende de ciertos criterios tales como:

- Naturaleza o tipo de la fuente de alimentación.
- Rizado de la corriente de carga.
- Armónicos inyectados en la línea.
- Rango de voltaje de salida DC., etc.

Los conversores AC-DC suelen clasificarse de acuerdo a las siguientes características:

- Número de fases de la red de alimentación.
- Número de pulsos del conversor (número de pulsos existentes en el voltaje DC de salida en un período de voltaje AC).
- Conexión de los elementos del conversor (diodos y tiristores).
- Uso de los elementos no controlados únicamente, o una combinación de controlados y no

controlados. Conociéndolos como convertidores no controlados, semicontrolados o controlados.

- Utilización o no de un diodo de conmutación.

En la figura No. 1.8, se indican los tipos de convertidores más comunmente utilizados.

Los convertidores que tienen alimentación monofásica se emplean generalmente para aplicaciones de baja potencia. Para potencias mayores a unos cuantos Kw. existen razones como las que a continuación se anotan para preferir un esquema trifásico:

- La fuente trifásica es cargada en forma simétrica.
- Bajo contenido armónico en la corriente de línea; por consiguiente existe menor distorsión en el voltaje de línea que en el caso monofásico.
- El rizado del voltaje DC a la salida del convertidor tiene componentes armónicos de mayor frecuencia pero de menor amplitud, requiriendo entonces componentes de filtrado menores y causando menos pérdidas en la carga.
- El comportamiento dinámico de los convertidores trifásicos es mejor debido a que los tiristores son activados en intervalos mas cortos; esto reduce el retardo ante a las señales de control y permite una respuesta más rápida.

Dado que se requiere tener un voltaje DC variable para el campo de un generador sincrónico y se trabaja en la perspectiva de tener una excitatriz estática para un generador de mediana potencia se ha elegido un:

CONVERTOR TRIFASICO SEMICONTROLADO TIPO PUENTE CON DIODO DE CONMUTACION.

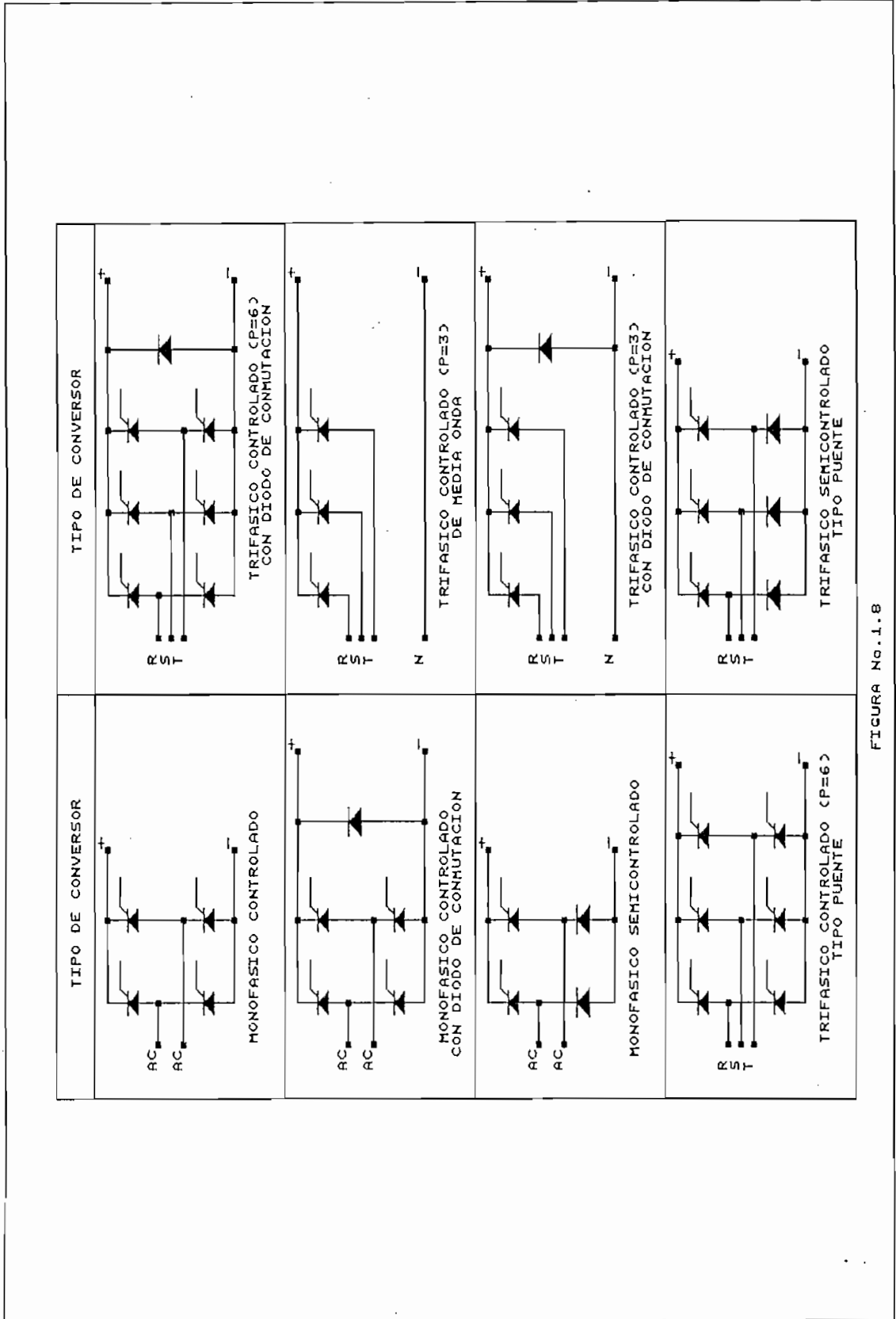


FIGURA No. 1.8

Se ha escogido un convertidor semicontrolado puesto que el convertidor va a trabajar únicamente en el modo de rectificador y no como inversor sincrónico, también se tiene una reducción de hardware para el disparo de los tiristores puesto que en este caso se tiene que activar tres tiristores y no seis como en un convertidor totalmente controlado, en cuyo caso el costo sería mayor.

Se toma la opción de un puente trifásico para tener un mayor número de pulsos (seis), con lo que el factor de rizado de la corriente será menor que el caso de un convertidor monofásico, y consecuentemente el voltaje generado presentará una menor distorsión. En el caso del convertidor escogido el número de pulsos varía de seis a tres dependiendo del ángulo de activado, lo que no ocurre con un convertidor totalmente controlado, pero considerando el factor económico por la reducción de hardware, es preferible trabajar con el convertidor semicontrolado.

1.4.2 OPERACION DEL CONVERTIDOR TRIFASICO SEMICONTROLADO TIPO PUENTE.

La conexión de un equipo electrónico de potencia a la red de suministro origina problemas especiales en ambos lados de la interconexión que normalmente no se presentan cuando se conectan a cargas convencionales como un motor, sistemas de iluminación, etc. La impedancia propia de la red de suministro (reactancia de conmutación) afecta a la operación del convertidor estático y a la vez la operación del mismo convertidor genera armónicos en la corriente de la red, distorsión del voltaje y algunos otros efectos sobre la red de suministro.

La relación de cortocircuito (**RCC**) definida como la relación entre la capacidad de cortocircuito trifásico de la red y la capacidad nominal del convertidor estático es una medida de

qué tan vulnerable puede resultar la conexión del convertidor al sistema. Cuando la **RCC** es menor a **50** se debe poner especial atención a los problemas de interconexión de un convertidor estático de potencia a la red.

La impedancia que presenta la red de suministro al equipo convertidor electrónico de potencia en el punto de conexión es, en general, función de la frecuencia y de la secuencia de fases. El valor que usualmente se utiliza, considerado a 60 Hz., y que sirve para realizar el cálculo de una falla se determina representando a todos los generadores sincrónicos mediante su reactancia subtransitoria X_d'' . Esta impedancia de secuencia positiva es también la porción con que la red aporta a la reactancia de conmutación vista por el convertidor estático. La impedancia de secuencia negativa es prácticamente igual a la de secuencia positiva en vista de que las reactancias del generador tienen valores muy similares. La impedancia de secuencia negativa es utilizada para calcular los efectos de la operación de convertidores estáticos monofásicos.⁵

Para realizar y facilitar el estudio de los conversores se asumen ciertas condiciones como son: La caída de voltaje en los elementos semiconductores, en los transformadores y otros componentes es despreciable, la conmutación (activado y desactivado de los tiristores y/o diodos) se considera instantánea, esto puesto que el tiempo de duración esta en el orden de los $\mu s.$; el voltaje de alimentación es simétrico, fijo y sinusoidal, y la corriente de carga (de salida del conversor) es constante.

Los datos del generador utilizado para las pruebas son:

$$V_r = 110 \text{ V.}$$

$$R_r = 52.5 \Omega$$

$$X_d'' = 4 \Omega$$

$$V_s = 220 \text{ V.}$$

la caída de voltaje debida a la reactancia de conmutación es:

⁵LEDESMA B., "Efectos de la Operación de los Convertidores Estáticos en la Red de Suministro", E.P.N., 1990.

$$V_{X_{pu}} = \frac{I_d * X_c}{2 * \sqrt{2} * V_s * \text{sen} \left(\frac{\pi}{p} \right)}$$

$$V_{X_{pu}} = 2.7 \%$$

la capacidad de cortocircuito trifásica del generador es:

$$CCC = [3 * (220 \sqrt{3})^2] / 4 \Omega$$

$$CCC = 12.1 \text{ Kw}$$

la potencia de excitación del generador sincrónico:

$$P_r = P_{exc} = 110^2 / 52.5 \Omega$$

$$P_{exc} = 0.230 \text{ Kw.}$$

obteniendo como relación de cortocircuito:

$$RCC = 12.1 \text{ Kw} / 0.230 \text{ Kw}$$

$$RCC = 52.5$$

Tomando en consideración los valores anteriores se puede despreciar los efectos de la impedancia de la red (generador) en la operación del convertidor por lo que se lo diseñará de una manera independiente.

La figura No. 1.9, muestra la configuración del convertidor especificado, y que es uno de los de mayor aplicación en la industria.

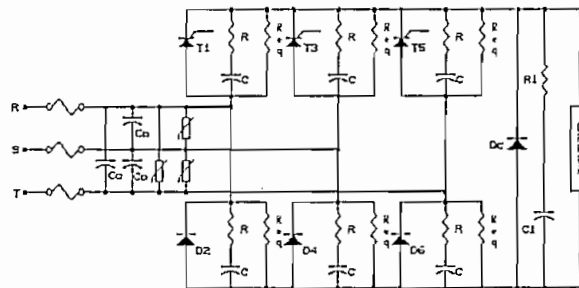
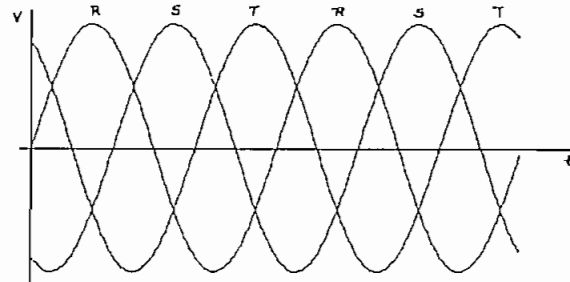
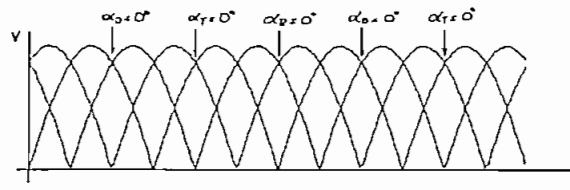


Figura No. 1.9

En la figura No. 1.10, se observan los puntos de retardo para $\alpha = 0^\circ$, el voltaje de línea de la fuente y el rango de control factible del ángulo de control α .



Voltajes de línea R S T



Voltaje sobre la carga
Figura No.1.10

En la figura No. 1.11 se indican las formas de onda del voltaje de salida ($Vd\alpha$) para diferentes valores de ángulo de activado α de los tiristores (SCR's).

La ecuación característica del voltaje de salida del circuito en función del ángulo de activado α es:

$$Vd\alpha = \frac{\sqrt{2} * V_S * P}{\pi} * \text{sen}\left(\frac{\pi}{P}\right) * \left[\frac{1 + \cos\alpha}{2}\right] = Vd0 \left(\frac{1 + \cos\alpha}{2}\right)$$

donde:

$Vd0$ = voltaje medio de salida para $\alpha = 0^\circ$.

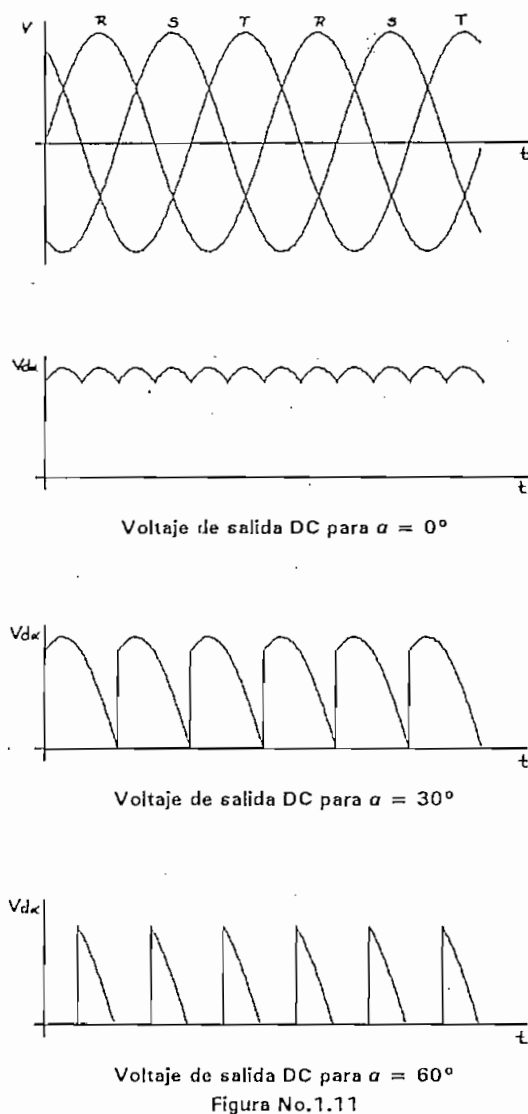
α = ángulo de retardo en el activado.

$Vd\alpha$ = voltaje medio de salida para un α dado.

V_s = voltaje de alimentación rms.

p = número de pulsos.

El rango de control para el ángulo de activado es de 180° eléctricos; en la figura No.1.12, se indica el voltaje medio de salida normalizado versus el ángulo de retardo también normalizado.



Esta característica es válida para cualquier tipo de convertidor semicontrolado, sea trifásico o monofásico.

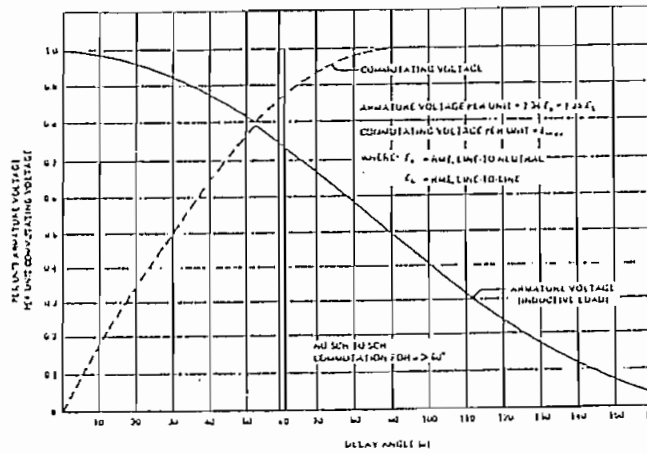


Figura No.1.12

1.5 CONTROL DIGITAL DE UN CONVERTOR AC-DC.

1.5.1 INTRODUCCION.

Con el desarrollo de los microprocesadores desde inicios de la década de los setenta, cuyo desarrollo es comparable al de los semiconductores de potencia en la década de los cincuenta, se ha ingresado a una nueva dimensión en la tecnología de la electrónica de potencia.

La primera generación de microprocesadores usaba una arquitectura de 4 bits, la cual fue superada por los microprocesadores de 8 bits, posteriormente los de 16 bits y ahora los de 32 bits, los cuales hacen posible una integración a gran escala. En la actualidad con la tecnología VLSI (very large scale integration) se da una gran competición entre los microprocesadores VLSI de propósito general y los dedicados específicamente para el control.

Un microprocesador es el responsable de los cálculos y la toma de decisiones para la operación de un sistema. La parte principal de un microprocesador es la unidad central de procesamiento (CPU), y en adición a ésta consta de los siguientes elementos:

- Reloj.
- Bus de dirección y datos (opcional).
- Memoria de programa (ROM).
- Memoria de datos (RAM).
- Controlador de interrupciones.
- Señales de entrada/salida digitales.
- Señales de entrada/salida análogas.
- Interface de comunicación serial.

Un diagrama de componentes típico de un microprocesador se muestra en la figura No. 1.13.

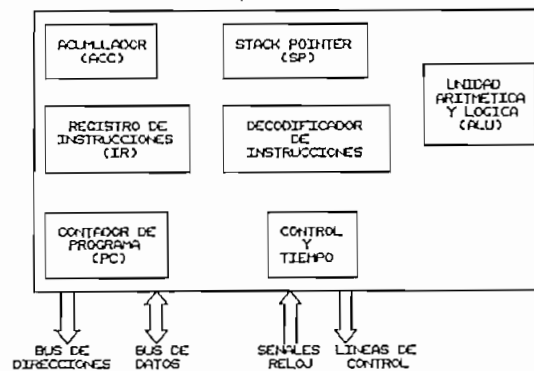


Figura No.1.13

Los microcontroladores y, en general, el diseño de sistemas digitales para control tienen algunos méritos y limitaciones los cuales se resumen a continuación:⁶

- **Bajo costo de Hardware.**

La simplificación del hardware de control, y su correspondiente reducción en el costo en comparación con el control análogo, es la ventaja principal del control basado en un microprocesador. Esta tendencia es evidente al aumentar la velocidad y el número de funciones del microprocesador. Chips de la tecnología VLSI con la integración de un hardware total de control para una aplicación específica en grandes volúmenes de producción pueden ser muy económicos. Peso y tamaño reducido, con menor consumo de potencia son ventajas adicionales.

- **Confiabilidad.**

La confiabilidad de los circuitos integrados con tecnología LSI o VLSI es considerablemente mayor que cualquier circuito electrónico con un gran número de componentes. Experiencias anteriores han demostrado que los controladores microprocesados tienen una más alta confiabilidad que otros componentes y sistemas controladores de potencia.

- **Menores problemas de interferencia electromagnética.**

El alto nivel de integración de un microcontrolador, evita el acoplamiento de transitorios de voltaje y corriente en un sistema de electrónica de potencia. El acoplamiento de ruido a través de la fuente de alimentación y señales de entrada puede ser minimizado mediante el uso de filtros digitales o análogos.

⁶BOSE K., " Microcomputer Control of Power Electronics and Drives ", IEEE press, USA, 1988.

- **Variación nula de parámetros.**

El procesamiento digital de señales elimina la variación de parámetros, los cuales son prevalentes en controladores analógicos. El cálculo digital es 100% exacto, y los problemas de truncamiento y overflow se evitan con un escalamiento adecuado.

- **Software y hardware universal.**

El hardware universal puede ser diseñado para cierta clase de sistemas donde el software puede ser modificado para satisfacer especificaciones adicionales. Por ejemplo, todos los "drives" de inversores de voltaje pueden ser controlados por el mismo hardware, pero con diferentes especificaciones de funcionamiento que pueden ser conseguidas mediante alteraciones en el software. La ventaja adicional del software es su flexibilidad para ser construido, alterado o actualizado de acuerdo a como el sistema lo requiera.

- **Diagnósticos.**

Una ventaja más del control con microprocesador es su software poderoso de diagnóstico, que puede ser diseñado por un técnico semiexperto. Adicionalmente, la adquisición de datos, monitoreo de señales, precauciones y muestra de valores en displays pueden ser fácilmente realizados.

- **Cálculos lentos.**

La ejecución de una función en un microcontrolador, es más lenta que en un circuito análogo dedicado a un hardware de control, y la razón para esto es que el microcontrolador calcula la función en forma serial, mientras que el hardware dedicado lo hace en forma paralela. Si un microcontrolador manipula múltiples tareas, se debe disponer de un tiempo para cada una, a través de una "multiplexación" adecuada, y esto aumenta más el tiempo de ejecución. Grandes retardos de muestreo pueden causar deterioro en el funcionamiento y estabilidad en los lazos de

realimentación. Cada vez se están construyendo microprocesadores con mayor velocidad de cálculo y esta tendencia continuará en el futuro para superar esta desventaja.

- **Error de cuantización.**

En un sistema físico se tiene señales analógicas y, cuando éstas son convertidas a digitales para el microprocesador por medio de un conversor A/D, existe un error finito. El error de cuantización puede ser minimizado al incrementar el número de bits del microprocesador y del conversor.

- **Deficiencia en el acceso a las señales de software.**

El control con microprocesador no provee un fácil acceso a las señales de software para ser monitoreadas y comparadas con las de un hardware de control. Un sistema que permita el monitoreo de estas señales puede ser construido para este propósito.

- **El desarrollo de software puede ser muy costoso.**

El desarrollo de software especialmente en lenguaje assembler puede consumir mucho tiempo y ser muy costoso. El costo adicional puede justificarse desde el punto de vista de las otras ventajas. EL incremento de costo en un alto volumen de producción puede no ser muy considerable.

1.5.2 Técnicas de control de convertidores AC-DC con microprocesador.

Existen varias técnicas que se han desarrollado para controlar el disparo de convertidores con conmutación natural, unas analógicas, otras digitales y otras como combinación de las dos anteriores. Así, se pueden citar las siguientes: comparadores análogos, contadores digitales, PLL's (Phase Locked Loop) entre otras. En la mayoría de estos esquemas, la señal de activado se genera

cuando una señal variable en el tiempo (señal triangular o diente de sierra), se iguala a una de referencia (voltaje continuo normalizado de 0 a 10 V).

La construcción se la puede realizar de manera análoga por el método del coseno inverso, o de forma digital, como una tabla de "look-up" o tabla de traducción grabada en una memoria y contadores, pero el ángulo de activado es siempre calculado con respecto al cruce por cero de la forma de onda del voltaje de entrada (caso monofásico) o cambio de fase para el caso trifásico.

Por consiguiente, todos estos métodos pueden agruparse en uno solo llamado "métodos de activado absoluto" debido al hecho de que el disparo se realiza sin tomar en cuenta disparos anteriores; sin embargo éstos no son fáciles de realizar en los microprocesadores, a causa de los tiempos de operación de estos (cálculos), habiéndose tan solo realizado simples adaptaciones del software. Por esta razón, en la mayoría de casos se han desarrollado métodos relativos de ángulo de disparo. En el presente trabajo se va a realizar un método de disparo absoluto, ya que el intervalo entre los dos pulsos de disparo es constante e igual a 120° .

1.5.2.1 Método relativo de control del ángulo de activado.

Con este método, el ángulo de disparo es controlado variando el intervalo de tiempo entre los disparos de dos tiristores consecutivos (ver figura No.1.14). Por supuesto en estado estable, este intervalo (δ) es de 120° (en convertidores semicontrolados).

Este esquema de control tiene algunas ventajas a nivel industrial:

- a. El costo de instrumentación es extremadamente reducido debido a la eliminación de detectores de los cruces por cero del voltaje.
- b. El intervalo entre disparos es directamente controlado.
- c. La detección de los instantes de cruce por cero (o puntos de sincronización) en voltaje de alterna se hace una sola vez cada 360° .

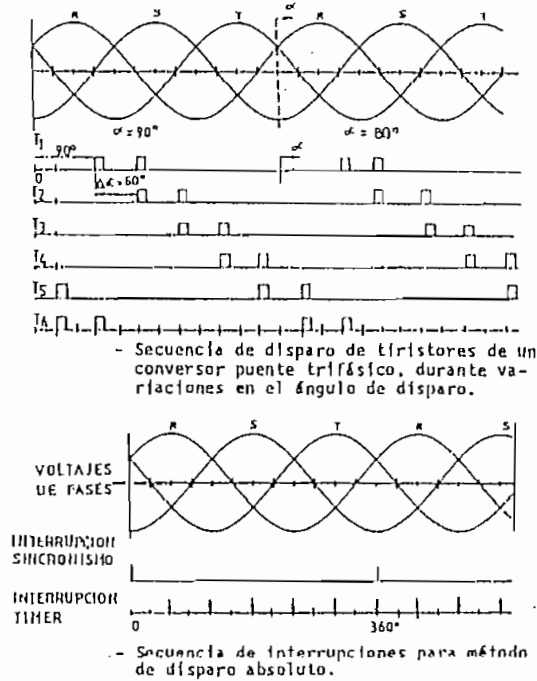


Figura No.1.14

A pesar de que la mayoría de esquemas de disparo utilizan la detección del cruce por cero de cada fase para obtener un punto de referencia entre el ángulo de disparo y el tiristor correspondiente, las señales de cruce por cero no son exactamente espaciadas 120° debido a la distorsión armónica en las formas de onda de entrada y las desigualdades en los componentes de los tres detectores. Por tanto, aún cuando los circuitos de disparo sean idénticos para todos los tiristores, los ángulos de activado diferirán en algo causando incertidumbre y generando armónicos de orden impar.

Con el esquema de ángulo de disparo relativo, los activados equidistantes se mantienen aún cuando exista algún error en la detección del cruce por cero. El error modificará el ángulo de disparo pero todos los tiristores se dispararán con un ángulo idéntico.⁷

⁷BOSE K., " Microprocessor Based Design of a Firing Circuit for Three Phase Full Wave Thyristor Dual Converter, IEEE press, USA, 1982.

El principal inconveniente de este método es que no se dispone de un tiempo fijo para el procesamiento de funciones de control y protección llevadas a cabo por el microcontrolador puesto que:

$$\delta\alpha = \alpha_n - \alpha_{n-1} + 60^\circ$$

donde:

- α_n = próximo ángulo de disparo.
- α_{n-1} = anterior ángulo de disparo.
- $\delta\alpha$ = intervalo entre dos pulsos consecutivos.

Si por ejemplo se desea cambiar el ángulo de disparo de 90° a 80° se dispone de un tiempo entre disparos equivalentes a 50° para ejecución de las funciones de control, protección y reportes encargados al microcontrolador. En cambio, en el caso de disminuir el ángulo de 38° a 2° , el tiempo disponible se reduce a 24° . Una situación como la reseñada, podría comprometer el funcionamiento del sistema en general.

Para resolver esta situación, se propone un esquema de disparo absoluto, en el que los pulsos de disparo a los tiristores del convertidor se efectúan mediante una secuencia de interrupciones. Con ello, se consigue disponer de un tiempo fijo equivalente a 120° para procesamiento de las restantes tareas del microcontrolador.

Es aconsejable procurar que exista una relación lineal entre el voltaje de control (entrada) y el voltaje medio de salida del convertidor. Si la corriente en la carga es considerada continua, este efecto puede ser alcanzado incluyendo una función coseno inverso en el controlador que compense la no linealidad propia del convertidor. Existen muchas maneras de hacer esto con controladores analógicos. En sistemas digitales, la manera más simple y rápida es utilizando tablas de traducción (look-up tables).

Existe la posibilidad de compensar la caída de voltaje en la reactancia de conmutación, mediante un algoritmo que permite mantener la linealidad entre el voltaje de salida del convertidor

y el ángulo de activado, por medio de la medición de la corriente de salida, teniéndose:

$$V_{base} = V_{do} = \sqrt{2} V_s \frac{6}{\pi} \text{sen}(\pi/p)$$

$$V_{base} = 3 \sqrt{2} V_s / \pi$$

$$I_{base} = \sqrt{2} V_s / 2 X_c$$

$$X_c = 2 * \pi * f * L_c$$

$$I_{opu} = \sqrt{2} * I_d * X_c / V_s$$

$$V_{d_{\alpha pu}} = \cos \alpha - 0.5 * I_{opu}$$

I_{base} = Máxima corriente pico entre dos líneas en cortocircuito.

Sin embargo este tipo de compensación se debe realizar cuando el convertor opera conectado a una fuente cuya reactancia es bastante grande (reactancia de conmutación alta) pudiendo provocar una caída de voltaje considerable.⁸

En el presente trabajo y considerando los datos determinados en el numeral 1.4.2, donde se establece que la influencia de la reactancia de conmutación de la fuente es despreciable, se realiza el activado de los tiristores del convertor de potencia trifásico semicontrolado por medio del esquema de disparo absoluto, ya que no es necesario compensar la caída de voltaje en la reactancia de la red.

⁸BOSE K., " A Novel Microprocessor Based Controller for a Phase Controlled Rectifier Connected to a Weak AC Systems ", IEEE press, USA, 1985.

CAPITULO II

ESPECIFICACIONES Y DISEÑO

2.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El presente trabajo de tesis está orientado básicamente al desarrollo de un regulador de voltaje basado en un microprocesador para un sistema electrónico de potencia, por lo que es necesario especificar desde un inicio todos los requisitos que el sistema en forma general debe cumplir, tanto en la parte de potencia como de control. El esquema de control que se busca construir responde al diagrama de bloques de la figura No. 2.1.

En este esquema se desea realizar un controlador que permita tener un tiempo de respuesta adecuado, así como que el voltaje generado se mantenga dentro de un margen de error razonable por lo que se plantea un controlador del tipo proporcional-integral-derivativo. Como el sistema va a operar en lazo cerrado para mejor comportamiento del sistema se establecen dos lazos de realimentación, el externo correspondiente al del voltaje generado, mientras que el interno es el de

la corriente de campo.

El convertidor utilizará un circuito de disparo que tenga la compensación adecuada de tal manera que exista una relación lineal entre el voltaje de salida y la señal de control.

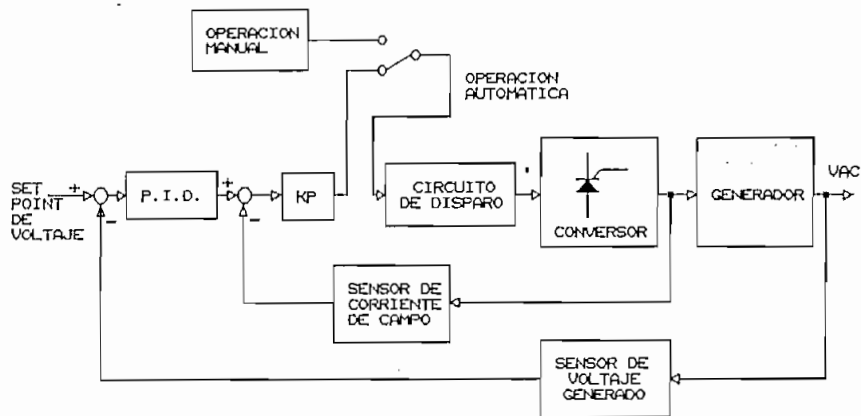


Figura No. 2.1

En cuanto a la forma de operación del sistema se prevé que en el arranque se tendrá un control de tipo manual en el cual el voltaje del generador se controla directamente por medio de teclado teniéndose un sistema en lazo abierto, para luego, una vez que el voltaje generado sea el deseado, se proceda a pasar a operación automática, indicación que se la dará a través de teclado, con lo cual el sistema pasará a operar en lazo cerrado.

2.1.1 Sistema de Potencia.

El equipo será diseñado para controlar un convertidor trifásico semicontrolado tipo puente, (por ser el más utilizado en el campo industrial), dentro de los límites del rango de funcionamiento determinado por los siguientes parámetros:

- Especificaciones de salida.

Voltaje nominal de salida de : 0 a 120 V_{DC}

Corriente nominal de salida : 20 A_{DC}

Corriente máxima de salida : 25 A_{DC}

- **Especificaciones de entrada.**

Voltaje nominal de entrada : 220 V_{AC}

Variación de voltaje entre : 80% - 120%

Número de fases : 3

Frecuencia : 60 Hz.

Variación de frecuencia : $\pm 10\%$

- **Condiciones de temperatura y enfriamiento.**

Temperatura ambiente : 0°C - 40°C

Enfriamiento natural

- **Altura.**

El equipo operará hasta 2800 m sobre el nivel del mar.

Todos estos parámetros de diseño fueron establecidos, considerando que la excitatriz estática podría excitar el campo de un generador sincrónico con una potencia hasta 50 KW, o de una excitatriz rotativa de similar potencia la cual podría controlar el campo de un generador de hasta 1 MW. Es necesario indicar que el convertidor puede entregar un voltaje de salida máximo de 240 V., pero debido a que se va a trabajar con generadores que tienen un voltaje de excitación de 110 V. se ha limitado el ángulo de activado de los tiristores de tal manera que el voltaje máximo entregado sea 1.1 veces el voltaje de placa indicado en las máquinas.⁹

2.1.2 Sistema de Control.

⁹IEEE, " Standard Practices and Requirements for General Purpose Thyristor DC Drives ", IEEE press, USA.

El sistema básicamente estará orientado al control de voltaje y corriente que proporciona el convertidor estático AC-DC, variables por medio de las cuales se pretende regular el voltaje generado por la máquina sincrónica. Para cumplir este propósito el equipo dispondrá de un convertidor analógico-digital por medio del cual se podrá realizar la medición de señales analógicas que permitan tener un control en lazo cerrado. Además efectuará el muestreo, supervisión y limitación de señales analógicas relacionadas con variables críticas tanto del convertidor como del generador. De esta manera, el equipo será capaz de recibir información externa (siempre que las señales estén dentro de los límites especificados), con la finalidad de ser procesada en el microcontrolador mediante algoritmos de control que buscan como objetivo principal obtener una buena regulación del voltaje del generador.

Adicionalmente el sistema debe realizar la supervisión de fallas en forma permanente y confiable, tanto en software como en hardware.

En resumen, se requiere de un microcontrolador, que junto a otros elementos electrónicos, reúna las condiciones necesarias para realizar las siguientes tareas:

a) **Control del convertidor estático AC-DC.**

Para la operación de éste se requiere la generación de señales de control de compuerta de los tiristores del convertidor estático AC-DC. Para tal propósito se debe poseer una adecuada sincronización con la red, para el apropiado cálculo del ángulo de activado (α).

b) **Supervisión y monitoreo de fallas.**

El microcontrolador se encargará de supervisar y monitorear constantemente fallas tales como:

- Ausencia de fase de alimentación.
- Sobrevoltaje.

- Sobrecorriente a la salida del convertor.
- Frecuencia dentro de los límites establecidos.

Frente a cualquiera de estas fallas el microcontrolador sacará de operación al sistema y mostrará en leds el tipo de falla que se produjo.

c) Adquisición de datos analógicos.

Esta tarea la realiza el microcontrolador con la ayuda de un convertor A/D, el mismo que permite el manejo de señales analógicas externas. Los datos convertidos deberán ser procesados en el microcontrolador (señales como : corriente del convertor, corriente y voltaje del generador), teniendo la posibilidad de escoger la señal que se desea muestrear por medio de una multiplexación adecuada.

d) Acción de Control.

En esta tarea el microcontrolador debe realizar las operaciones necesarias para que el valor medido del voltaje del generador se iguale al valor de la referencia. Para el efecto un algoritmo digital obtendrá el valor del error y con las constantes respectivas ejecutará el cálculo de una acción proporcional-integral-derivativa, y la acción proporcional del lazo interno de realimentación de corriente.

2.1.3 Protecciones.

El equipo estará protegido contra fallas en potencia y control, para lo cual se tendrán los siguientes elementos y funciones:

- Fusibles en las líneas de alimentación.
- Detección electrónica de sobrecorrientes y sobrevoltajes en la salida del convertor.

- Limitación de picos de voltaje transitorio.
- Limitación de dv/dt .
- Detección de ausencia de fase en la alimentación.
- Protección de baja y sobre frecuencia.

La acción posterior a una falla será el cese de operaciones y regreso a un estado de Stand By. Para la parte referente a fallas de tipo aleatorio, transitorios y dv/dt en el convertidor AC-DC, se tendrán redes snubber (limitadoras) de forma individual en cada elemento del convertidor para atenuar estas perturbaciones, así como de redes equalizadoras para equilibrar el voltaje inverso en todos los elementos de potencia. La detección de ausencia de fase se realiza monitoreando con el microcontrolador alguna alteración en el normal ingreso de las señales de sincronización.

La detección de sobrevoltaje y sobrecorriente se lo realiza tomando muestras de corriente y voltaje; estas muestras son acondicionadas e ingresadas al microcontrolador donde se efectuará una comparación con sus valores máximos.

2.2 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA.

2.2.1 Diagrama de bloques del sistema.

El sistema construido está conformado por dos unidades : **Unidad de control** y **Unidad de potencia**. En la unidad de control se consideran todos los circuitos electrónicos, tales como: circuito de control maestro, circuito de sincronización, circuito de activado y filtrado, circuito de acondicionamiento de señales analógicas, circuitos auxiliares y protección. La unidad de potencia esta conformada por un convertidor estático AC-DC.

El sistema proporciona un método de ingreso de datos accesible y comprensible para un operador a través de un teclado independiente.

En la figura No.2.2, se muestra en diagrama de bloques el sistema de control en el cual se observan las diferentes etapas que lo constituyen.

El sistema básico de control está construido en el bloque denominado control maestro, constituido por el μC INTEL 8751H, el cual realiza las funciones:

- Generación de pulsos de activado.
- Manejo de teclado.
- Leds indicadores de estado.
- Acciones de control.
- Supervisión y monitoreo de fallas.

En el circuito de control maestro, se tiene la conversión análoga-digital multiplexada, lo que conforma un sistema de adquisición de datos externos al equipo. En resumen, este bloque comprende los siguientes componentes :

- μC 8751H
- Driver para el pòrtico P2 (dedicado al control de compuertas para el disparo de los tiristores del convertidor).
- Convertidor análogo-digital ADC0804
- Leds de señalización
- Resistencias de limitación de corriente

donde los elementos de circuito corresponden a:

L = Inductancia por fase de la red que alimenta al convertidor, la cual tiene un valor igual a 9.05 mH.

R = Resistencia de la red snubber.

C = Capacitor de la red snubber.

E = Fuente de alimentación que es igual a 311 V.

Mediante simulaciones se llegó a determinar que los valores más adecuados de la red son:

$$C = 0.68 \mu\text{F} / 400 \text{ V}$$

$$R = 20 \Omega / 5 \text{ W}$$

valores con los cuales la respuesta del circuito equivalente resulta como se aprecia en la figura No. 2.6.

También se utilizó una red RC a la salida del convertidor el cual tiene los siguientes valores que se determinaron en base a experimentación y simulación:

$$C = 2 \mu\text{F} / 400 \text{ V}$$

$$R = 34 \Omega / 25 \text{ W}$$

Para la atenuación de los transitorios provocados por la conmutación de los tiristores se ha colocado entre las líneas de entrada condensadores de $0.1 \mu\text{F} / 600 \text{ V}$. y varistores del tipo Z320LA15A cuyas especificaciones pueden verse en el Apéndice F.

Con respecto a la temperatura de operación de los semiconductores, ésta debe permanecer dentro de valores seguros para evitar que los esfuerzos térmicos en el cristal de silicio pueden dañar a los elementos. No se tienen fórmulas definidas para el diseño y selección de disipadores; en la mayoría de casos se ha recurrido a resultados experimentales de transferencia de calor para diferentes tipos y formas de materiales.

El circuito de sincronismo está conformado, entre otros elementos, por un arreglo de diodos que permiten obtener los pulsos de interrupción para el microcontrolador en cada cruce entre las fases de la red trifásica. Estos pulsos constituyen la interrupción de más alta prioridad en el microcontrolador.

En la parte de adquisición de datos, se tienen las etapas de acondicionamiento de las señales que van a ingresar a través de los canales de un multiplexer análogo, de los cuales tres son utilizados para medir la corriente y voltaje del generador, y la corriente de salida del convertidor, las mismas que tendrán un valor máximo de 5V., con la misma referencia del microcontrolador.

La unidad de control es alimentada de la red monofásica a través de un transformador, y luego hacia un circuito de rectificación y regulación para obtener el voltaje de polarización adecuado.

Como el sistema que se desea construir es un sistema de lazo cerrado, donde la fuente de alimentación trifásica es el voltaje generado por la máquina sincrónica, el circuito de control deberá estar energizado con anterioridad, de tal manera que el control maestro cuya parte central es el microcontrolador haya realizado todas las acciones de inicialización de los registros y/o localidades de memoria a ser utilizadas, asignación de prioridades a cada una de las interrupciones y habilitación de interrupciones tales como sincronismo, teclado, ángulo de activado.

Con alimentación trifásica, la interrupción de sincronismo es un tren de pulsos desfasados 120° entre sí, y que es detectada por flanco.

La interrupción del timer interno del microcontrolador que genera el retardo en el ángulo de activado y la de sincronismo son las de más alta prioridad, puesto que son las que determinan el instante en que deben activarse los tiristores.

La interrupción correspondiente al teclado es la de más baja prioridad, y permite ingresar los siguientes datos al operador:

- Set point de voltaje generado.

- Constante de la acción proporcional;
- Constante de la acción integral.

Durante los instantes en los cuales no existe interrupción, el programa entra en un lazo en el cual se realizan las siguientes tareas: lectura del voltaje generado para obtener un error con el cual se procede al cálculo del nuevo ángulo de activado por medio de una acción de control **proporcional-integral-derivativa** que va a permitir la reducción del error a cero, lectura del valor de la corriente de campo para la ejecución del lazo interno de realimentación; lectura de los valores de voltaje y corriente del convertor para ser comparados con los valores máximos permitidos que son ingresados como datos en el programa del microcontrolador, de tal forma que si se exceden estos valores se tomarán las acciones necesarias para la reducción de estos valores; monitoreo del valor de la frecuencia.

El circuito de control maestro al recibir una información de falla incrementará el ángulo de disparo a 180° , enviará la señal a los leds correspondientes y entrará en un lazo de Stand By, por medio de un reseteo por software.

2.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

2.3.1 Diseño del convertor estático AC-DC.

Las especificaciones dadas en el numeral anterior, entre las cuales se tienen, corriente media de 20 A. y una máxima de 25 A., con un voltaje de $220 V_{rms}$ entre líneas de alimentación, imponen los parámetros de diseño del convertor estático AC-DC.

Para el diseño, si la corriente que entrega el convertor en condiciones de régimen permanente en conducción continua tiene un valor igual a $I_{dmax} = 25 A.$, cada elemento del puente

conducirá esa corriente durante un tercio del período de línea y los dos tercios permanecerá bloqueado. Por consiguiente, la corriente media de cada elemento es:

$$I_{med} = I_d / 3$$

y la corriente RMS a través del elemento será:

$$I_{rms} = I_d / \sqrt{3}$$

si la corriente máxima del convertidor es de 25 A., entonces

$$I_{med} = 8.33 \text{ A.}$$

$$I_{rms} = 14.43 \text{ A.}$$

El máximo voltaje que deberá soportar cada elemento en estado de bloqueo es igual al valor pico del máximo voltaje entre líneas de alimentación, especificado para el equipo. Esto es:

$$V_{akmax} = 1.2 * 220 * \sqrt{2} = 373.35 \text{ V}$$

Puesto que la operación del convertidor debe ser confiable es necesario sobredimensionar la capacidad de los elementos que lo conforman ya que estos son susceptibles de daños. El grado de sobredimensionamiento debe ser el mayor posible dentro de los límites impuestos por el incremento en los costos de los elementos en el mercado a medida que las características mejoran. Tomando en cuenta los datos anteriores se escogen los tiristores **C38M** cuyas características de voltaje y corriente sobrepasan los requerimientos máximos calculados (para mayor detalle ver Apéndice F).

Así se tiene:

$$I_{frms} = 35 \text{ A.}$$

$$V_{drm} = 600 \text{ V.}$$

$$V_{rrm} = 600 \text{ V.}$$

los diodos que se eligen son los del tipo **ECG5994**, cuyas características principales son:

$$I_{frms} = 50 \text{ A.}$$

$$V_{drm} = 600 \text{ V.}$$

$$V_{rrm} = 600 \text{ V.}$$

En la figura No.2.3 se muestra el esquema del convertor trifásico semicontrolado AC-DC con conmutación natural.

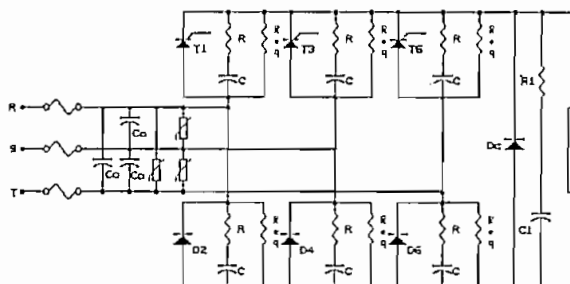


Figura No. 2.3

2.3.2 Diseño de los circuitos de protección y filtrado.

En paralelo a cada uno de los elementos del convertor (diodos y tiristores), se ha colocado una resistencia (red equalizadora) y una red conformada por una resistencia en serie con un condensador para limitar el dv/dt .

El dimensionamiento de la resistencia equalizadora se lo hace en base a la corriente inversa del elemento y el máximo voltaje aplicado en estado de bloqueo. Así, en paralelo a cada tiristor o diodo se ha puesto una resistencia de $33\text{ K}\Omega$ (2 W), considerando un voltaje inverso máximo de 311.13 V . y una corriente inversa de 1 mA .

El método más utilizado para limitar la velocidad de crecimiento del voltaje consiste en la colocación de una red R-C, tal como se muestra en la figura No.2.3. Una manera sencilla y muy usual para estimar los valores de R y C, en función de los valores de la corriente que circula por el tiristor (diodo) y el voltaje directo repetitivo (V_{dm}), se basa en las siguientes ecuaciones:¹⁰

$$C = 2.5 \text{ (nF/A) } I_t$$

$$R \gg 1.11 \text{ } V_{dm} / I_{tm}$$

¹⁰SIEMENS, " Power Semiconductors Thyristors, Triacs, Diacs ", SIEMENS, 1975.

donde:

I_t = corriente DC de trabajo contínuo = 8.33 A.

V_{drm} = Voltaje máximo repetitivo del tiristor = 600 V.

I_{Um} = corriente directa repetitiva máxima = 350 A.

En base a este método los valores calculados son:

$$C = 20.8 \text{ nF.}$$

$$R \gg 1.90 \Omega.$$

Así los elementos de la red snubber a utilizar en el circuito podrían tener los siguientes valores:

$$C = 22 \text{ nF} / 600\text{V.}$$

$$R = 20 \Omega / 5 \text{ W.}$$

Este método, sin embargo no siempre ha dado buenos resultados, verificándose activados indeseados de los tiristores provocados por un excesivo dv/dt .

En esta ocasión se prefirió realizar los cálculos de las redes R-C en base a simulaciones digitales en computador personal, tal como se explica a continuación: tomando en cuenta los valores calculados anteriormente, y simulando el circuito equivalente (figura No. 2.4) que se tiene cuando actúa la red snubber, se puede apreciar una respuesta muy oscilante.

(Figura No. 2.5)

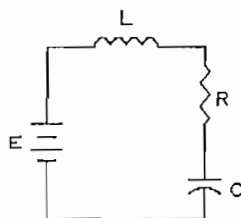


Figura No. 2.4
Circuito equivalente

SNUBB1 Temperature= 27

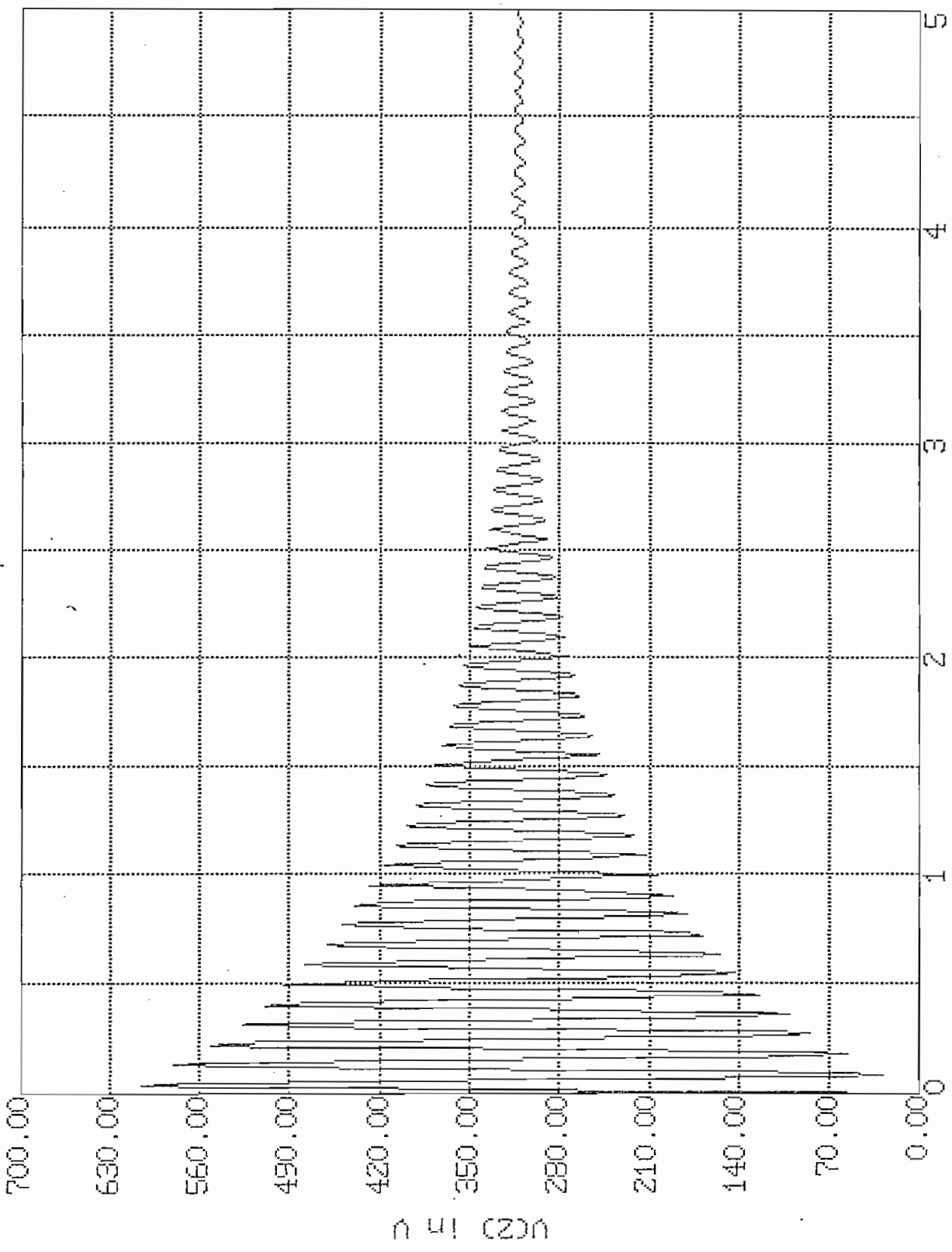


Figura No. 2.5

SNUBB1 Temperature= 27

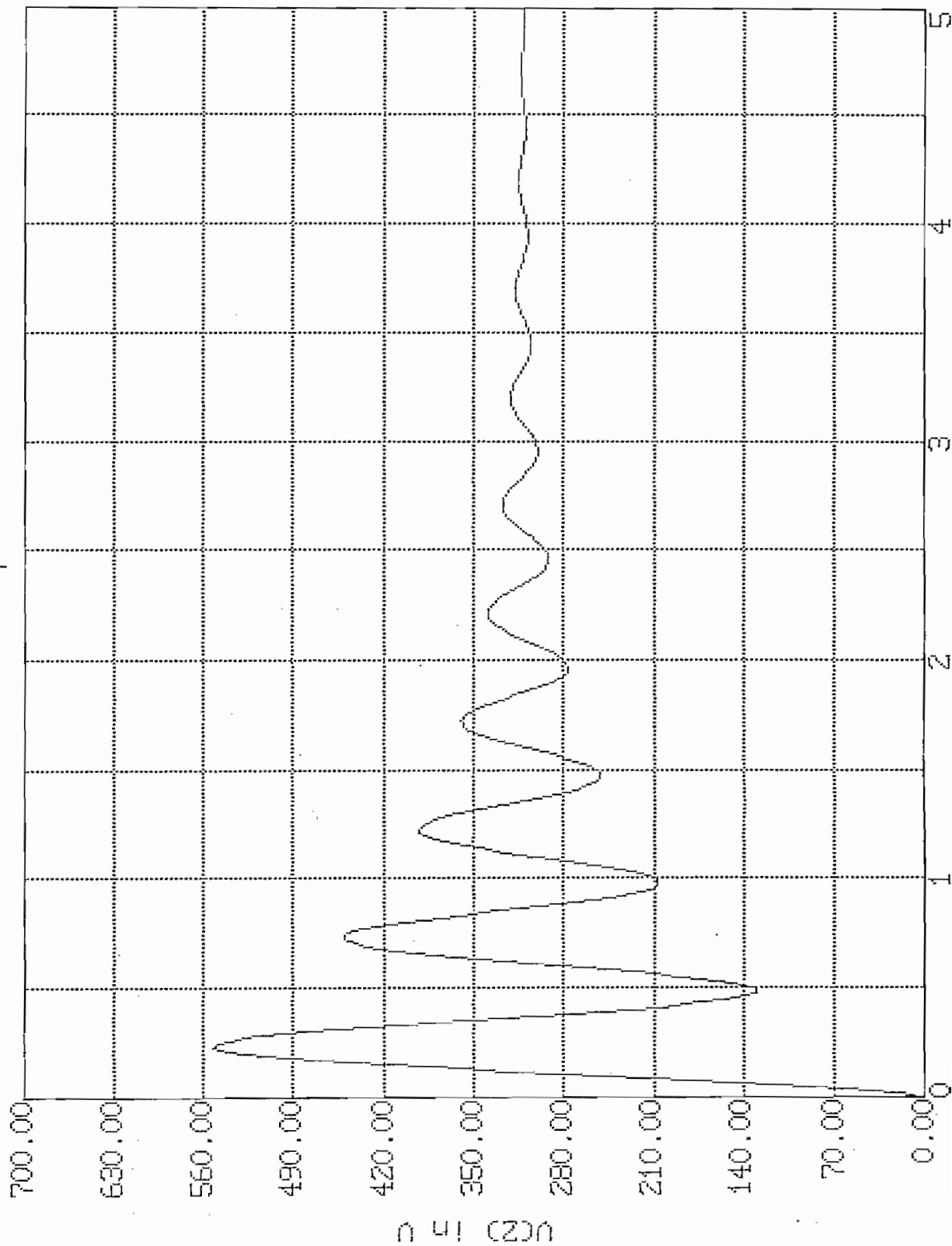


Figura No. 2.6

El disipador elegido es de aluminio extrusado de color negro mate, de aletas verticales planas a los dos lados. Sus dimensiones son: 10 x 4 x 3 cm, sobre el cual van montados un diodo y un tiristor del puente rectificador.

Los fusibles para la protección de los elementos semiconductores del conversor estático deberfan ser de acción rápida, y cumplir con una efectiva limitación de corriente y tener una alta capacidad de ruptura frente a un cortocircuito.

Lamentablemente en el mercado local no se encuentran fusibles de acción rápida para protección de semiconductores, y se ha optado por utilizar fusibles comunes de los cuales no se ha podido conseguir hojas de especificaciones o curvas de operación. En todo caso, la carencia de esta información puede ser superada si se considera el hecho de que los elementos semiconductores han sido ampliamente sobredimensionados en su capacidad de corriente. Los fusibles, se han seleccionado en base a la máxima corriente RMS (14.43 A) que circula por cada línea que alimenta al conversor. En el mercado se consiguieron fusibles de 20 A.

2.3.3 Diseño del circuito de sincronización.

El método empleado para la sincronización debe ser exacto y confiable, ya que en los sistemas microprocesados constituyen una de las interrupciones de más alta prioridad. Puesto que la sincronización es externa, ésta va a depender del tipo de fuente alterna (voltaje y frecuencia constante o variable); las variaciones de la frecuencia de la red influirán en el funcionamiento del circuito de sincronización y de todo el sistema.

El circuito de sincronización mostrado en la figura No.2.7, el cual es un arreglo de diodos que forman un puente no controlado incompleto, tiene la finalidad de obtener las señales que se muestran en la figura No.2.8. De esta forma se obtienen los puntos de referencia en los cuales empieza el retardo de tiempo en el activado de un tiristor dependiendo del estado de las fases.

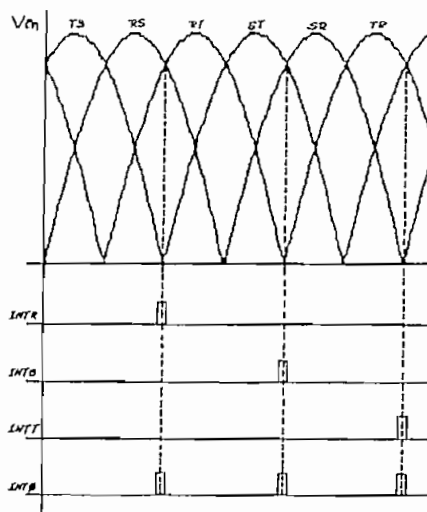


Figura No.2.8

Se desea obtener los pulsos de sincronización correspondientes a cada una de la fases y una que corresponda a la interrupción de más alta prioridad. Estos pulsos son cuadrados, aislados y enviados al circuito de control maestro, a través de optoacopladores led-transistor.

En cada una de las salidas de estos puentes incompletos, se tienen redes resistivas para tomar muestras de voltaje; estas muestras son limitadas a una amplitud máxima de 12 V por medio de los diodos D10, D11, D12 y un zener de 12 V, protegiendo de esta manera a la compuerta inversora "schmitt trigger" que es utilizada para cuadrar los pulsos.

Los pulsos de cada fase tienen un período de 360° y estarán desfasadas 120° el uno del otro. Se toman las tres señales y se forma una compuerta "OR" por medio de los diodos D13, D14, D15, logrando así tener un tren de pulsos de período 120° . Este tren a su vez es nuevamente cuadrado a través de inversores "schmitt trigger" y se lo envía al igual que los pulsos de cada fase a través de optoacopladores para aislar referencias entre este circuito y el de control maestro.

2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL MAESTRO.

La figura No. 2.9a, muestra un diagrama de bloques, con el microcontrolador y sus diferentes elementos con sus respectivas funciones. Este circuito, constituye la parte central, puesto que por él pasan todas las señales de monitoreo, control y protecciones de todo el sistema, y cuyo principal componente es el μC 8751H.

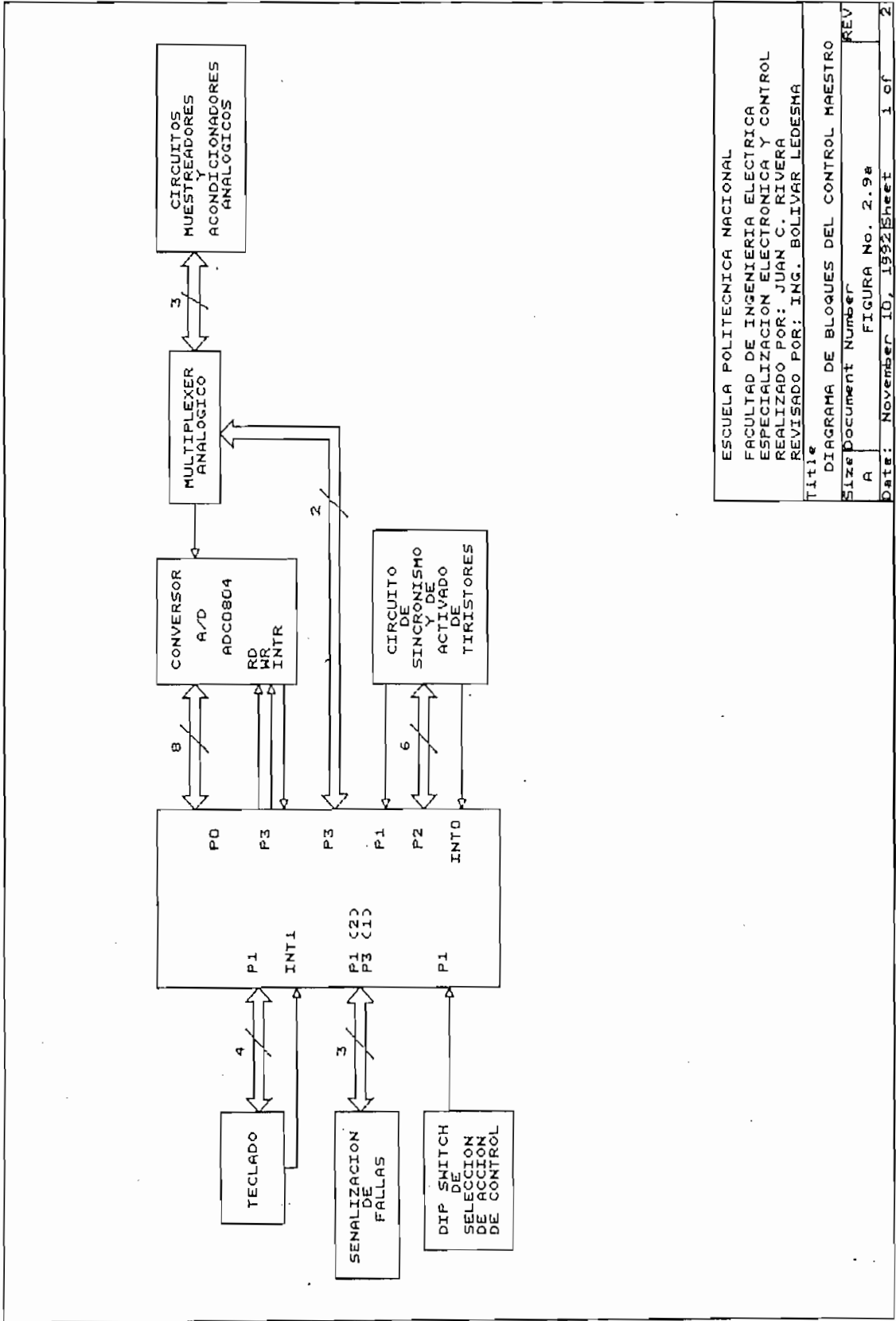
2.4.1 Circuito del Microcontrolador.

El microcontrolador se encuentra instalado con todos los elementos requeridos para su adecuado funcionamiento como son: cristal de 7.15909 MHz, fuente de polarización de 5 V. / 1 A., resistencias de pull-up. El pórtilo cero (P0, P0.0 - P0.7) así como ciertas líneas del pórtilo tres (P3, P3.5 - P3.7) y del pórtilo dos (P2, P2.6 - P2.7) son utilizados para la adquisición de datos análogos; por medio de P2.6 y P2.7 se selecciona que dato análogo se desea leer. El pórtilo uno (P1, P1.0 - P1.3) está destinado para las funciones de teclado y selección de la acción de control; el pórtilo dos (P2, P2.0 - P2.5) está destinado a sincronización y activado de los tiristores del convertidor estático AC-DC. (Ver figura No. 2.9b)

Puesto que la capacidad de corriente de salida del microcontrolador es muy pequeña, se emplearon circuitos integrados que abastecen de la corriente necesaria como para manejar leds, los transformadores de pulsos para el disparo de los tiristores o simplemente para acoplamiento de impedancias. Se ha utilizado el driver UDN2981A, que es no inversor, puede dar hasta 500 mA y es compatible con los niveles TTL.

Para señalización, el driver entrega corriente a los leds por medio de resistencias de limitación.

En la tabla No.2.1, se presenta un resumen del número de pin del microcontrolador, su descripción y función en el circuito realizado. (Ver figura No. 2.9b)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
ESPECIALIZACION ELECTRONICA Y CONTROL
REALIZADO POR: JUAN C. RIVERA
REVISADO POR: ING. BOLIVAR LEDESMA

Title	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL MAESTRO
Size	A
Document Number	FIGURA No. 2.9a
REV	REV
Date	November 10, 1992
Sheet	1 of 2

PIN #	DESCRIPCION	FUNCION
1	P1.0	LSB DE TECLADO (A)
2	P1.1	--- DE TECLADO (B)
3	P1.2	--- DE TECLADO (C)
4	P1.3	MSB DE TECLADO (D)
5	P1.4	AUSENCIA DE FASE
6	P1.5	BIT DE SELECCION DE ACCION PI O PID
7	P1.6	SEÑALIZACION DE AUSENCIA DE FASE
8	P1.7	SEÑALIZACION AUTOMATICO/MANUAL
9	RST	RESET
10	P3.0	CRUCE POR CERO DE VOLTAJE
11	P3.1	CRUCE POR CERO DE CORRIENTE
12	P3.2	INT0 INTERRUPCION DE SINCRONIZACION
13	P3.3	INT1 INTERRUPCION DE TECLADO
14	P3.4	SEÑALIZACION DE FRECUENCIA
15	P3.5	INTERRUPCION DEL CONVERSOR A/D
16	P3.6	SEÑAL WR DEL CONVERSOR A/D
17	P3.7	SEÑAL RD DEL CONVERSOR A/D
18-19	XTAL1-XTAL2	CRISTAL
20	GND	TIERRA
21	P2.0	COMPUERTA DEL TIRISTOR DE LA FASE R
22	P2.1	COMPUERTA DEL TIRISTOR DE LA FASE S
23	P2.2	COMPUERTA DEL TIRISTOR DE LA FASE T
24	P2.3	SEÑAL DE SINCRONIZACION DE LA FASE R
25	P2.4	SEÑAL DE SINCRONIZACION DE LA FASE S
26	P2.5	SEÑAL DE SINCRONIZACION DE LA FASE T
27	P2.6	LSB SELECCION CANAL/MULTIPLEXER
28	P2.7	MSB SELECCION CANAL/MULTIPLEXER
29	PSEN	LECTURA MEMORIA EXTERNA
30	ALE	FRECUENCIA PARA EL CONVERSOR A/D
31	EA/VPP	PIN DE PROGRAMACION
32-39	P0.0-P0.7	CONVERSOR A/D
40	VCC	POLARIZACION 5 V.

Tabla No.2.1

2.4.2 Teclado.

Para el teclado se dedican los pines **P1.0**, **P1.1**, **P1.2**, **P1.3** del microcontrolador. Estos reciben el dato del decodificador de teclado (ver figura No.2.10) en código **BCD**. El teclado está constituido por ocho pulsantes normalmente abiertos. El dato de teclado es codificado por medio de una configuración de diodos, los cuales a su vez permiten obtener la señal para la interrupción de teclado (**INT1**) produciéndose un flanco negativo en esta señal cuando una tecla ha sido presionada, independientemente de cual sea.

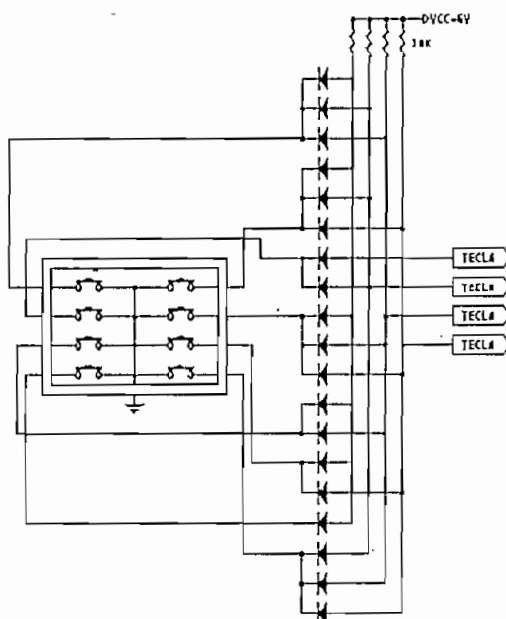


Figura No.2.10

2.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ADQUISICION DE DATOS.

El sistema para adquisición de datos analógicos está conformado por el conversor A/D "ADC0804" con un multiplexer analógico CD4052BC y todo el "hardware" relacionado para el acondicionamiento de señales a ser recibidas. (Ver figura No.2.11)

Para la selección del conversor se consideró: que el voltaje generado va a variar en el rango de $220\text{ V} \pm 20\%$, por lo que se tiene un rango de 80 V. entre el valor máximo y mínimo, y si se desea una precisión (sensibilidad) del 0.5% para las lecturas, se tienen 200 pasos de voltaje en todo el rango de variación, por lo que con un conversor A/D de 8 bits, con el cual se tienen 255 pasos de variación, entonces se consigue una precisión mayor a la deseada.

Asumiendo que se quieren realizar las lecturas del voltaje durante un cuarto del período de la red (si la frecuencia es 60Hz, entonces el tiempo para realizar la lectura del voltaje es de 4.166 ms); si se toman 48 muestras eso da un tiempo de muestreo de 86.80 μs . Como al conversor se lo va a hacer trabajar a una frecuencia de 1.19318 MHz que es la salida

ALE del microcontrolador ($f_{\text{ALE}} = f_{\text{crystal}} / 6$), entonces su tiempo de conversión es igual a 73 veces el período de oscilación que es 61.1809 μs . y, como la rutina de lectura en el microcontrolador tiene una duración de 16.76 μs . se tiene un tiempo total de 77.94 μs ., con lo que se establece que el tiempo de conversión es menor que el deseado. Además el conversor ofrece una precisión de $\pm 1\text{BIT}$ de error en el menos significativo.

El canal 0x del multiplexer está destinado para medir la corriente de salida del conversor estático AC-DC. La corriente se mide por medio de un transformador de corriente de relación 100:5 a través del cual se hace pasar 9 veces una de las líneas de alimentación al conversor. La señal así obtenida es rectificadora y amplificada 10 veces por medio de un amplificador diferencial. Luego se procede a obtener su valor medio con un filtro activo de segundo orden cuya constante de tiempo es igual 3.9 ms, valor que garantiza un factor de rizado en la señal suficientemente bajo y el mínimo retardo posible en este acondicionador. Esta etapa se la ha realizado con amplificadores operacionales (LM324).

Los canales 1x y 2x se utilizan para muestrear las señales de voltaje y corriente que el generador entrega a la carga. El voltaje es medido a través de un pequeño transformador de potencial de relación 1:1, conectado entre fase-neutro ($120\text{ V}_{\text{rms}}$). Esta señal es filtrada con un circuito RC (el cual provoca un retardo de 30°) de tal manera de tener una muestra libre de las

perturbaciones eléctricas propias de la operación del convertidor así como las que produce el generador. Luego, esta señal es rectificadora en onda completa y atenuada por medio de un divisor de tensión; a continuación, por medio de dos filtros de primer orden cuya constante de tiempo total es 22.15 ms, se obtiene el valor medio de esta señal, la cual luego es amplificada para obtener un valor máximo de 5V cuando el voltaje generado es igual a $220 + 20\% V_{rms}$. Esta señal es enviada a un canal del multiplexor analógico para posteriormente ser introducida al convertidor A/D. De manera similar la corriente se muestrea por medio de un transformador de corriente de relación 100/5 A a través del cual se hace pasar 9 veces una de las líneas de alimentación, y su señal es enviada para ser rectificadora con un puente de onda completa y atenuada en su valor a través de un divisor de tensión para posteriormente ingresar a un canal del multiplexor analógico para ser medida.

También es necesario determinar los cruces por cero de voltaje y corriente de carga (del generador) para poder determinar el valor de frecuencia y/o del factor de potencia. Esto se lo realiza en base al circuito integrado LM339 el cual posee cuatro comparadores, los cuales son combinados con arreglos de resistencias y capacitores para obtener los pulsos correspondientes a los cruces por cero de la corriente de carga. Para la detección de cruces por cero del voltaje generado se utiliza un divisor de tensión que reduce el voltaje a 5V y que se mantiene en este valor con la ayuda de un zener; la señal así obtenida es enviada a un inversor de tal manera de que las señales sean adecuadamente cuadradas.

Una vez obtenidas las señales con sus niveles de voltaje apropiados, ingresan al convertidor A/D el mismo que estará en conversión continua. Dentro del programa principal del microcontrolador constantemente se estarán tomando datos de voltaje y corriente para ser comparadas con los valores nominales de trabajo. En caso de existir sobrecorriente y/o sobrevoltaje se tomarán las acciones de protección frente al tipo de falla producido. (Ver figura No.2.11.)

2.6 DISEÑO DE CIRCUITOS AUXILIARES.

Los circuitos auxiliares que ayudan al correcto funcionamiento del equipo son: el circuito de alimentación y el circuito de activado de los SCR's y filtrado.

2.6.1 Circuito de alimentación de control.

La alimentación requerida para fines de control es el de voltaje DC regulado de + 5 V, para el microcontrolador y sus diferentes circuitos asociados que también funcionan con niveles TTL.

El esquema de la fuente realizada se muestra en la figura No.2.12.

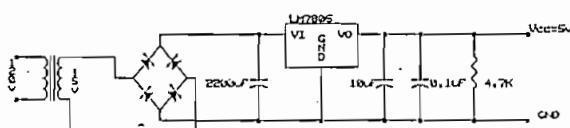


Figura No.2.12

2.6.2 Circuito de filtrado y activado.

Debido a que cualquier perturbación existente en la red trifásica afectará a la sincronización, pudiéndose incurrir en errores del sistema de control, se hace necesario realizar un circuito de filtrado de las señales de sincronización (RST y neutro) intercalando entre fase y neutro condensadores de $0.1 \mu\text{F} / 600 \text{ V}$., al igual que redes RC en las líneas, además de varistores (Z320LA15A) entre líneas como se indicó anteriormente (ver figura No.2.13a).

El circuito de activado (disparo) se ha diseñado de tal manera que provea un aislamiento entre el circuito de control y de potencia por medio de transformadores de pulsos (relación 1:1). (Ver figura No.2.13b)

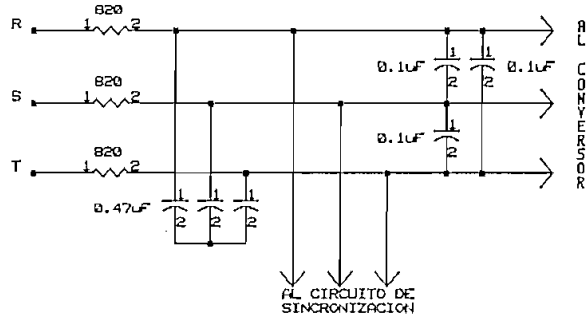


Figura No.2.13a Filtros

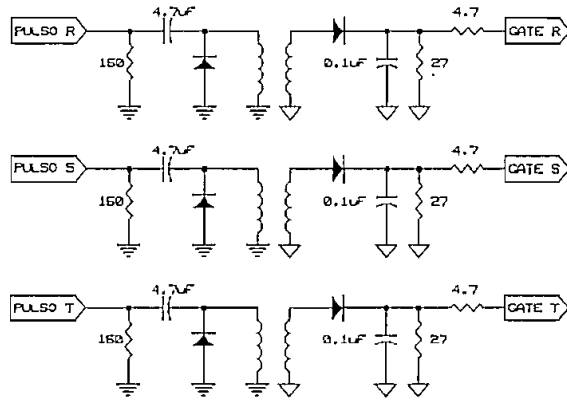


Figura No. 2.13b
Circuito de activado

CAPITULO III

DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.1 REQUISITOS DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR.

El microcontrolador a utilizarse debe realizar las tareas descritas en el capítulo anterior. Estas tareas son rutinas específicas, las mismas que se ejecutan de acuerdo a prioridades predeterminadas y en intervalos de tiempo fijos que el microcontrolador dispone para su ejecución.

Rutina de inicialización. Mediante esta rutina, el microcontrolador determinará el tipo de red de alimentación del convertidor, la secuencia de fases, los valores máximos seteados para las magnitudes máximas de corriente y voltaje de salida del convertidor estático de potencia, set point de voltaje generado, constantes (KP, KI, KD) de las acciones de control los cuales se encuentran almacenados en localidades de memoria RAM. De igual manera se determinará el tipo de acción de control que se desea realizar.

Rutina de Activado. Esta rutina tiene la más alta prioridad, se encarga de leer los pulsos enviados por el circuito de sincronización. Establecerá que los pulsos lleguen de acuerdo con la fuente trifásica de alimentación alterna que se utilizará, determinada anteriormente en la rutina de

inicialización. En caso de ser correcta, se procederá a cargar los retardos de tiempo adecuados en el "timer" de acuerdo con el ángulo de activado que se desee. Si la secuencia es diferente a la esperada, se seteará la bandera de falla, y además se encenderá el led de señalización correspondiente a este tipo de falla (ausencia de fase), y además se incrementará el ángulo ($\alpha = 180^\circ$) de tal manera que el voltaje de salida del conversor sea de cero voltios.

Rutina de Disparo. Esta comparte la máxima prioridad conjuntamente con la rutina de activado, pero en el caso de que las dos se presenten al mismo tiempo, ésta debe tener la más alta prioridad. Esta rutina enviará los datos a los pines del pórtilco correspondientes para el manejo de las compuertas de los tiristores, de acuerdo a la secuencia de fases predeterminada.

Rutina de Teclado. Mediante ésta se detecta que tecla fue presionada. Se eliminará el rebote existente al presionar una tecla por medio de un número suficiente de lecturas del pórtilco que contiene el dato, es decir por medio de un retardo de tiempo. Una vez leído el dato correcto, éste es almacenado en una localidad de memoria **RAM**. Posteriormente se generará un retardo para asegurar que la tecla se haya dejado de presionar. Si por alguna razón una tecla no se deja de presionar, se entrará en un lazo de retardo; luego de cumplido éste se saldrá de la rutina regresando al programa principal, sin considerar si la tecla sigue presionada. Los datos ingresados por teclado corresponden exclusivamente a valores de constantes y magnitudes de referencia (set point), razón por la cual esta rutina es atendida ante una llamada de interrupción, la cual posee la más baja prioridad.

Rutina de Adquisición de Datos. Mediante ésta rutina se procederá a la selección y lectura de uno de los tres canales habilitados en el multiplexer analógico, en los cuales se pueden leer las magnitudes de voltaje y corriente de alimentación al conversor, y luego ser almacenadas en localidades de memoria **RAM** predefinidas al inicio del programa. Dentro de estas rutinas también

se incluyen las correspondientes a la obtención del valor de frecuencia con el cual está operando la máquina.

Rutina de la Acción de Control. Con ésta rutina se quiere realizar la acción de control deseada la cual principalmente va a ser **proporcional-integral-derivativa**, quedando como alternativa el uso de la acción **proporcional-integral**, para lo cual se plantea el siguiente algoritmo de la acción de control en forma discretizada:

$$M(K) = M(K-1) + KP * [E(K) - E(K-1)] + \frac{KP * KI * T}{2} * [E(K) + E(K-1)] + \frac{KP * KD}{T} * [E(K) - 2 * E(K-1) + E(K-2)]$$

- KP** = Constante proporcional.
- KI** = Constante de integración.
- KD** = Constante derivativa.
- E(K)** = Error al período K.
- E(K-1)** = Error al período (K-1).
- E(K-2)** = Error al período (K-2).
- T** = Período de muestreo.
- M(K)** = Salida muestreada al período (K).
- M(K-1)** = Salida muestreada al período (K-1).

La integración discretizada se realiza mediante el método del trapecio, mientras que para la derivada se utilizará el método de la tangente considerando dos puntos sucesivos, además se asume que la derivada es continua en todos los puntos.

Considerando los resultados de la compensación realizada en el Apéndice B, en el cual se determinó que las constantes toman valores mayores y menores a la unidad, es necesario multiplicar a todos los valores de la acción de control por 10000 (diez mil) de tal forma de trabajar únicamente con valores enteros, por lo que se asume una extensión máxima de **DOS y TRES BYTES** para las

constantes pudiéndose de esta manera tener valores inferiores o superiores a la unidad en el microcontrolador.

Para este trabajo se ha seleccionado el μ C **INTEL 8751** el cual posee características que lo hacen adecuado para aplicaciones de control electrónico, y porque satisface una gran cantidad de requerimientos como son:

- Posibilidad de realizar transmisión serial a un alta velocidad, hasta 9600 baudios.
- Disponibilidad de dos **TIMERS**, uno de uso específico (generar el BAUD RATE) y otro de propósito general.
- Registros (32) de uso general para el usuario.
- Registros auxiliares para propósito específico.
- Banderas (128) de uso general disponibles.
- Operaciones de tipo Booleanas (por bits).
- Cuatro pórtricos de entrada/salida de datos.
- Operaciones aritméticas.
- Cinco fuentes de interrupcion con dos niveles de prioridad,
- Alta velocidad de operación hasta 12 MHz.
- Set de instrucciones versátil.¹¹

3.2 **DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR.**

El software desarrollado se lo explicará detallando cada una de las subrutinas en cuanto a su función y aplicación en el esquema del programa general.

En primer lugar se procederá a indicar la designación y función de cada uno de los

¹¹INTEL, Embbeded Microcontroller Handbook, Intel Corp., New York, 1988.

registros, así como de las localidades de memoria RAM y banderas utilizadas en el programa. Es necesario definir adecuadamente el banco de registros con el cual se está trabajando para realizar una correcta transferencia de datos. En las tablas 3.1, 3.2, 3.3 se indican las funciones de registros, localidades de memoria y banderas.

BANCO		REGISTROS UTILIZADOS EN LAS RUTINAS DEL PROGRAMA	
RS1	RS0		
0	0	R0	RUTINA TIRISTOR
		R1	RUTINA TECLADO
		R2	RUTINA TECLADO
		R3	RUTINA TECLADO
		R4	RUTINA TIRISTOR
		R5	RUTINA ACTIVAR
		R6	NO UTILIZADO
		R7	NO UTILIZADO
0	1	R0	RUTINA ALFA / SUMA
		R1	RUTINA ALFA / SUMA / LEER
		R2	RUTINA ALFA / SUMA / LEER
		R3	CORRIENTE DEL CONVERTOR
		R4	RUTINA SECUENCIA / FRECUENCIA
		R5	RUTINA SECUENCIA / FRECUENCIA
		R6	NO UTILIZADO
		R7	NO UTILIZADO

Tabla 3.1 Distribución de registros

RS1, RS0 Selectores de los bancos de registros.

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
KP	4B-4DH	CONSTANTE DE LA ACCION PROPORCIONAL
KI	4E-4FH	CONSTANTE DE LA ACCION INTEGRAL
KD	50-51H	CONSTANTE DE LA ACCION DERIVATIVA
KRI	52-53H	CTE. DE REALIMENTACION DE CORRIENTE
VREF	54H	VOLTAJE DE REFERENCIA
VMED	55H	VOLTAJE GENERADO (VALOR MEDIDO)
SYK	56-57H	LOCALIDAD AUXILIAR DE LECTURA
EK	58H	ERROR AL PERIODO (K)
EKM1	59H	ERROR AL PERIODO (K-1)
EKM2	5AH	ERROR AL PERIODO (K-2)
CTE1	5B-5FH	CONSTANTE DE LA ACCION DE CONTROL
RA1	60-64H	RESULTADO DE LA ACCION1
RA2	65-69H	RESULTADO DE LA ACCION2
RPIDK	6A-6EH	RESULTADO DE LA ACCION PID EN (K)
RPIKM1	6F-73H	RESULTADO DE LA ACCION PID EN (K-1)
ANGULO	74H	ANGULO DE ACTIVADO DEL CONVERTOR
LTEC	75H	LOCALIDAD DE LA TECLA PRESIONADA
SEC	76H	LOCALIDAD DE CODIGO DE CADA FASE
ICONV	77H	REFER. DE CORRIENTE DEL CONVERTOR
ALFAMAX	78H	ANGULO MAXIMO DE ACTIVADO
ALFAMAN	79H	ANGULO PARA ACTIVADO MANUAL
AUX	7A-7FH	LOCALIDADES AUXILIARES

Tabla 3.2 Localidades de memoria RAM.

BANDERA	FUNCION
00H	SECUENCIA POSITIVA
01H	FALLA AUSENCIA DE FASE
02H	RUTINA ACTIVAR
03H	RUTINA ACTIVAR
04H	RUTINA TIRISTOR
05H	INDICACION DE QUE EL ERROR (K-1) ES NEGATIVO
06H	INDICACION DE QUE EL ERROR (K) ES NEGATIVO
07H	BANDERA AUXILIAR
08H	RUTINA SUMA / ALFA
09H	BANDERA AUXILIAR
0AH	INDICACION DE AUTOMATICO
0BH	BANDERA PARA LECTURA DE FRECUENCIA
0CH	INDICACION DE EJECUCION DE ACCION DERIVATIVA
0DH	INDICACION DE QUE EL ERROR (K-2) ES NEGATIVO
0EH	AUXILIAR DE LA ACCION DERIVATIVA
0FH	AUXILIAR DE LA ACCION DERIVATIVA
10H	BANDERA PARA LECTURA DE FRECUENCIA

Tabla 3.3 Asignación de Banderas.

A continuación se indicará el funcionamiento de cada una de las rutinas tanto de atención a interrupción como las que son utilizadas en el programa principal.

3.2.1 Programa Principal.

El programa se inicia con un proceso de borrado de las localidades de memoria RAM que son utilizadas, a continuación se realiza la detección de la secuencia de fases del voltaje generado; si en esta rutina no se detecta falla (ausencia de una fase), se procede a la inicialización de todos los registros destinados a especificar ciertas funciones de los elementos del microcontrolador, tales como los que definen la forma de operación de los timer/counter, habilitación de interrupciones,

prioridad de interrupciones. Además se setean los valores de las constantes de las acciones de control (**KP**, **KI**, **KD**) así como la constante proporcional de realimentación de corriente (**KRI**), así como los valores máximos de voltaje y corriente de entrada y salida del convertor. (Ver tabla 3.4).

CODIGO EN ASSEMBLER	DESCRIPCION
MOV SP,#30H	INICIALIZACION DEL STACK POINTER
MOV IE,#07H	HABILITACION DE INTERRUPTOS
MOV TMOD,#11H	ELECCION DE TIMERS EN MODO 1
MOV TCON,#05H	DETECCION POR FLANCO DE INT. EXTERNA
MOV IP,#0BH	DEFINE PRIORIDAD DE INTERRUPTOS
MOV KP,#10D4A3H	INICIALIZA CTE. ACCION PROPORCIONAL
MOV KI,#005BH	INICIALIZA CTE. ACCION INTEGRAL
MOV KD,#0005H	INICIALIZA CTE. ACCION DERIVATIVA
MOV KRI,#907EH	INICIALIZA CTE. DE REALIMENTACION
MOV VREF,#67H	SET POINT DE VOLTAJE GENERADO
MOV ICONV,#0A0H	Im _{ax} . DE CORRIENTE DEL CONVERTOR
MOV ALFAMAN,#31H	ANGULO INICIAL DE ACTIVADO MANUAL
MOV ALFAMAX,#0C0H	ANGULO DE ACTIVADO MAXIMO
MOV EK,#0FFH	INICIALIZACION ERROR (K)
MOV EKM1,#0FFH	INICIALIZACION ERROR (K-1)
SETB 05H	ERROR (K-1) NEGATIVO
SETB 06H	ERROR (K) NEGATIVO
CLR AUTOMATICO	BORRA INDICACION OPERA. AUTOMATICA
CLR FOURTR	BORRA INDICACION FRECUENCIA OUTRANGE
SETB RS0	SELECCION BANCO DE REGISTROS 1
CLR RS1	SELECCION BANCO DE REGISTROS 1
SETB EA	HABILITA TODAS LAS INTERRUPTOS

Tabla 3.4 Inicialización de Registros y variables.

En el programa principal se establece primeramente el tipo de acción de control que se desea ejecutar (que puede ser proporcional-integral o proporcional-integral-derivativa), se procede a continuación a ejecutar las rutinas de la acción de control proporcional-integral; si la bandera **OCH** se encuentra seteada se procederá a la ejecución de la acción derivativa, caso contrario únicamente se realizará la rutina anterior. Posteriormente se procede a la lectura de los valores de corriente de salida del convertor estático de potencia AC-DC, y de frecuencia.

Es necesario indicar que todas las rutinas del programa principal se las ejecuta en forma asincrónica, respecto a los cruces por cero de voltaje.

(Ver diagrama de flujo en la Figura No.3.1)

3.2.2 Rutina de determinación de secuencia de fases.

Es necesario indicar la forma de recepción de señales del circuito de sincronización, así como de envío de las señales de activado a las compuertas de los tiristores.

(Ver tabla 3.5).

Los tres bits menos significativos del pórtrico corresponden a las señales (pulsos) de activado que van a las compuertas de cada uno de los tiristores. Los tres siguientes reciben las señales de sincronización, mientras que los dos últimos corresponden a los bits de selección de los canales del multiplexer analógico para realizar las lecturas de los valores del convertor A/D.

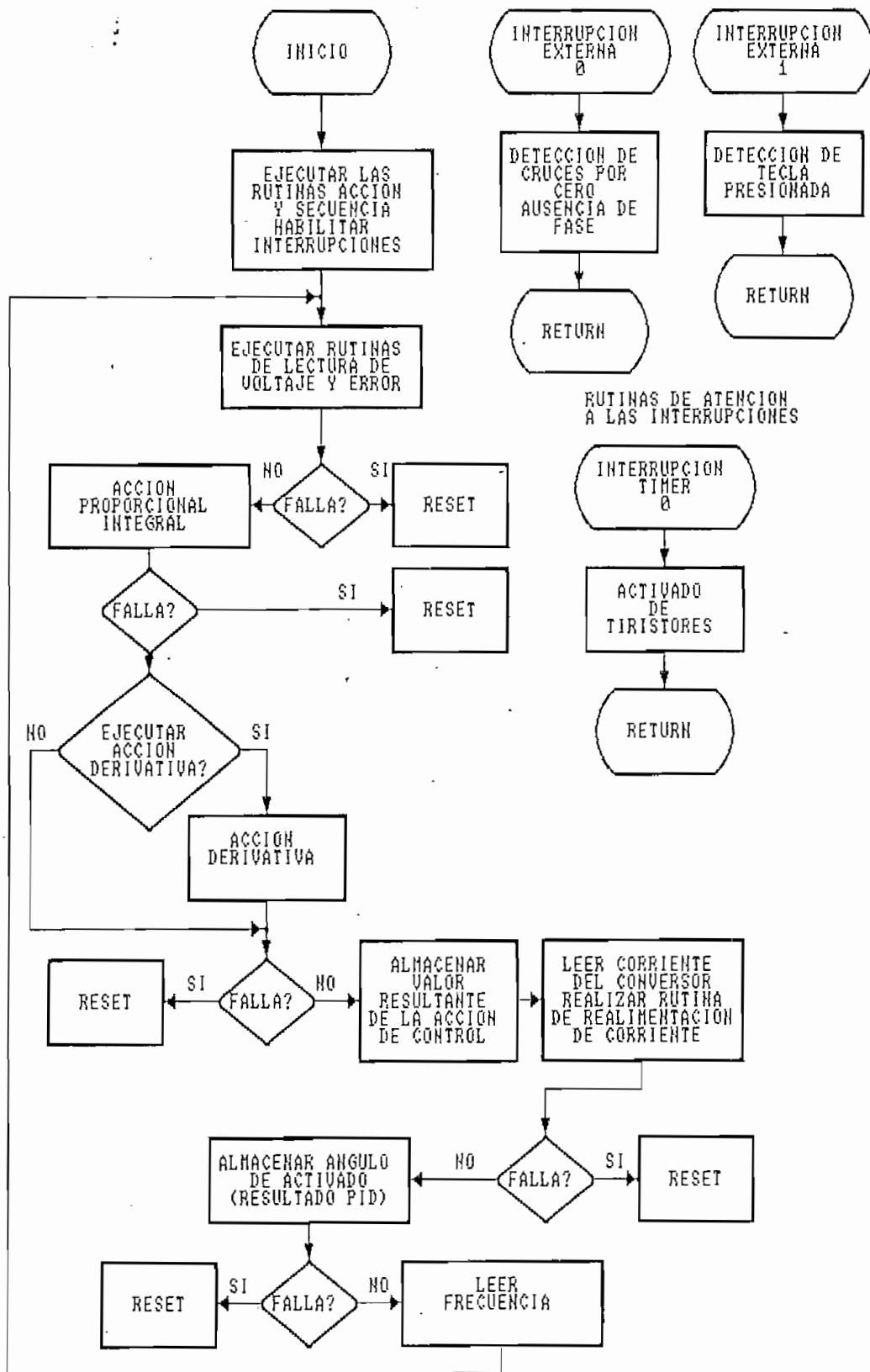


FIGURA No. 3.1
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

PIN PORTICO 2	FUNCION
P2.0	COMPUERTA TIRISTOR FASE R
P2.1	COMPUERTA TIRISTOR FASE S
P2.2	COMPUERTA TIRISTOR FASE T
P2.3	SINCRONIZACION FASE R
P2.4	SINCRONIZACION FASE S
P2.5	SINCRONIZACION FASE T
P2.6	BIT DE SELECCION MULTIPLEXER
P2.7	BIT DE SELECCION MULTIPLEXER

Tabla 3.5

El diagrama de flujo de la rutina se indica en la figura No.3.2, a continuación se detallan los pasos que se siguen para detectar la secuencia de fases sea esta positiva o negativa:

1. Espera el código de la fase **R** (001) para lo cual realiza un AND lógico con el dato leído en el pórtilco dos, determinando el dato (código de la fase = 08H) para ser comparado con el dato esperado, y si estos son iguales se incrementa el contenido de los registros **R4** y **R5** indicandose de esta manera que la fase recibida es correcta.

2. Espera el código de la fase **S** (010) o de la fase **T** (100). Si el código recibido corresponde al de la fase **S** se incrementa el contenido del registro **R4** y se procede con el paso 3., pero si el código recibido corresponde al de la fase **T** se incrementa el contenido del registro **R5** y se sigue con el paso 4.

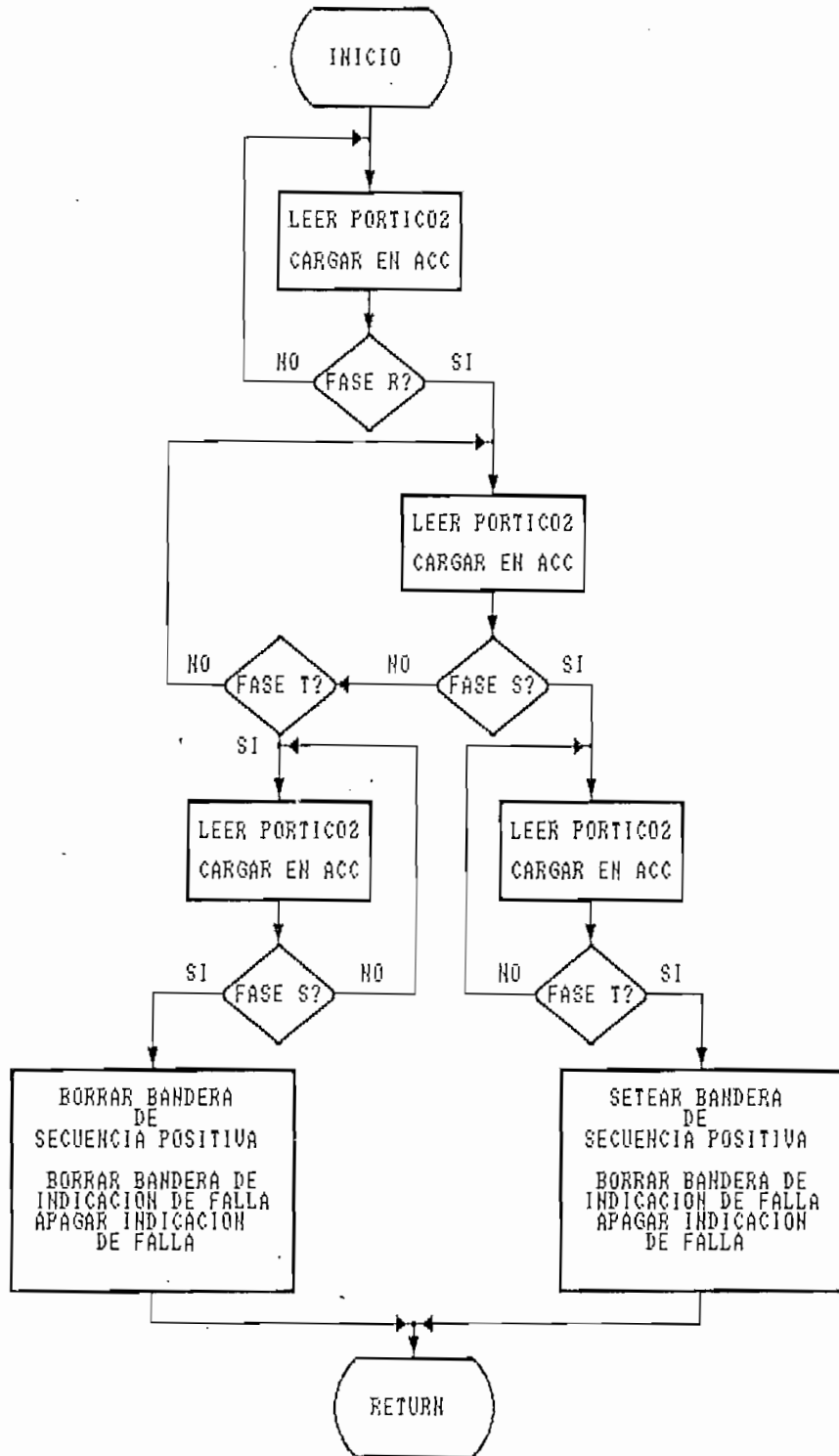


FIGURA No. 3.2
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA SECUENCIA

3. Espera el código de la fase **T**, si este es correcto se incrementa **R4**, y luego se verifica si el contenido de este registro corresponde al valor de **03H** de ser así se llega a determinar que la secuencia es positiva y se setea la bandera **00H**, borrando la bandera **01H** que es la indicación de ausencia de fase, al igual que se apaga el led indicador de la falla indicada.

4. Espera el código de la fase **S**, al ser este correcto se incrementa **R5**. Posteriormente se verifica si el contenido de este registro es igual a **03H**, si se cumple esto la secuencia determinada es negativa, entonces se borra la bandera **00H**, se apaga señalización y se borra bandera de ausencia de fase.

Los registros **R4** y **R5** son utilizados para almacenar datos en forma temporal.

3.2.3 Rutina de la acción proporcional-integral.

Esta rutina se halla conformada a la vez por varias subrutinas, las cuales van siendo ejecutadas en un cierto orden como se indica en la figura No.3.3.

3.2.3.1 Rutina de lectura del voltaje de alimentación al convertidor (voltaje generado).

Mediante esta rutina se procede a leer el voltaje de alimentación al convertidor, seleccionando uno de los canales del multiplexer analógico, para que esta señal sea procesada en el convertidor A/D. El acceso al convertidor se lo hace tratándolo como una localidad de memoria externa. El valor obtenido es almacenado en la dirección **SYK**, además en esta rutina se obtiene el promedio de la suma almacenada en la localidad **SYK**; de esta manera el valor resultante tiene una extensión de un byte.

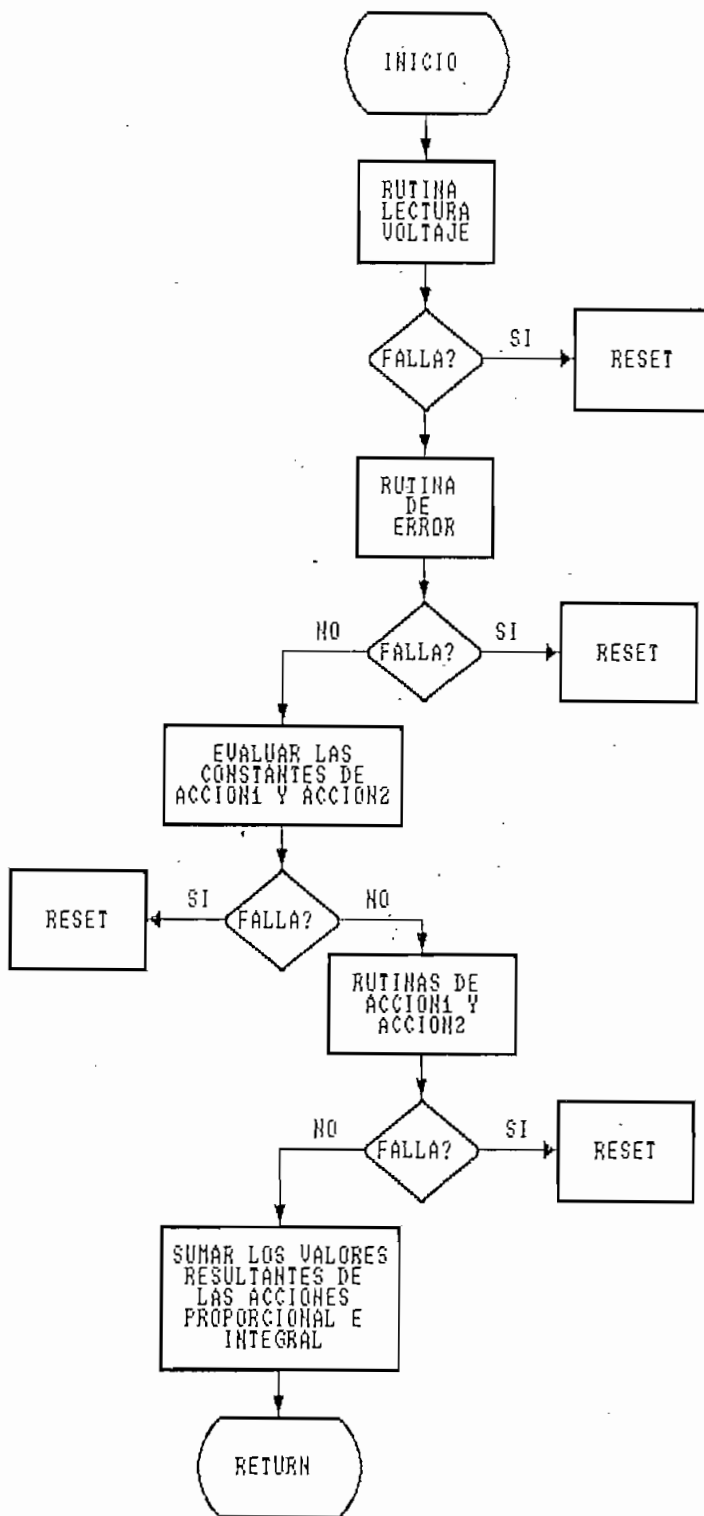


FIGURA No. 3.3
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ACCION PROPORCIONAL-INTEGRAL

Dentro de la rutina de lectura se verifica para el arranque si el voltaje generado esta dentro de cierto margen de tolerancia con respecto al de referencia para permitir la lectura o no de la frecuencia.

(Ver figura No.3.4)

3.2.3.2 Rutina para la obtención del error de voltaje.

En primer lugar se procede al almacenamiento de los errores anteriormente encontrados, los cuales corresponden a los períodos (K-1) y (K-2), por lo que se realiza la transferencia valores de E(K-1) a E(K-2) y E(K) a E(K-1). Por medio de ésta rutina se restan los valores de voltaje de referencia (VREF) y leído (SYK), posteriormente se lo almacena en la localidad de memoria respectiva (EK = 58H), estableciéndose el signo del error y si es negativo se deberá setear la bandera 05H.

3.2.3.3 Rutina de la Acción Proporcional - Integral.

Mediante esta rutina se obtiene el valor de la operación del error con los parámetros de la acción de control indicada es decir:

$$M(K) = M(K-1) + E(K) * \frac{KP * (2 + KI * T)}{2} + E(K-1) * \frac{KP * (KI * T - 2)}{2}$$

En la figura No.3.3 se puede observar el diagrama de flujo correspondiente a esta acción de control. En primer lugar se procede a calcular el valor de las constantes las cuales son almacenadas en las localidades CTE1 y CTE2. Posteriormente estas constantes son multiplicadas por los respectivos valores de los errores E(K) y E(K-1). El resultado de estas operaciones son guardadas en las localidades RA1 y RA2, que luego son sumadas con los signos correspondientes y almacenadas en las localidades correspondientes al resultado de la acción de control RPDK.

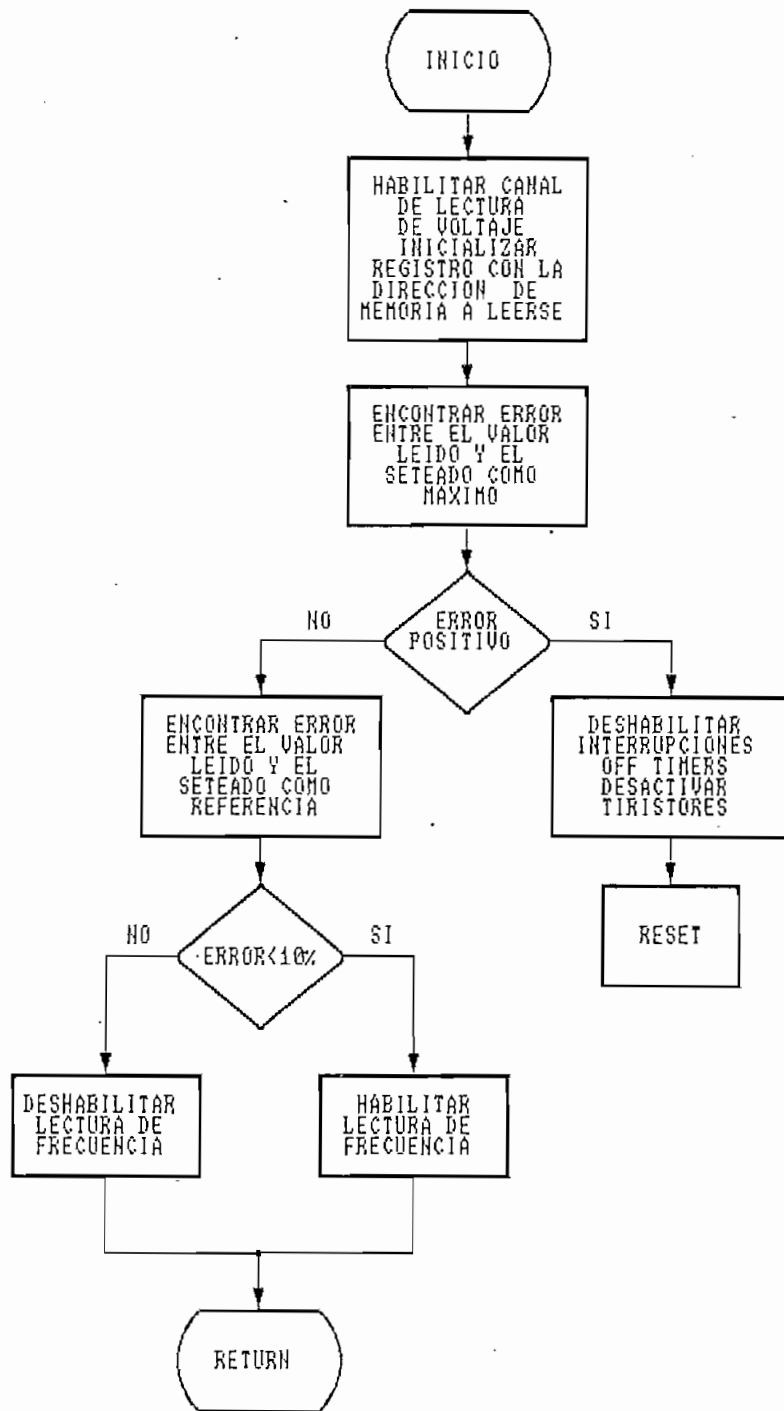


FIGURA No. 3.4
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA DE LECTURA DE VOLTAJE GENERADO

La constante proporcional tiene una extensión de tres bytes, mientras que la constante integral una extensión de dos bytes. Además es necesario realizar una ponderación de las constantes que pueden tomar valores inferiores a la unidad, para lo cual a la ecuación total se la multiplica por 10000, pero considerandose como limitación para las operaciones una extensión máxima de cinco bytes para los resultados, por lo que el valor máximo será igual a $1.099511627 E + 8$.

3.2.3.4 Rutina de la Acción Derivativa.

En la figura No.3.5, se tiene el diagrama de flujo de la acción derivativa, por medio de la cual se llega a obtener el valor correspondiente a:

$$\frac{KP * KD * [E(K) - 2 * E(K-1) + E(K-2)]}{T}$$

Primeramente se obtiene el valor de la operación de la suma y resta de los errores $E(K)$, $E(K-1)$ y $E(K-2)$, cuya respuesta es almacenada en las localidades de memoria **AUX**. A continuación estos valores serán multiplicados por las constantes **KP**, cuyo resultado se almacena en la localidad **CTE1**, **KD** (que tiene una extensión de dos bytes) y la constante de muestreo **T**; este valor es guardado en las localidades de memoria correspondientes a **RA1** y **RA2**.

Esta rutina únicamente se realizará si la bandera **0CH** está seteada, caso contrario únicamente se ejecutará la rutina de la acción proporcional-integral.

Es necesario indicar que la constante de muestreo **T** debido a la ponderación que se realiza tiene un valor igual a la unidad, por lo que esta no interviene en las operaciones.

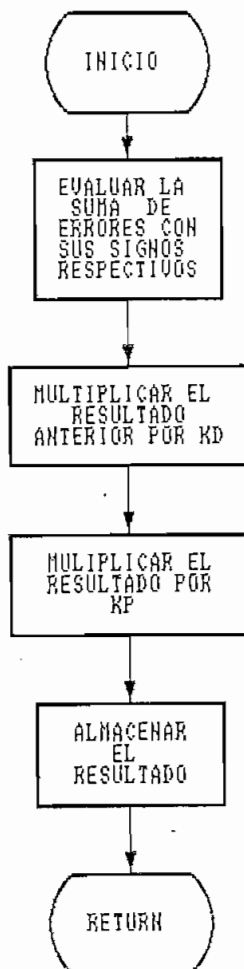


FIGURA No. 3.5
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ACCION DERIVATIVA

3.2.3.5 Rutinas Auxiliares de Operaciones Aritméticas.

Estas operaciones corresponden a Suma, Resta, las cuales se las ha realizado de tal manera que se puedan operar números de uno o mas bytes. **R0** y **R1** son los punteros de dirección de memoria RAM donde se tienen los datos con los cuales se van a realizar las operaciones, y **R2** tiene el dato correspondiente a la longitud de los operandos (número de bytes) y la localidad **AUX** posee la dirección donde se va a guardar el resultado.

3.2.3.6 Rutina ALFA

Una vez realizadas las rutinas descritas se procede a realizar la suma de todos los valores obtenidos anteriormente. Se suman en primer lugar los valores de las acciones proporcional e integral y de haber sido ejecutada la acción derivativa se añadirfa al valor anterior y se guardará en la dirección **RPIDK**. Este resultado se sumará con el valor de las localidades de memoria **RPIKMI** para obtener el valor total de la acción de control.

3.2.4 Rutinas de lectura de la corriente de salida del Conversor.

Por medio de esta rutina, se procede a obtener el valor de la corriente del conversor, para lo cual en primer lugar se selecciona el canal del multiplexer a ser leído por medio de los pines **P2.6** y **P2.7**. Para leer la corriente de salida del conversor estos dos bits deben estar en cero lógico (**0L**). Para cumplir con este objetivo se utiliza la rutina de lectura general que se indica a continuación. (Ver figura No.3.6)

El valor, una vez leído, es comparado con el valor máximo de corriente del conversor (**ICONV**). Si el valor leído sobrepasa al valor límite se procede a la deshabilitación de todas las interrupciones, deshabilitación de timers, cancelación de pulsos de activado de los tiristores y reseteo por medio de software.

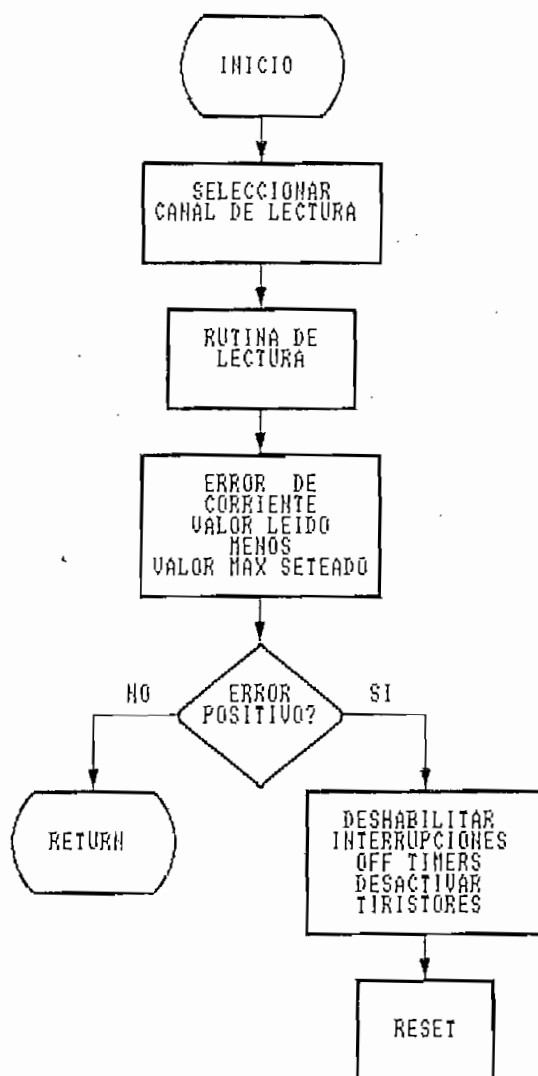


FIGURA No.3.6
DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS RUTINAS DE LECTURA DE
CORRIENTE DE SALIDA DEL CONVERTOR Y DE CARGA

Dentro de esta rutina se ejecuta el algoritmo de realimentación de corriente. Para conseguir este objetivo se restan los valores de corriente y el byte más significativo del resultado de la acción de control **RPDK1**. Este valor se lo multiplica por la constante de realimentación **KRI** y el byte más significativo de esta operación se toma como el ángulo de activado de los tiristores del convertor AC-DC de potencia, cuyo valor se almacena en la localidad **ANGULO**.

3.2.4.1 Rutina general de lectura.

En la figura No.3.7 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a esta rutina. Al convertor A/D se le trata como una localidad de memoria externa, para lo cual en primer lugar se carga en el acumulador el valor de la dirección **FFH** para realizar las lecturas en ésta.

El número de lecturas realizadas es de 32, ya que con éste número se realizan las lecturas durante un cuarto de ciclo, este es almacenado en la dirección indicada por la etiqueta **SYK**. Para obtener el valor promedio de la suma se divide para el número de lecturas realizadas.

3.2.5 Rutina para lectura de Frecuencia.

Para la lectura del valor de la frecuencia con la que está trabajando el generador, se utiliza el **TIMER1** el cual va a contar el tiempo entre cruces por cero de la señal de voltaje de carga (de alimentación al convertor de potencia AC-DC). El timer se inicializa con el valor **00H**. Una vez que se ha detectado la señal de sincronización (circuito de sincronismo), se habilita el conteo del timer; se procede a parar el conteo una vez recibida nuevamente la señal de sincronización. Los valores que el "timer" alcanza a contar en sus registros (**TH1** y **TL1**) son transferidos a los registros **R4** y **R5** del banco 1. Estos son comparados con los valores seteados para la frecuencia de **60Hz**.

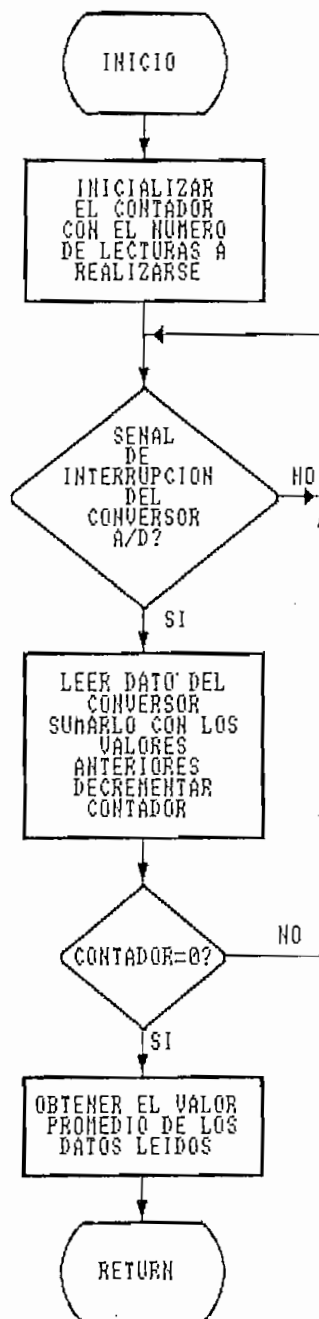


FIGURA No.3.7
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA DE LECTURA DE CORRIENTE

Si el error obtenido al restar los dos valores está dentro del margen del 10%, se sale de la rutina regresando al programa principal. Si la frecuencia está fuera de rango, se envía la señal de falla de frecuencia al setear el pin **P3.4** encendiéndose el led de señalización correspondiente, se resetea el sistema sacando de operación al generador.

Ver figura No.3.8

3.2.6 Rutina de atención a la interrupción externa 0 (INT0).

En esta rutina se establece que el orden de llegada de los códigos de cada fase sea el correcto de acuerdo con lo determinado en la rutina secuencia. (Ver figura No.3.9)

Si una llamada de interrupción externa (INT0) es detectada el microcontrolador salta a la dirección **0003H**, que corresponde a la dirección de atención a este tipo de interrupción. En esta dirección se procede a llamar a la rutina **ACTIVAR**, la cual tiene los siguientes pasos:

1. Guarda valores contenidos tanto en el ACC como en el PSW, borra banderas de interrupción externa, selecciona el banco de registros 1.
2. Lee el pórtico **P2** y lo guarda en el acumulador, luego se realiza un AND lógico con el valor **38H** para obtener el código de la fase que llega, se guarda valor del ACC.
3. A continuación se procede a revisar si el valor contenido en la dirección del resultado de la acción de control **RPIDKI = ANGULO**, que corresponde al ángulo de activado de los tiristores, es mayor que el contenido de la dirección de memoria cuya etiqueta es **ALFAM**, el cual contiene el ángulo máximo de activado, si el valor de **ANGULO** es mayor se procede a transferir el valor de **ALFAM** a **ANGULO**.

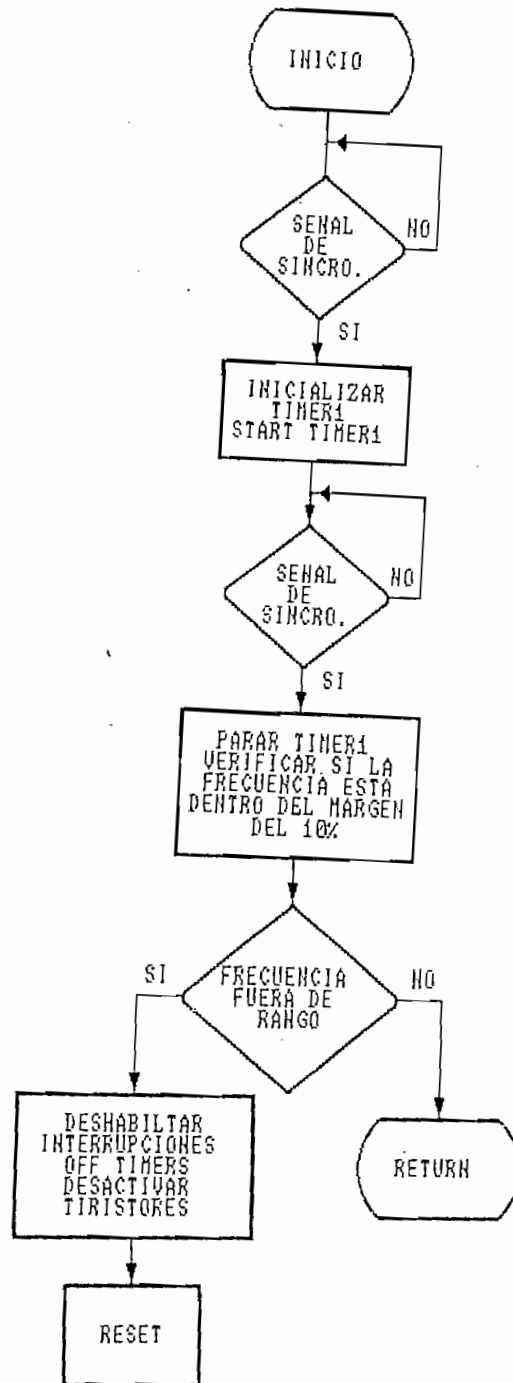


FIGURA No. 3.8
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA DETERMINAR LA FRECUENCIA

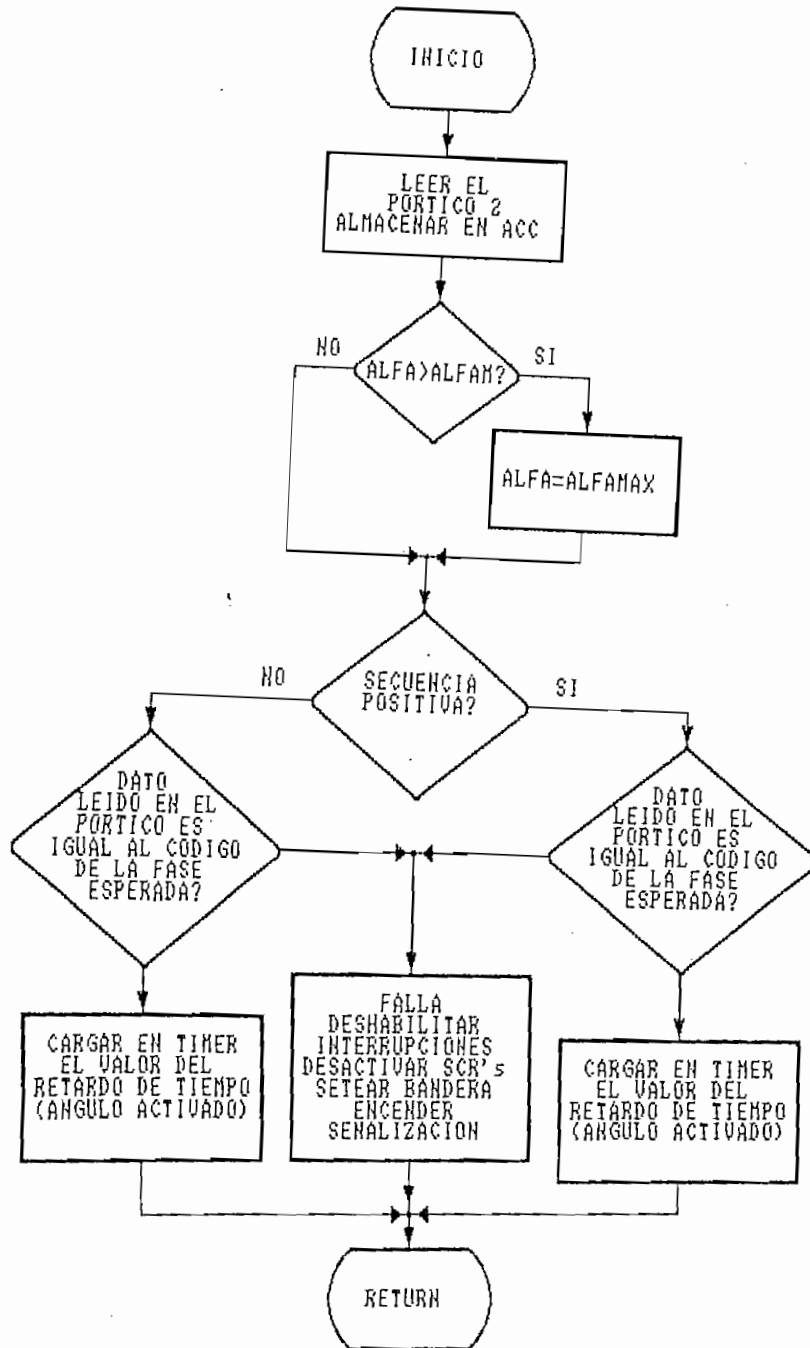


FIGURA No. 3.9
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA ACTIVAR

4. Se determina si la secuencia de fases es positiva o negativa al establecer si la bandera **00H** está seteada o borrada; se recupera el valor del acumulador.

5. Si la secuencia es positiva en la dirección indicada con la etiqueta **SEC** se carga el valor correspondiente a la fase **S (10H)**. Se compara si este valor es igual al contenido en el **ACC**; al ser iguales se llama a la rutina **TIMER** en la cual se carga en el timer el valor del retardo de tiempo que da el ángulo de activado. A la recepción del código de esta fase se le da un lazo de **360°** por si existiese un cierto retardo por ejecución del programa, que se lo obtiene al cargar al registro **R5** con el valor de **03H**, y la bandera **02H** es seteada si el código recibido por primera vez no es el correcto. Una vez determinada que la fase recibida es la correcta se setea la bandera **03H** y se borra la bandera **02H** que pudo haber sido seteada con anterioridad. El valor contenido en **SEC** se transfiere al acumulador para mediante rotaciones obtener el código de la próxima fase que se espera, y se lo transfiere nuevamente a **SEC**. Una vez completada esta secuencia se regresa al programa principal.

6. Al recibirse una nueva interrupción se revisa si el código receptado corresponde a la fase **T (20H)**. Si es correcto se llama a la rutina **TIMER**, se rota el valor contenido en **SEC** para obtener el código de la siguiente fase.

7. Con una nueva interrupción se procede de manera similar, esperando el código de la fase **R (08H)**; se borra la bandera **03H** y se regresa al programa principal.

8. En el caso de que el código de la fase esperada no corresponda se setea la bandera **01H** que es la indicación de falla por ausencia de fase, se envía la señalización externa al setear el pin **PI.6** con lo cual se enciende el led respectivo, se deshabilitan todas las interrupciones, se desactivan los timers, se anulan los pulsos de activado de los tiristores

enviando al p#rtico que controla las "gates" el valor **FFH** y se retorna al programa principal.

9. Si la secuencia de fases es negativa el orden de c#digo de fases esperado es el siguiente:

Fase **R** c#digo **08H**

Fase **T** c#digo **20H**

Fase **S** c#digo **10H**

y para todas estas fases se sigue el mismo orden de instrucciones que en el caso de secuencia positiva.

3.2.6.1 Rutina para obtener el retardo de tiempo o #ngulo de activado (**TIMER**).

Por medio de esta rutina se procede a cargar en el **TIMER0** el valor del retardo de tiempo (#ngulo de activado). En la figura No.3.10 se muestra el diagrama de flujo de #sta rutina.

1. Se inicializa el timer con el valor **0000H**.
2. Se lee el valor del retardo de tiempo de la tabla de datos correspondiente.

Los retardos de tiempo fueron calculados, considerando que el microcontrolador trabaja a una frecuencia de **7.15909 MHz.**, lo que da un per#odo **T** de **0.1396825 μ s**. Por tanto el per#odo de conteo para el timer (per#odo de incremento) ser# de **12T = T_c** cuyo valor es **1.6761906 μ s**. En base a esta frecuencia (per#odo de trabajo) se pretende encontrar el tiempo en segundos que ser# equivalente al #ngulo de retardo α . Luego, mediante este tiempo, averiguar el n#mero de veces que debe contar el "timer". Este n#mero se lo resta de **65535** y se lo pasa a hexadecimal, obteni#ndose as# el valor que se debe cargar en los registros del timer.

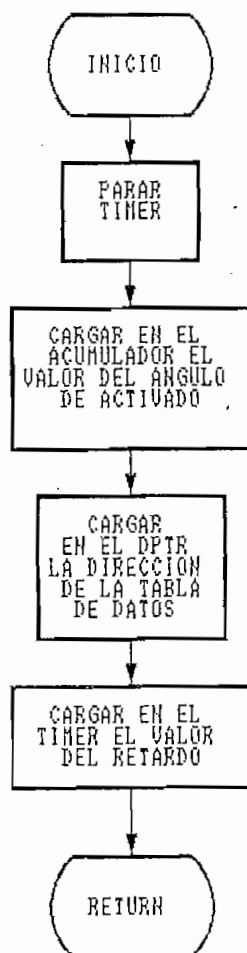


FIGURA No. 3.10
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA QUE PERMITE
CARGAR EL RETARDO DE TIEMPO CORRESPONDIENTE
AL ANGULO DE ACTIVADO

Para la obtención de los ángulos de retardo al activado α , se procede a una linealización por medio de la ecuación que permite la obtención del valor medio de voltaje normalizado en función del ángulo α .

$$\frac{Vd_{\alpha}}{Vd_0} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

donde:

Vd_{α} = Voltaje medio de salida del conversor AC-DC

Vd_0 = Voltaje de salida para $\alpha = 0^{\circ}$

Vs = Voltaje RMS de alimentación al conversor

α = Angulo de activado.

En la cual Vd_0 tomará el valor de 255 (FFH) que es el valor máximo alcanzado en hexadecimal de conversión A/D, mientras que Vd_{α} variará entre 0 y 255 (00H - FFH). De esta manera se van obteniendo los valores de α para cada valor de Vd_{α} en hexadecimal. Estos valores de ángulo permiten la linealización de la característica del conversor, puesto que los valores obtenidos de esta manera poseen una característica de tipo coseno inverso, que es contraria a la que tiene el conversor estático AC-DC.

Los pasos a seguirse para la obtención de las tablas de tiempos de retardo son los siguientes:

- a. Determinar el valor de α .
- b. Calcular la equivalencia de α en tiempo, para la frecuencia de trabajo que puede ser de 60Hz ó 54 Hz.
- c. Determinar el valor de tiempo en su equivalente a números de períodos de conteo, $nT_c = n * 1.6761906 \mu s$.
- d. Restar este número de 65535 (FFFFH), transformar a hexadecimal, y cargar éste valor en los registros del timer 0.

3.2.7 Rutina para el disparo de los tiristores.

Esta rutina se ejecuta siempre que la cuenta del timer0 ha llegado a **FFFFH** (sobreflujo del timer), ejecutándose la rutina de atención a esta interrupción con los siguientes pasos:

1. Detiene la operación del timer0, borra las banderas de interrupción (**TF0**) y de habilitación (**ET0**) del timer.
2. Determina si la secuencia de fases es positiva o negativa bandera **00H**. Inicializa puntero (registro **R4**) que contiene la información del número de tiristores del conversor estático de potencia AC-DC, se setea la bandera **04H** para indicar que ya se envió a activar el primer tiristor, que se toma como referencia para el contador.
3. Determina si el valor del registro **R4** es igual a **00H**. Por medio de este registro cuyo contenido se compara con los valores **00H** y **01H** se establece qué tiristor es el que se debe activar. El contenido de **R4** es inicializado en **00H** y luego de cada envío de señal de activado es incrementado para obtener el valor de la siguiente comparación para determinar qué tiristor se activa. En la tabla 3.6 se indica la forma de activado de los tiristores.

En la figura No.3.11 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a esta rutina.

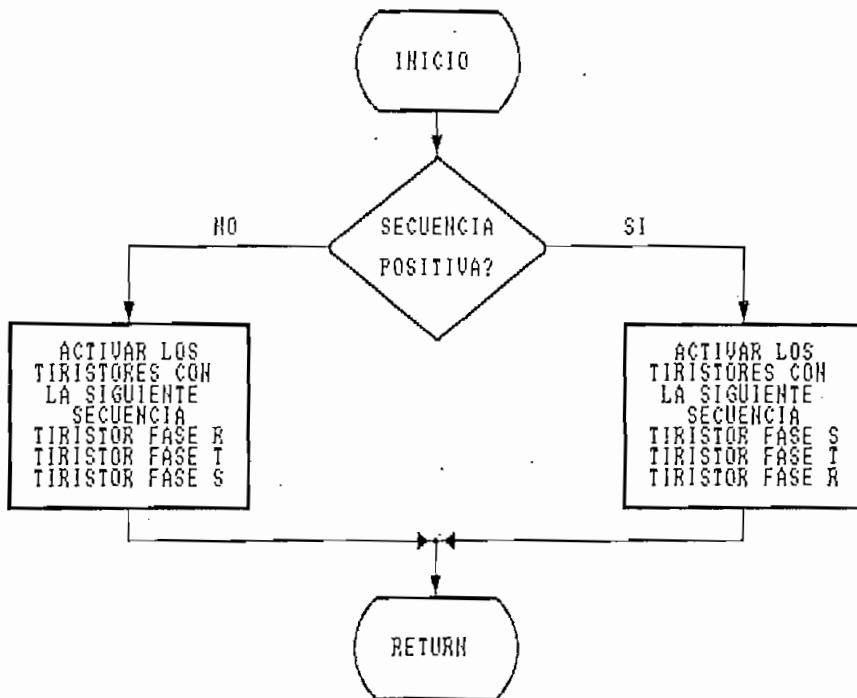


FIGURA No.3.11
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA
EL DISPARO DE LOS TIRISTORES

SECUENCIA POSITIVA			
ANGULO	PULSO DE SINCRONIZACION	TIRISTOR ACTIVADO	DATO EN PORTICO
α	S	S	FDH
	T	T	FBH
	R	R	FEH
SECUENCIA NEGATIVA			
ANGULO	PULSO DE SINCRONIZACION	TIRISTOR ACTIVADO	DATO EN PORTICO
α	R	R	FEH
	T	T	FBH
	S	S	FDH

Tabla 3.6

A continuación en la figura No.3.12 se aprecian los pulsos de sincronización y de activado (disparo).

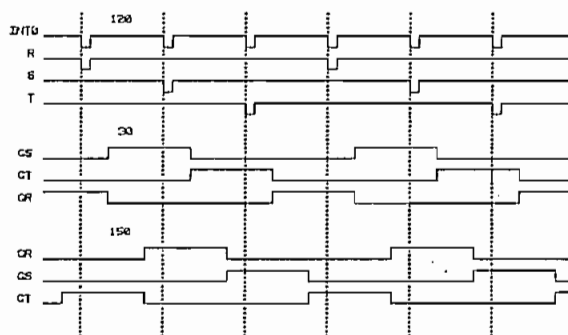


Figura No.3.12
Esquema de activado

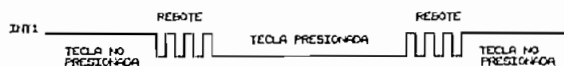
3.2.8 Rutina de Teclado.

Esta rutina realiza la lectura del código **BCD** que es enviado por el decodificador de teclado. Este código entra a los cuatro pines menos significativos del pòrtico 1, tal como se indica en la tabla No.3.7.

PORTICO 1	FUNCION
P1.0	BIT A
P1.1	BIT B
P1.2	BIT C
P1.3	BIT D
P1.4	FALLA AUSENCIA DE FASE
P1.5	DIP SWITCH
P1.6	SEÑAL AUSENCIA DE FASE
P1.7	SEÑAL DE OPERACION AUTOMATICA

Tabla 3.7

Al ser presionada cualquier tecla se genera una interrupción (**INT1**) con prioridad baja. La interrupción **INT1** se detecta por flanco negativo, por lo que, luego de la primera caída del rebote se deshabilita la detección de esta interrupción. El rebote que se va a eliminar tiene la siguiente forma:



ejecutándose los siguientes pasos:

1. Lee el dato del pòrtico varias veces para generar un retardo y evitar de esta manera el rebote. En cada una de estas lecturas se realiza un AND lógico del valor leído con **0FH** y

se lo almacena en la localidad **LTEC**, el número de veces que se lee el pórtico es de **30H**, dando un retardo de tiempo de aproximadamente 0.5 ms, para eliminar el rebote.

2. Para la eliminación de rebote al soltar una tecla se lee el pórtico varias veces (**30H**), se realiza un AND lógico **0FH**, y se compara si el valor leído es igual a **0FH**, si los datos son iguales, se sale inmediatamente del lazo, procediéndose a continuación a determinar que tecla fue presionada.
3. Se compara el dato de **LTEC** con el número **01H**, si el dato leído tiene este código se incrementa el valor del voltaje de referencia (**VREF**) o el de ángulo de activado (**ANGULO**) dependiendo si la operación es en forma manual o automática.
4. El dato de **LTEC** se compara con **02H**, si el dato leído es igual se decrementa el valor del voltaje de referencia (**VREF**) o ángulo de activado (**ANGULO**).
5. Si el dato leído es igual a **03H**, se incrementa el valor de la constante **KPH - KPL** (Ganancia proporcional del PID).
6. Si el dato es **04H**, decrementa el valor de la constante **KPH - KPL** (Ganancia proporcional del PID).
7. Si el dato leído es **05H**, se incrementa el valor de la constante **KIH - KIL** (Ganancia integral del PID).
8. Si el dato es **06H**, se decrementa el valor de la constante **KIH - KIL** (Ganancia integral del PID).

9. Si el dato es **07H** se setea la bandera **0AH**, y se envía señalización (**P1.7**) de que el sistema va a trabajar en forma automática.

10. Si el dato es **08H** se resetea todo el sistema, saliendo el equipo de operación.

11. Luego de haber al menos uno de estos pasos, se habilita la interrupción externa uno (**INT1**), y se regresa al programa principal.
Ver diagrama de flujo en la figura No.3.13.

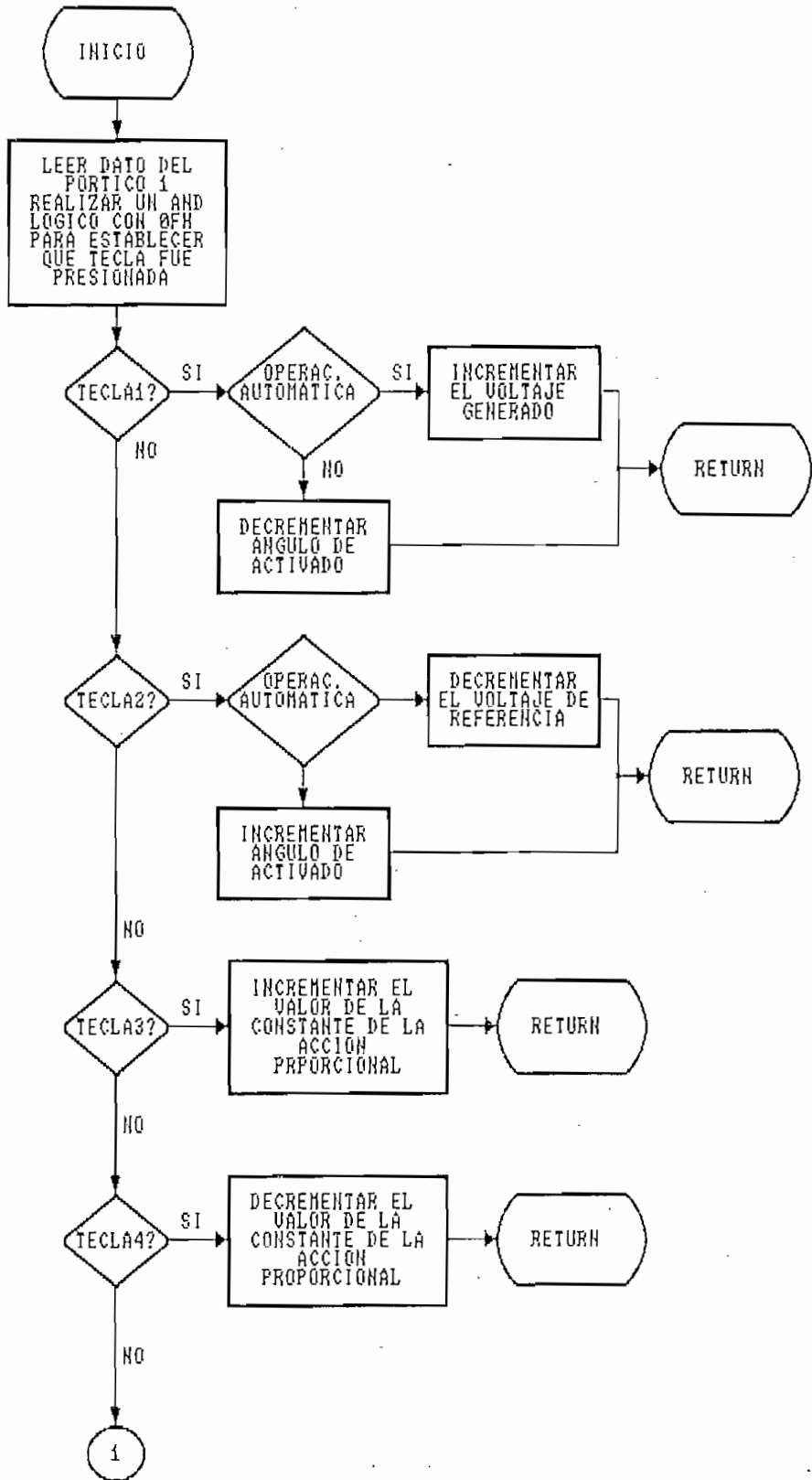


FIGURA No. 3.13
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA DETERMINAR QUE TECLA FUE PRESIONADA

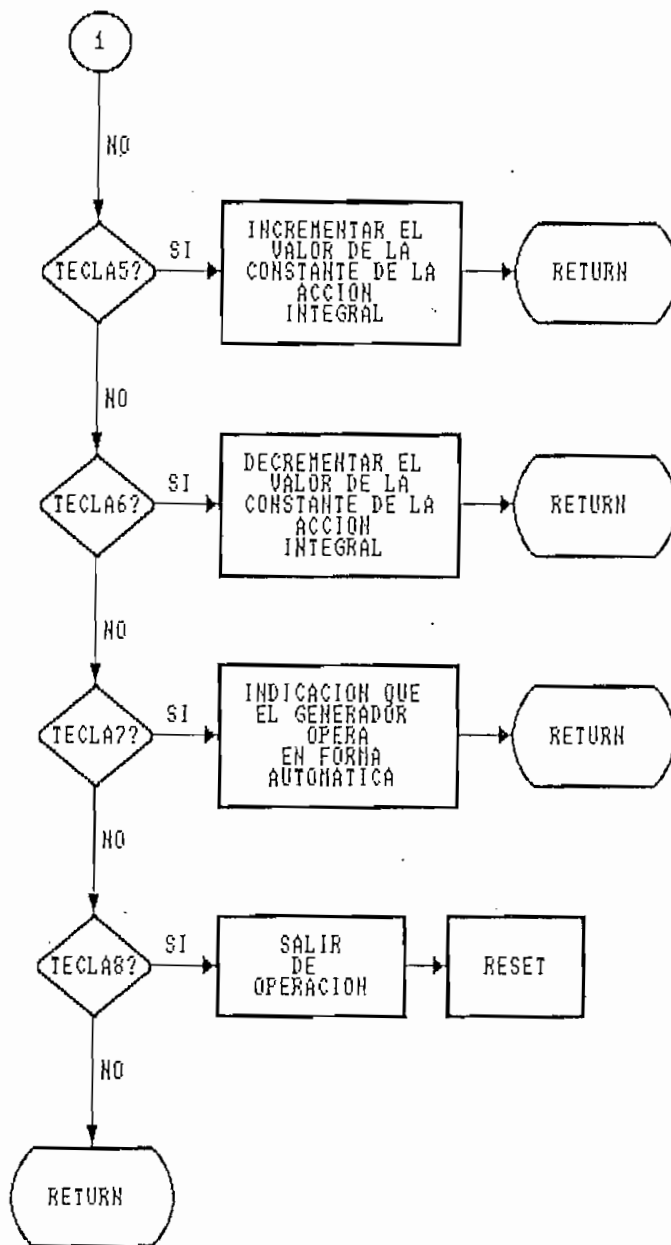


FIGURA No.3.13 (CONTINUACION)
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA DETERMINAR
QUE TECLA FUE PRECIONADA

CAPITULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se presentan los resultados de la operación en estado estable y la respuesta dinámica del sistema formado por el generador, la excitatriz estática y la carga.

4.1 OPERACION DEL EQUIPO CON EL GENERADOR.

El sistema siempre arranca en forma manual, para lo cual en primer lugar se debe presionar el pulsador de autoexcitación ubicado en la parte posterior del equipo. Luego, por medio de las teclas 1 y 2, con las cuales se puede variar el ángulo de activado de los SCR's del convertor AC-DC, se consigue que el voltaje generado también varíe hasta alcanzar el valor deseado. En este punto se presiona la tecla 7 que es la señal para que el sistema opere en forma automática.

Debido a que la señal sinusoidal generada presenta mucha distorsión debido a que la

corriente de excitación tiene un factor de rizado relativamente grande, se hizo necesario la utilización de un banco de capacitores conectados en estrella (Y) en los bornes del generador. De esta manera el voltaje generado mantiene su forma sinusoidal, y por lo tanto el valor RMS de la señal no se ve afectado por la distorsión de la misma.

A continuación se indican las formas de onda de voltaje generado:

Figura No. 4.1 cuando el generador esta operando sin capacitores.

Figuras No. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 cuando se introducen los bancos de capacitores, en pasos de 0.55 KVAR.

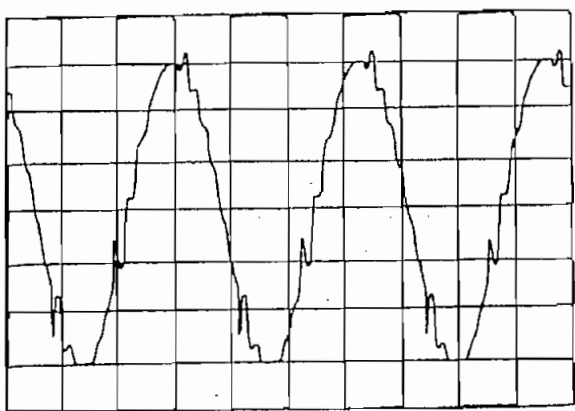


Figura No. 4.1
Voltaje generado sin capacitores
Escala: Horz. 5 ms/div
Vert. 100 V/div



Figura No. 4.2
Voltaje generado con un banco de capacitores
Escala: Horz. 5 ms/div.
Vert. 100 V/div.

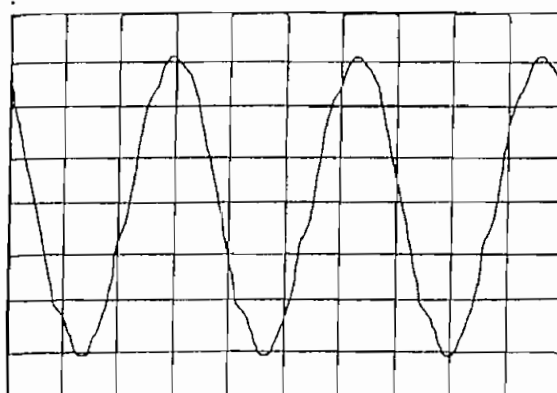


Figura No. 4.3
Voltaje generado con dos bancos de capacitores
Escala: Horz. 5 ms/div.
Vert. 100 V/div.

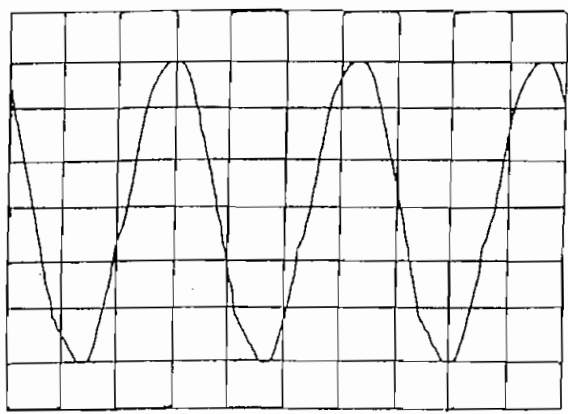


Figura No. 4.4
Voltaje generado con tres bancos de capacitores
Escala: Horz. 5 ms/div.
Vert. 100 V /div.

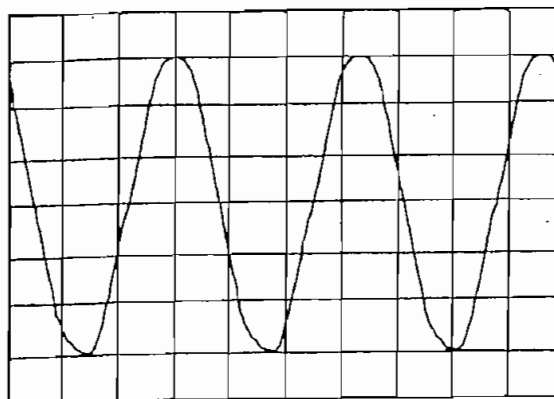


Figura No. 4.5
Voltaje generado con cuatro bancos de capacitores
Escala: Horz. 5 ms/div.
Vert. 100 V/div.

En la figura No. 4.6, se indica la forma de onda del voltaje generado durante el arranque del generador, donde se observa en la primera parte como la máquina se va autoexcitando por el voltaje entregado a la excitación a través del puente no controlado, una vez que el voltaje generado es aproximadamente igual a 120V la bobina del relé se activa y abre sus contactos, instante en el cual entra a operar el puente semicontrolado y por medio de teclado se controla el ángulo de activado de los tiristores por lo que en la forma de onda se observa como el voltaje va creciendo hasta alcanzar el voltaje deseado, y en este momento se da la señal de operación automática por lo que en la respuesta se tiene un pequeño transitorio de un 10% para luego estabilizarse en el valor que se tiene como referencia.

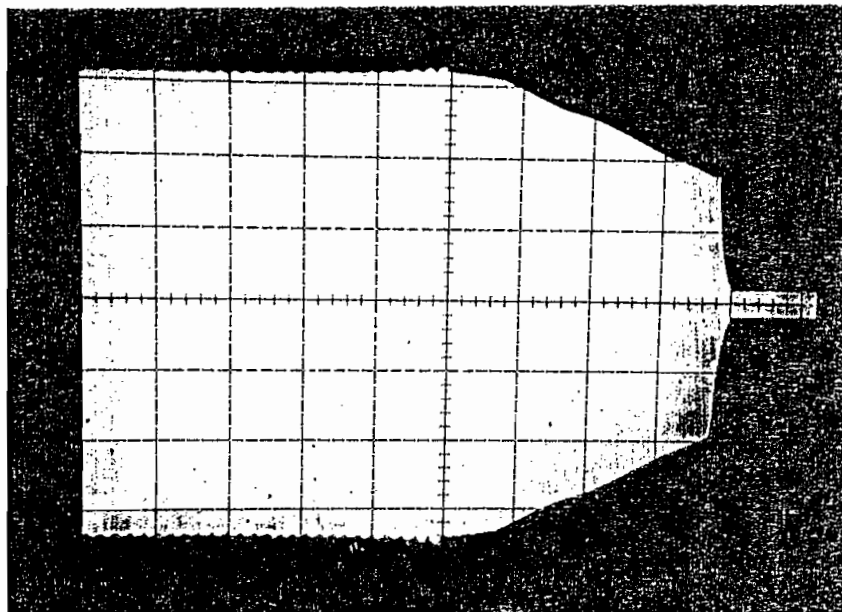


Figura No. 4.6
Arranque del equipo con el generador.
Escala: Horz. 2 s/div.
Vert. 100 V/div.
Frecuencia: 60 Hz.

4.1.1 Respuesta del sistema ante variaciones de carga.

El tipo de carga utilizado para las pruebas realizadas es Resistiva-Inductiva (R-L), la potencia del banco de carga resistiva es de 2.2 KW, la potencia de la carga inductiva es de 2.2 KVAR (cada banco dispone de cuatro pasos de carga), donde la carga resistiva está conectada en delta, mientras que la carga inductiva en estrella.

Las Figuras No. 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 muestran las respuestas del sistema ante pasos de carga 0.78 KVA.

En cada registro se puede apreciar las respuesta del sistema ante una conexión de carga seguida de una desconexión de carga.

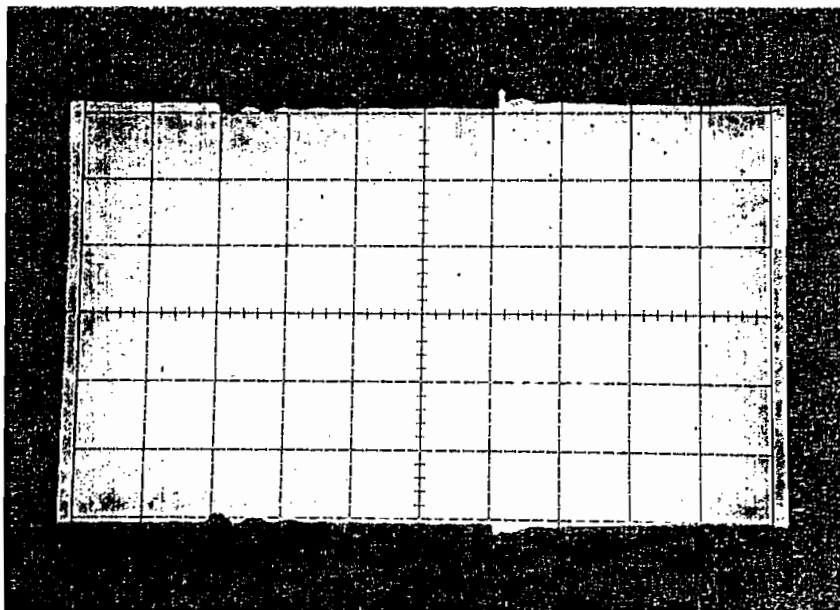


Figura No. 4.7
Respuesta dinámica del sistema ante la entrada y salida de un paso de carga R-L.
Escala: Horz. 1 s/div.
Vert. 100 V/div.
Variación de frecuencia: 62 Hz. - 60.1 Hz.

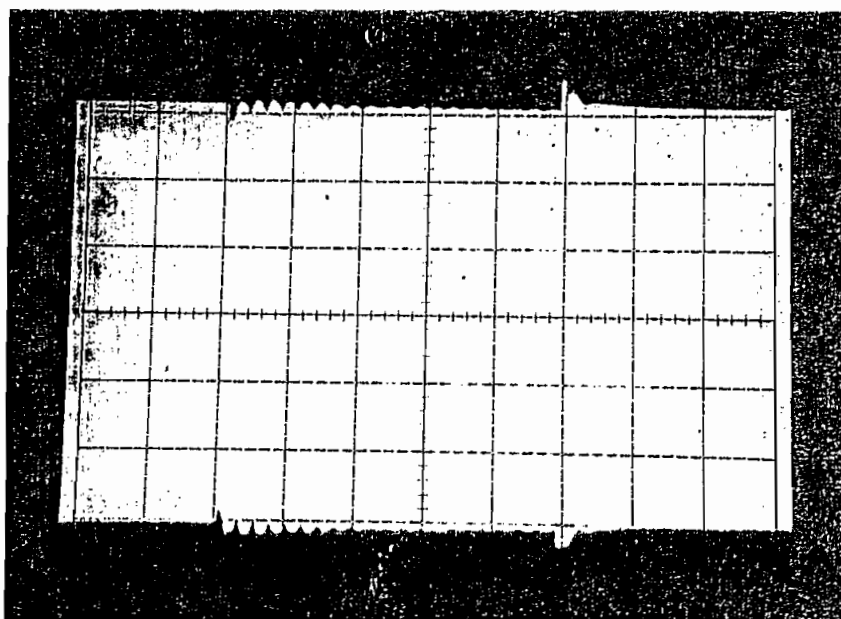


Figura No. 4.8
Respuesta dinámica del sistema ante la entrada y salida de dos pasos de carga R-L.
Escala: Horz. 2 s/div.
Vert. 100 V/div.
Variación de frecuencia: 62 Hz. - 58.2 Hz.

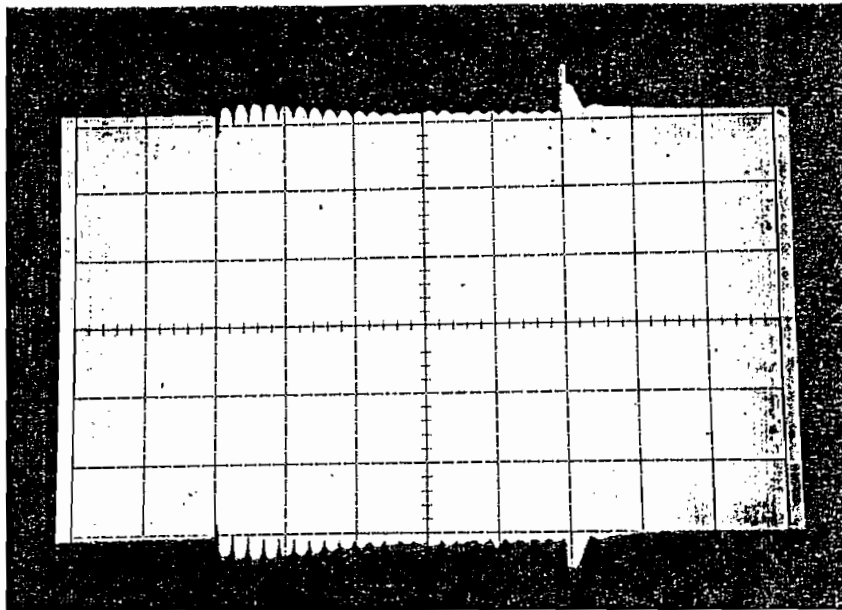


Figura No. 4.9
Respuesta dinámica del sistema ante la entrada y salida de tres pasos de carga R-L.
Escala: Horz. 2 s/div.
Vert. 100 V/div.
Variación de frecuencia: 62 Hz. - 56 Hz.

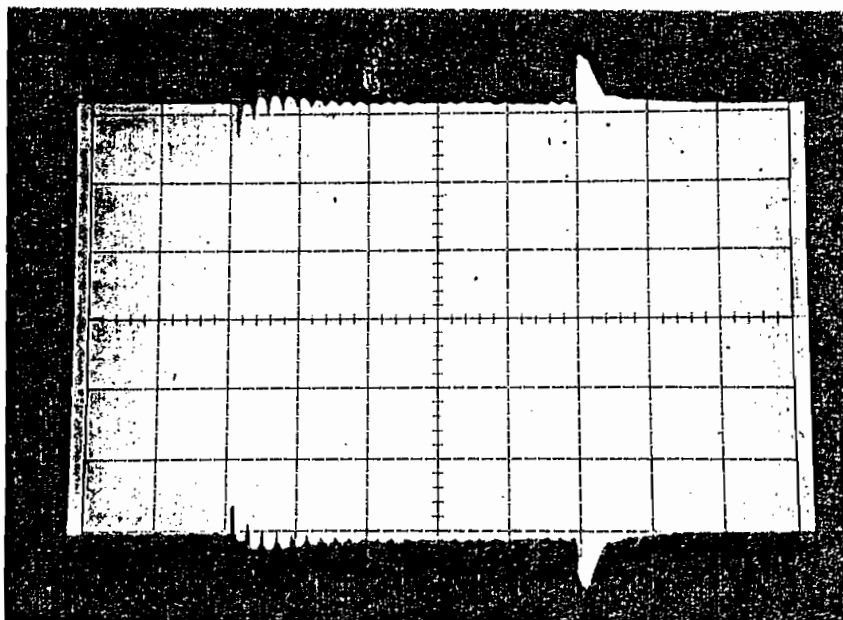


Figura No. 4.10
Respuesta dinámica del sistema ante la entrada y salida de cuatro pasos de carga R-L.
Escala: Horz. 2 s/div.
Vert. 100 V/div.
Variación de frecuencia: 62 Hz. - 54 Hz.

De los resultados anteriores se determinaron los datos para la obtención de la regulación del equipo, los cuales se encuentran tabulados en la tabla No. 4.1.

PASOS DE CARGA (0.77 KVA)	VOLTAJE GENERADO
EN VACIO	220 V _{rms}
1 PASOS	219.5 V _{rms}
2 PASOS	219 V _{rms}
3 PASOS	218.5 V _{rms}
4 PASOS	218 V _{rms}

Tabla No. 4.1

Los valores tabulados fueron tomados como valores promedios de la señal que se obtiene en la condición de carga dada.

Por medio de la ecuación que se indica a continuación se calcula la regulación de voltaje:

$$RV_{\%} = \frac{V_{vacío} - V_{plenacarga}}{V_{vacío}} \times 100\%$$

y el valor obtenido es aproximadamente igual a un 1%.

En la Figura No. 4.12, se indica la forma de onda de respuesta del voltaje de salida del conversor AC-DC (voltaje de excitación), cuando a la máquina toma cuatro pasos de carga resistiva-inductiva cuya potencia es igual 3.11 KVA.

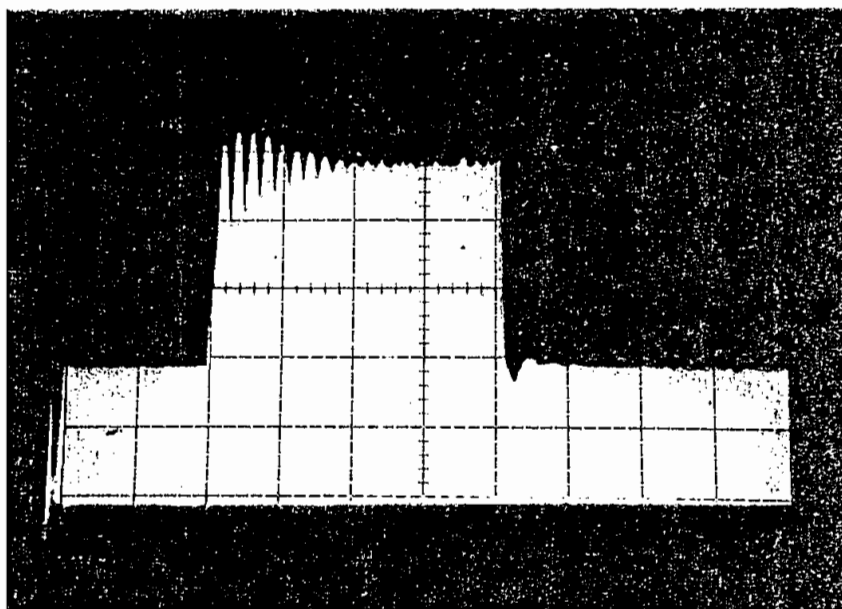


Figura No. 4.11
Respuesta dinámica del voltaje de excitación ante la entrada y salida de cuatro pasos de carga R-L.
Escala: Horz. 2 μ s/div.
Vert. 100 V/div.

En la Figura No. 4.12, se observa la respuesta del sistema ante un cambio de frecuencia de 60 Hz a 55 Hz, observándose que el voltaje generado sufre variación pero luego nuevamente por efecto de la acción de control retorna al valor de referencia. El efecto de la variación de frecuencia es muy parecido al efecto que se tiene ante un paso de carga, porque como no se tiene un control sobre la máquina motriz (control de velocidad) su velocidad aumenta o disminuye en función de la carga y por ende también varía la frecuencia.

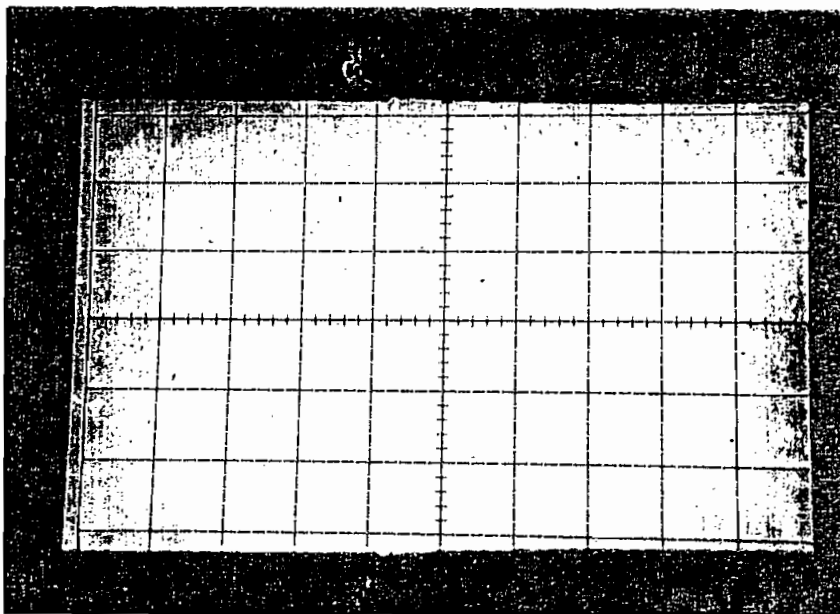


Figura No. 4.12
Respuesta dinámica del sistema ante una variación de frecuencia 60 Hz. - 55 Hz.
Escala: Horz. 2 s/div
Vert. 100 V/div.

4.2 OPERACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.

A continuación se indican las formas de onda que se obtienen de los circuitos acondicionadores analógicos que permiten realizar la medición de los valores de voltaje y corriente. Estos circuitos generan retardo en la operación del sistema, debido a que las señales son filtradas para evitar todo tipo de perturbaciones que distorsionarían las mediciones que se realicen.

En la figura No. 4.13 se muestran las formas de onda de voltaje y corriente (sobre el mismo gráfico) para una condición de carga. Las marcas indicadas como 0_V y 0_A corresponden a las referencias de la escala vertical para cada una de las formas de onda respectivamente.

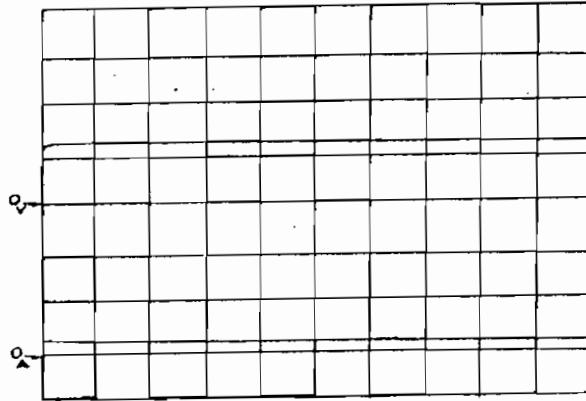


Figura No. 4.14
 Circuito de adquisición de datos.
 Escala: Horz. 0.2 ms/div.
 Vert. 2 V/div.
 Vert. 5 A/div.

En las figuras No. 4.14 y 4.15 se indican las formas de onda de la respuesta en el tiempo de los circuitos acondicionadores de señal de corriente y voltaje ante una entrada paso de amplitud unitaria.

Las funciones de transferencia para cada uno de los acondicionadores se muestran a continuación:

Acondicionador de corriente:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\left(\frac{1}{RC}\right)^2}{S^2 + S\frac{2}{RC} + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{657.5}{S^2 + 51.3 S + 657.5}$$

acondicionador de voltaje:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\left(\frac{1}{RC}\right)^2}{S^2 + S\frac{3}{RC} + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{21626.3}{S^2 + 441.2 S + 21626.3}$$

De los gráficos obtenidos se puede establecer que el circuito para acondicionar la señal de voltaje es el que más retardo presenta siendo su tiempo de estabilización aproximadamente igual a 0.2 s, mientras que el circuito de corriente tiene un tiempo de 0.07 s. En base a estos datos se puede establecer una de las razones por la cual el sistema en operación presenta un tiempo de estabilización grande.

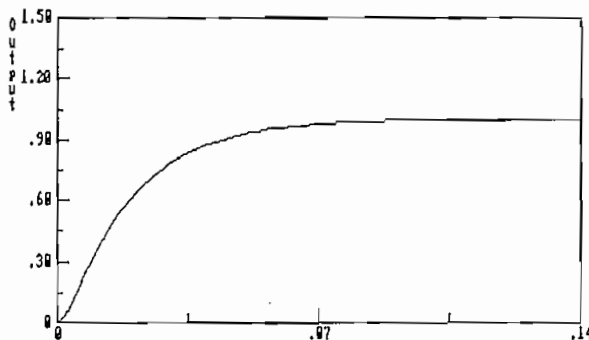


Figura No. 4.14
Respuesta de circuito acondicionador de corriente
Unidades: Horz. Voltios
Vert. segundos

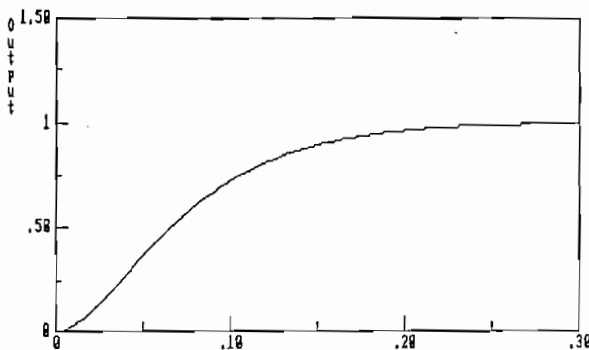


Figura No. 4.15
Respuesta del circuito acondicionador de voltaje.
Unidades: Horz. Voltios
Vert. segundos

4.3 PROTECCION Y DETECCION DE FALLAS.

En las figuras siguientes se muestra el voltaje de salida, cuando se ha dado la señal para que el sistema salga de operación, frente a una falla de frecuencia fuera de rango de operación, ausencia de fase, y sobrevoltaje, en las cuales se puede observar que el tiempo de respuesta del sistema es menor que 0.5s. En las formas de onda mostradas se observa un tiempo superior, lo cual se debe a que se tiene grabada la forma de onda del voltaje generado hasta que la máquina se haya parado totalmente, en cuyo instante únicamente se tiene presente el voltaje remanente.

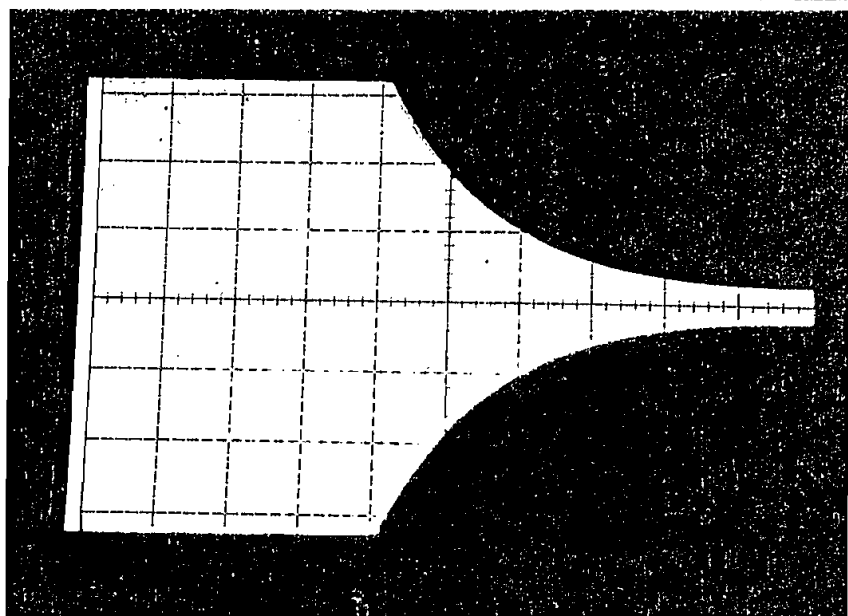


Figura No. 4.16
Respuesta del sistema ante la señal de salida de operación.
Escala: Horz. 0.5 s/div.
Vert. 100 V/div.

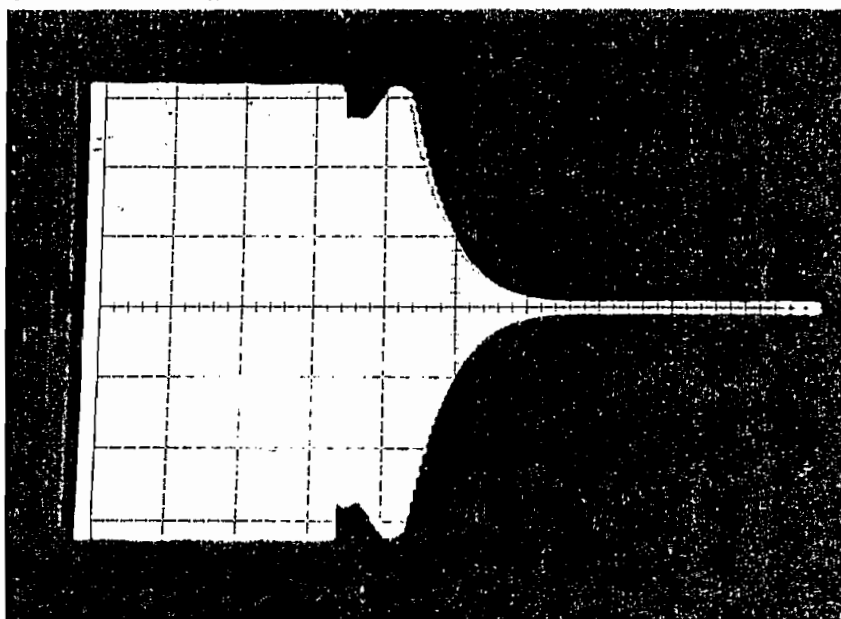


Figura No. 4.17
Respuesta del sistema cuando la frecuencia esta fuera del rango de operación normal.
Escala: Horz. 0.5 s/div.
Vert. 100 V/div.

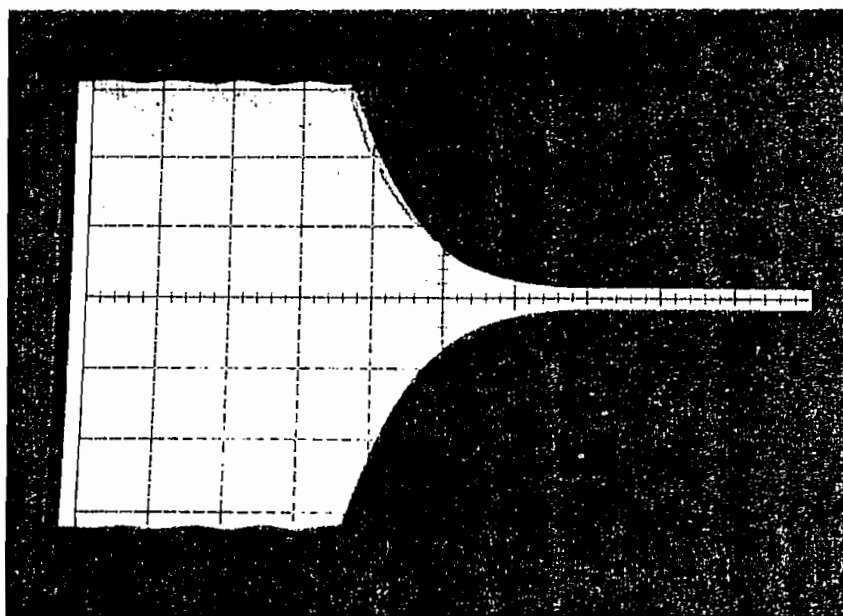


Figura No. 4.18
Respuesta del sistema ante la detección de la ausencia de un fase de alimentación.
Escala: Horz. 0.5 s/div.
Vert. 100 V/div.

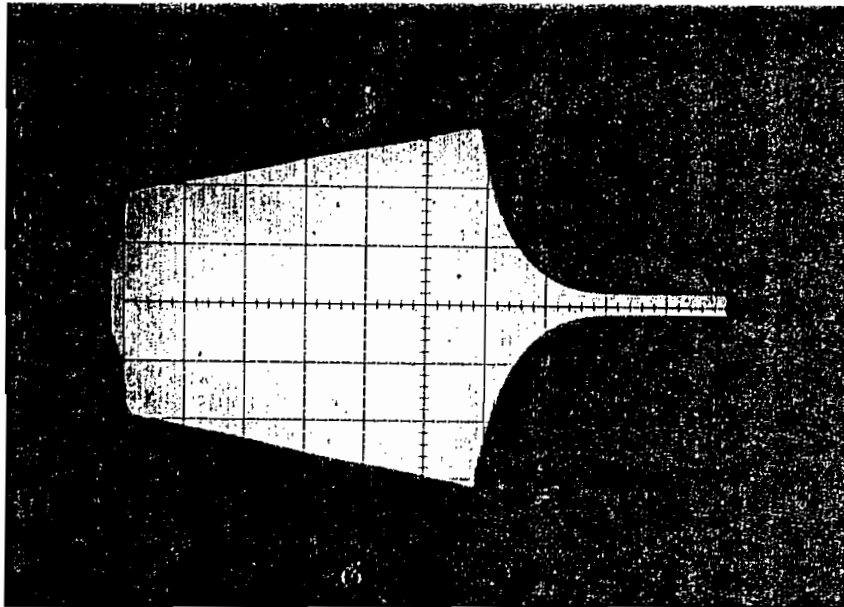


Figura No. 4.19
Respuesta del sistema ante un sobrevoltaje.
Escala: Horz. 1 s/div.
Vert. 100 V/div.

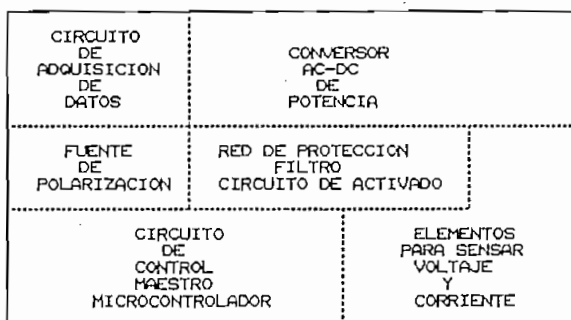
En las figuras del comportamiento del sistema mostradas anteriormente, se lo ha hecho operando el sistema a lazo cerrado con el tipo de acción de control **PID** puesto que es la que mejor características de respuesta presentó.

Puesto que en el equipo desarrollado no se tiene control o regulación de velocidad de la máquina motriz, las variaciones de frecuencia que se obtienen al poner carga al generador superaron el 10% previsto como límite en la variación de frecuencia, razón por la que este se aumenta a un 20% de tal manera que el sistema no salga de operación al introducir o sacar carga.

4.4 DETALLES CONSTRUCTIVOS.

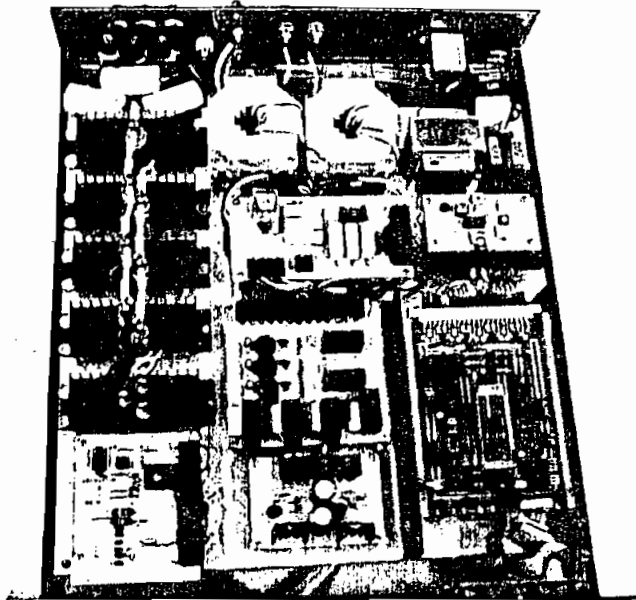
El equipo está montado sobre un gabinete metálico cuyas dimensiones son: 43cm. x 52cm x 9cm. El peso aproximado es de 7 Kg. En el interior se tiene la parte de potencia constituida por un conversor AC-DC de estado sólido, las redes de protección, y la parte de control con todos los circuitos de adquisición de datos.

En el gabinete se tiene una base de aluminio conectada a tierra para tener un buen apantallamiento contra señales de ruido, y para sujetar las tarjetas, circuitos y dispositivos del equipo. La distribución de los elementos se muestran a continuación:

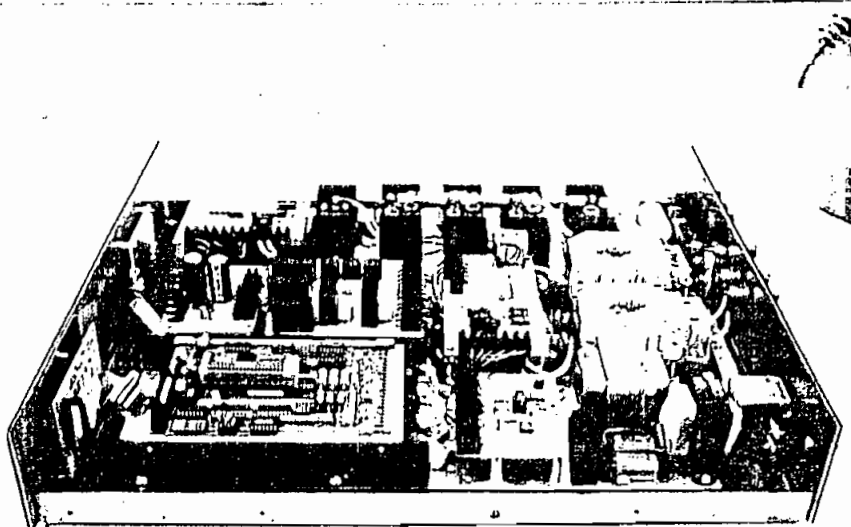


Distribución de dispositivo en el equipo

En la parte frontal se encuentran los leds de señalización y teclado, todos montados con sus respectivos circuitos impresos en forma vertical. El circuito impreso de los leds de señalización es tan solo un paso de información desde el circuito de control maestro a través de cuatro (4) líneas.

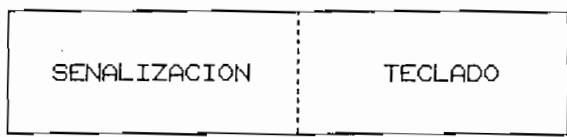


Vista superior del equipo



Vista lateral del equipo

El circuito de teclado es un decodificador BCD; los datos en BCD son llevados al circuito de control maestro por medio de una correa tipo bus de seis (6) líneas, cuatro (4) de datos y dos (2) de polarización.



PARTE FRONTAL DEL SISTEMA

En la parte posterior, estan instalados los terminales de entrada y salida. Los terminales de entrada son para la red trifásica (220 V) con neutro. La alimentación monofásica (110 V) del equipo es un conector polarizado. Se tiene tres fusibles, y se disponen de las entradas para el muestreo de la corriente de carga del generador.

Se dispone de los terminales de salida del voltaje DC para la alimentación de la excitación del generador. Además también se tiene un pulsador para el arranque manual del sistema.



PARTE POSTERIOR DEL SISTEMA

4.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL EQUIPO.

El sistema operará de manera normal ante cualquier condición de carga, mientras no se sobrepasen los valores máximos de corriente, voltaje y frecuencia especificados. Si uno de estos valores ha sido sobrepasado el sistema será reseteado por software y por lo tanto sacará al generador de operación.

Con el equipo no se puede realizar la compensación de reactivos pero quedan contruidos los circuitos necesarios para realizar el control sobre la variable corriente de carga del generador así como del factor de potencia (control de reactivos) cuando el sistema está operando en paralelo. Así como se dejan indicadas rutinas de programa para el microcontrolador que podrían ser utilizadas para este efecto, las cuales se pueden revisar en el Apéndice E.

Para el muestreo de los valores de voltaje y corriente se supone que estas tienen formas de onda sinusoidales; en el caso de que las señales no sean sinusoidales se estará incurriendo en un error en la medición de estas magnitudes.

Las constantes de las acciones de control pueden tomar como valores máximos los siguientes:

- Constante de la acción proporcional (KP) puede tomar un valor límite de 1677.7215 (tres bytes de extensión máxima en el programa).
- Constante de la acción integral KI puede tomar un valor límite de 655.35 (dos bytes de extensión máxima en el programa).
- Constante de la acción derivativa KD puede tomar un valor límite de 655.35 (dos bytes de extensión máxima en el programa).
- Constante proporcional de realimentación de corriente de campo KRI que puede alcanzar un valor límite de 655.35 (dos bytes de extensión máxima en el programa).

La medición del voltaje generado se lo realiza midiendo el voltaje fase-neutro, lo cual es una

limitación muy grande por cuanto este voltaje al ser rectificado en onda completa (monofásico) y filtrado para obtener el valor medio, perjudica en la velocidad de respuesta del sistema, porque los filtros deben ser bastante grandes en comparación al que se tendría si el muestreo se lo realiza muestreando las tres fases.

El sistema desarrollado siempre arranca en forma manual lo cual es una limitación por cuanto este no podrá ser utilizado en sistemas de emergencia, los cuales deben entrar en operación de manera automática.

El equipo requiere de una fuente de voltaje AC-DC auxiliar porque los circuitos de control deben estar energizados con anterioridad a la puesta en operación del sistema.

4.5 COMPARACION CON MODELOS CLASICOS.

Para este análisis se tomará en cuenta las características más representativas de tres modelos existentes en el mercado (BASLER SR8A, ABB UNITROL, BRUSH LVB) y el equipo realizado en el presente trabajo, las cuales se encuentran detalladas en la tabla No.4.2.

En cuanto a potencia, el regulador BASLER especifica un valor de 0.875 KW con lo que podría manejar un generador de hasta 1MVA con excitatriz rotativa. El UNITROL ABB de 10 KW podría trabajar como excitatriz estática manejando en forma directa un generador de hasta 350 KVA aprox. y con una excitatriz rotativa intermedia un generador de hasta 10 MVA aprox. El BRUSH tiene una potencia de 1.3 KW con lo cual podría manejar un generador de hasta 1.4 MVA aprox. con excitatriz rotativa. El equipo diseñado tiene una potencia de salida 4.8 KW, con lo cual se podría manejar directamente, en calidad de una excitatriz estática un generador de hasta 150 KVA aprox. y con excitatriz rotativa un generador de hasta 5 MVA aproximadamente.

Adicionalmente cabe anotar que la capacidad de corriente, voltaje y por ende la potencia se podría aumentar realizando un cambio de los elementos semiconductores que constituyen el puente rectificador, y reprogramando las constantes de las acciones de control en la memoria del

microcontrolador.

Una de las razones por la que la excitatriz estática desarrollada en este trabajo puede controlar un generador de mayor potencia es porque se tiene un convertidor semicontrolado trifásico tipo puente lo cual permite la utilización de semiconductores de menor capacidad de corriente y por otra parte el mayor número de pulsos garantiza un menor factor de rizado en la corriente de excitación del generador, requisito indispensable para mantener una baja distorsión del voltaje generado, cuando no se dispone de una excitatriz rotativa.

Los equipos BASLER operan en el arranque en forma automática, mientras que en el trabajo desarrollado y los equipos ABB UNITROL y BRUSH el arranque se realiza de forma manual.

El tiempo de actualización del ángulo de activado de los tiristores para los equipos tomados como ejemplo son mayores que el que se tiene en el trabajo realizado. En cuanto al tiempo de estabilización cuando el equipo está trabajando en lazo cerrado, los datos tabulados son relativos ya que van a depender de las características del generador y la carga.

El arranque automático es muy importante en el caso de plantas de generación de emergencia con sistema de transferencia automática, por cuanto no se requiere de un operador.

En cuanto a las protecciones de que disponen los equipos se puede desprender de la tabla No. 4.1 que los sistemas comerciales prácticamente no poseen ninguna, y otras las incluyen como elementos adicionales, mientras que el equipo desarrollado tiene todas las protecciones necesarias tanto para el equipo en si mismo como del generador.

El precio del equipo desarrollado, es inferior a los equipos que se encuentran en el mercado, lo que representa una ventaja, considerando las características que el equipo ofrece.

La excitatriz desarrollada tiene una circuitería con tecnología de punta, mientras que los otros equipos están contruidos en su totalidad con circuitería análoga, mientras que el propuesto tiene una mezcla de las dos tecnologías.

TIPO	BASLER SR4A & SR8A	ABB UNITROL 3210-3212	BRUSH LVB	TESIS
VALORES DE ENTRADA				
VOLTAJE (V)	95 - 139 ± 10%	100 ± 15 V	200-240 ± 10%	220 ± 10%
CORRIENTE (A)	8		5	9.5
FRECUENCIA (Hz)	60 ± 10%	40 - 120	50/60 ± 10%	60 ± 10%
No. DE FASES	1	3	3	3
IMPEDANCIA DE ENTRADA	-	22K	-	33K
ENTRADA PARA SENSADO				
VOLTAJE (V)	110 ± 10%	110		110 ± 10%
FRECUENCIA (Hz)	60 ± 10%	40 - 120		60 ± 10%
No. DE FASES	1	1		1
VALORES DE SALIDA				
VOLTAJE (V)	125	154	130	120
VOLTAJE MAXIMO (V)	90 (1 min)	176	150 pico	290
CORRIENTE (A)	7	60	10	20
CORRIENTE MAXIMA (A)	40 durante 1 min	-	-	25
MINIMA RESISTENCIA DE CAMPO	36 Ω	-	-	-
RANGO DE AJUSTE DE VOLTAJE	±10%	±10%	-	±10%
REGULACION DE VOLTAJE	< ±½%	-	±1%	±1%
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	±½% ante un cambio de temperatura	-	-	-
POTENCIA DE DISIPACION	60 W	-	-	
TIEMPO DE RESPUESTA	<17ms	<17ms	<17ms	<5.5ms
TIEMPO DE ESTABILIZACION	<1s	<3s	-	<2s
COMPENSACION DE PARALELISMO	5A a 25VA máximo con un ajuste de 6% de caída de voltaje.	Si tiene	-	-
TIPO DE CONVERSION	Semicontrolado monofásico	Semicontrolado monofásico	Controlado de media onda.	Semicontrolado trifásico
INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA	-	-	-	-
PESO (Kg)	3.75	3.75		7 Kg

Tabla No. 4.2

TIPO	BASLER SR4A & SR8A	ABB UNITROL 3210-3212	BRUSH LVB	TESIS
PROTECCIONES				
SOBREVOLTAJE	-	-	-	Si posee
SOBRECORRIENTE	-	-	-	Si posee
SOBRE FRECUENCIA	-	-	-	Si posee
BAJA FRECUENCIA	Opcional	-	-	Si posee
AUSENCIA DE FASE	-	-	-	Si posee
PRECIO (Dolares)	2000,00	7000,00	1800,00	1400,00

NOTA: El costo del equipo construido es de 462 dolares, pero el precio de venta sería de lo indicado en la tabla.

El símbolo - significa que no se tiene información del ítem propuesto.

Tabla No. 4.2

Las especificaciones de las excitatrices tomadas como ejemplos para realizar la comparación se las obtuvieron de los manuales de características técnicas de los equipos que se pueden revisar en el Apéndice G.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

5.1 ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados experimentales obtenidos tomando en cuenta los objetivos que se plantearon para este trabajo de tesis.

Al evaluar la operación en estado estable del equipo, en lo que se refiere a voltaje y corriente de salida del convertidor estático AC-DC, se comprueba el cumplimiento de las condiciones de diseño. Esto es: puede entregar una corriente superior a la nominal 20 A, en forma permanente. En cuanto al voltaje de salida, se logra alcanzar de una forma fácil el máximo valor que este puede entregar, cuando al convertidor se lo hace operar en forma independiente sometido a condiciones de carga que permitan alcanzar las condiciones anteriormente especificadas.

Las señales de realimentación utilizadas como son voltaje y corriente son adecuadamente

filtradas de tal manera que ninguna distorsión externa afecte a las mediciones realizadas. Puesto que la señal de voltaje generado por la máquina presenta "demasiada" distorsión con respecto a la señal senoidal esperada (ideal), se hizo necesario incluir a la entrada del circuito de sincronización (para el disparo de los tiristores) filtros, los cuales introducen un error de desfasaje en el cálculo del ángulo de activado; sin embargo, esto no repercute en el funcionamiento del sistema cuando este opera a lazo cerrado. Además, con estos filtros se atenúa la distorsión que se genera por la conmutación de los tiristores, pero es necesario indicar que el programa del microcontrolador encargado de generar los pulsos de disparo elimina los efectos de esta distorsión.

Las pruebas que se efectuaron para verificar la operación de las protecciones de sobrevoltaje, frecuencia fuera de rango y sobrecorriente son satisfactorias tomando en cuenta que todas estas señales son acondicionadas para su mejor medición, dando un tiempo de respuesta < 0.5 s. La detección de las fallas anteriormente indicadas se hace con la detección de valores promedios de un total de muestras que se toman. De lo anteriormente expuesto se puede decir que el sistema de adquisición de datos tiene un comportamiento correcto.

En cuanto al comportamiento dinámico del sistema, se puede decir que este no es muy rápido en su respuesta, ya que de las formas de onda obtenidas se puede observar que el tiempo de respuesta mínimo es 1 s, y el máximo 3 s. Esto se debe básicamente a las tareas que debe realizar el microcontrolador entre las cuales se cuenta: muestreo de voltaje generado, corriente de salida del convertidor, detección de frecuencia, sobrevoltaje, sobrecorriente, generación de retardo del ángulo de activado, disparo de los tiristores, y, de la ejecución de la acción de control proporcional-integral-derivativa. Además la utilización de los filtros que atenúan las perturbaciones de las señales muestreadas, generan retardos de tiempo que no se los puede evitar y son los que a su vez provocan que el sistema en general actúe lentamente. Pero es necesario indicar que el comportamiento dinámico del equipo es aceptable si se consideran las características del generador con el que se hicieron las pruebas.

Debido a que el generador utilizado, como ya se indicó anteriormente, no genera una forma

de onda pura se utilizaron bancos de capacitores. A pesar de ello no se pudo conseguir que la forma de onda no se vea alterada al introducir o sacar carga del generador; ésta es la razón por la cual se puede observar que el sistema no mantiene una regulación exacta (la determinación de la regulación se da en el capítulo IV sección 4.1.1) del valor de voltaje generado, en los diferentes puntos de operación. Pero es necesario recalcar que el equipo en operación tiene una regulación inferior al 1%, característica que es igual o mejor a la que tienen los equipos tomados como muestra en la comparación.

5.2 ANALISIS TECNICO ECONOMICO.

El equipo ha sido diseñado y construido con elementos digitales y analógicos, dentro de los cuales el microcontrolador que es la parte central del control es el más costoso, pero a cambio nos da la posibilidad de reducción de tamaño y de mantenimiento, puesto que este sustituye a gran parte de circuitería análoga. Para la circuitería de control en la cual la mayor parte de elementos son digitales se requiere de una única fuente de polarización de +5V, puesto que sus niveles de voltaje son TTL.

El circuito de sincronización es realizado en base a elementos de fácil adquisición y reposición como son diodos, resistencias y optoacopladores.

Las tarjetas de acondicionamiento de señales externas en el sistema de adquisición de datos está constituida por elementos analógicos de uso general como son los amplificadores operacionales LM324.

La parte correspondiente a potencia está constituida por las redes snubber y ecualizadoras, el convertidor AC-DC el cual se encuentra acoplado al microcontrolador el cual genera las señales de activado de los tiristores por medio de transformadores de pulsos los cuales no se los pudo conseguir en el mercado local y hubo que importarlos. Además están los elementos de protección

como son los fusibles y varistores.

En el Apéndice H se muestran los cuadros de listado de elementos, cantidad utilizada de cada uno de ellos en la construcción del equipo, del cual se obtiene que el equipo construido tiene un costo de 923000 sucres o US \$461.5.

Es necesario indicar que en el equipo desarrollado se encuentran construidos los circuitos necesarios para realizar el muestreo de la corriente de carga, así como el factor de potencia, que podrían ser aprovechados si se desea desarrollar la opción de la operación en paralelo del generador con otra fuente de energía.

5.3 CONCLUSIONES.

Al haber concluido este trabajo, se hace necesario anotar las siguientes conclusiones:

- Después de realizar el análisis de los diseños propuestos, de los circuitos construidos y considerando los resultados de las pruebas ejecutadas se puede concluir que el equipo opera satisfactoriamente y cumple los requisitos inicialmente planteados. Además se puede apreciar las facilidades que presta el microcontrolador INTEL 8051 para la ejecución de multitareas para la consecución de un objetivo, como las que se desarrolla en el presente trabajo: cálculo del retardo de tiempo para el ángulo de activado de los tiristores del convertidor, medición del voltaje generado, de la corriente de excitación y de la corriente de carga, evaluación discreta de los algoritmos de controlador proporcional-integral-derivativo del lazo de realimentación de voltaje y control proporcional para el lazo de realimentación de corriente, detección de fallas por sobrevoltaje, sobrecorriente, desconexión de fase y frecuencia fuera de rango.

- Todas las operaciones matemáticas se realizaron en aritmética extendida, lo cual ha dado muy buenos resultados. Las operaciones de multiplicación y división no fueron realizadas en base al método de rotaciones porque esto tiene un muy alto tiempo de ejecución. Para evitar este inconveniente se realizaron rutinas en base a las instrucciones de multiplicación y división que posee el microcontrolador, consiguiéndose de esta manera que el tiempo de ejecución disminuya notablemente.

- Los valores de los elementos que constituyen las redes snubber del puente convertidor calculados en base a las fórmulas indicadas en el capítulo II, no dan una protección adecuada, por lo que fue necesario realizar simulaciones digitales de los circuitos equivalentes, gracias a lo cual si se llegó a obtener valores apropiados de los elementos de protección.

- Puesto que en el algoritmo de control proporcional integral derivativo fue necesario trabajar con números decimales, cada uno de estos está representado con una extensión mayor a un byte, lo cual acarrea algunas dificultades para el manejo de estos números. Por ello sería recomendable realizar las operaciones en punto flotante. A pesar de esta recomendación, habría que considerar el hecho de que este método tiene un tiempo de ejecución más largo que cualquiera de los otros métodos, por lo que esto ocasionaría una mayor lentitud en la obtención de resultados, dando como consecuencia un sistema más lento. Entonces se puede concluir que con el método utilizado se gana en velocidad aunque se pierde en precisión, lo que en este caso no es tan importante por la resolución de la respuesta (1 BYTE).

- Sería aconsejable realizar la medición del voltaje generado utilizando un convertidor trifásico no controlado (así se tomarían muestras de las tres fases), ya que de esta manera el tiempo de retardo en el filtro asociado sería mucho menor que el que se tiene en el caso del trabajo realizado

en el cual únicamente se utilizó la rectificación en onda completa del voltaje de una de las fases y neutro.

- El equipo construido tiene un menor costo que los comúnmente encontrados en el mercado, considerando además las ventajas que este ofrece, por lo que podría ser una buena alternativa de competición en el mercado.

- En el presente trabajo se dejan realizadas las rutinas tanto para lectura de corriente de carga del generador, así como la de lectura del factor de potencia las cuales podrán ser utilizadas para cuando se desee realizar la operación de dos generadores en paralelo.

- Para el circuito de adquisición de datos, es recomendable que las señales que entran al conversor A/D y posteriormente al microcontrolador sean lo más exactas posibles y sin ruido porque, debido a la velocidad de conversión este ruido puede provocar errores en la medición y en el caso de variables importantes esto puede provocar serias alteraciones en la operación del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- 1 SAY M. G., " Alternating Current Machine ", Pitman Publishing limited, III edition, 1977.
- 2 ANDERSON P. M., FOUAD A. A., " Power System Control and stability ", The IOWA State University press, 1977.
- 3 MULUKUTA SARMA, " Synchronous Machine their Theory, Stability and Excitation Systems ", Northeastern University.
- 4 LEDESMA B., ALVARADO D., " Diseño y construcción de una Excitatriz Estática para un generador de 5 MVA ", E.P.N., Ecuador, 1990.
- 5 LEDESMA B., " Efectos de la Operación de los Convertidores Estáticos en la Red de Suministro ", E.P.N., Ecuador, 1990.
- 6 BOSE K., " Microcomputer Control of Power Electronics and Drives ", IEEE press, USA, 1988.
- 7 BOSE K., " Microprocessor-Based Design of a Firing Circuit for Three Phase Full Wave Thyristor Dual Converter ", IEEE press, USA, 1982.
- 8 BOSE K., " A Novel Microprocessor Based Controller for a Phase Controlled Rectifier Connected to a Weak AC System ", IEEE press, USA, 1985.
- 9 IEEE, " Standard Practices and Requirements for General Purpose Thyristor DC Drives ", IEEE press, USA.
- 10 SIEMENS, " Power Semiconductors Thyristors, Triacs, Diacs ", SIEMENS, 1975.
- 11 INTEL, " Embedded Microcontroller Handbook ", Intel Corp., USA, 1988.
- 12 ARGUELLO R. G., " Método de Determinación de los Parámetros en Régimen Permanente y Transitorio de una Máquina Síncrona ", E.P.N., Ecuador, 1974.

APENDICE A

APENDICE A

MODELO LINEALIZADO DE LA MAQUINA DE EXPERIMENTACION

Tomando en consideración los datos de la máquina sincrónica:¹²

$$S = 3.5 \text{ KVA.}$$

$$V = 230 \text{ V. (en conexión delta)}$$

$$I = 8.7 \text{ A.}$$

$$V_r = 110 \text{ V.}$$

$$f = 60 \text{ Hz.}$$

$$n = 1800 \text{ rpm.}$$

$$\cos \phi = 0.80$$

$$\phi = 36.87^\circ$$

$$L_d = 71 \text{ mH}$$

$$L_d' = 18.1 \text{ mH.}$$

$$L_q = 42 \text{ mH.}$$

$$r = 1.22 \Omega.$$

$$R_r = 52.5 \Omega.$$

$$\tau_{do}' = 360 \text{ ms.}$$

$$J = 0.0160 \text{ Kg m}^2. \text{ (Momento de inercia)}$$

como dato de impedancia de la línea de alimentación:

¹²ARGUELLO R. G.,

" Método de Determinación de los Parámetros en Régimen Permanente y Transitorio de una Máquina Sincrónica ", E.P.N., 1974.

$$R_c = 28.12 \text{ m}\Omega.$$

$$L_c = 1.492 \text{ mH}.$$

para tratar al sistema en por unidad se toman las siguientes bases:

$$S_B = 3.5 \text{ KVA} / 3 = 1.666 \text{ KVA}.$$

$$I_B = 8.7 \text{ A}.$$

$$V_B = 230 \text{ V} / \sqrt{3} = 132.790 \text{ V}.$$

$$t_B = 1 / (2 * \pi * 60 \text{ Hz.}) = 2.652 \text{ ms}.$$

$$R_B = 132.790 / 8.7 \text{ A} = 15.263 \Omega.$$

$$L_B = V_B * t_B / I_B = 132.79 \text{ V} * 2.652 \text{ ms} / 8.7 \text{ A}$$

$$L_B = 0.0405 \text{ H}.$$

las constantes expresadas en por unidad son:

$$L_{dpu} = 71 \text{ mH} / 0.0405 = 1.753$$

$$L_{dpu}' = 0.447$$

$$L_{qpu} = 1.037$$

$$r_{pu} = 0.07993$$

$$R_{rpu} = 3.439$$

$$\tau_{dopu}' = 135.746$$

$$R_c = 0.0018$$

$$L_c = 0.0368$$

$$Z_c = 0.03684 / 87.2^\circ$$

el voltaje terminal $V_{apu} = V_{tpu} = 1.00$

$$I_a = V_a / \cos\phi = 1.00 / 0.80$$

$$I_{apu} = 1.25$$

$$I_{rpu} = I_a * \cos\phi = 1.00$$

$$I_{xpu} = -I_a * \text{sen}\phi = -0.75$$

$$\text{tg}(\delta-\beta) = (L_q * I_r + r * I_x) / (V_u + r * I_r - L_q * I_x)$$

$$\operatorname{tg}(\delta-\beta) = 0.52595$$

$$\delta-\beta = 27.742^\circ$$

$$\delta-\beta+\phi = 64.612^\circ$$

$$I_{qpu} = I_a \cos(\delta-\beta+\phi) = 0.536$$

$$I_{dpu} = -I_a \operatorname{sen}(\delta-\beta+\phi) = -1.129$$

$$V_{qpu} = V_a * \cos(\delta-\beta) = 0.885$$

$$V_{dpu} = -V_a * \operatorname{sen}(\delta-\beta) = -0.465$$

$$V_\infty = V_a - Z_e * I_a$$

$$V_\infty / \alpha = 1.00 / \beta - 0.03684 / 87.2^\circ * 1.25 / \beta - \phi$$

$$V_\infty / \alpha = 1.00 / \beta - 0.04605 / \beta + 50.33^\circ$$

$$V_\infty / \alpha - \beta = 1.00 - 0.04605 / 50.33^\circ$$

$$V_\infty / \alpha - \beta = 0.9713 / -2.091^\circ$$

$$V_\infty = 0.9713$$

$$\beta - \alpha = 2.901^\circ$$

$$\delta - \alpha = 29.833^\circ$$

$$E_{pu} = V_q + r * I_q - L_d * I_d$$

$$E_{pu} = E_{qo}' = 2.907$$

$$E_{qao} = E_{qo}' - (L_q - L_d') * I_d$$

$$E_{qao} = 3.573$$

$$W_k = J \omega_m^2 / 2 \text{ (Energía cinética)}$$

$$W_k = 0.016 \text{ (Kg m}^2\text{)} * 1800 \text{ (rpm)} / 2$$

$$W_k = 284.317 \text{ Kg m}^2\text{/s}^2$$

$$H = W_k / S_{B3}$$

$$H = 284.317 \text{ (Kg m}^2\text{/s}^2\text{)} / (3.5 * 0.8) \text{ KW}$$

$$H = 0.101541 \text{ s}$$

$$H_{pu} = 38.288$$

encontrando los valores de las constantes se tiene:

$$K_1 = \frac{1}{R_e^2 + (X_q + X_e) * (X_d' + X_e)}$$

$$K_1 = 1.925$$

$$K_2 = K_1 * [R_e * E_{qa0} + I_{q0} * (R_e^2 + (X_q + X_e)^2)]$$

$$K_2 = 1.202$$

$$K_3 = \frac{1}{1 + K_1 * (X_d - X_d') * (X_q + X_e)}$$

$$K_3 = 0.270$$

$$K_4 = V_\infty * K_1 * (X_d - X_d') * [(X_q + X_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha) - R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$K_4 = 1.300$$

$$K_5 = \frac{K_1 * V_\infty * X_d' * V_{q0}}{V_{t0}} * [R_e * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) - (X_q + X_e) * \text{sen}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$- \frac{K_1 * V_\infty * X_q * V_{d0}}{V_{t0}} * [(X_d' + X_e) * \text{cos}(\delta_0 - \alpha) + R_e * \text{sen}(\delta_0 - \alpha)]$$

$$K_5 = -0.01482$$

$$K_6 = \frac{V_{q0} * [1 - K_1 * X_d' * (X_q + X_e)]}{V_{t0}} - \frac{K_1 * X_q * R_e * V_{d0}}{V_{t0}}$$

$$K_6 = 0.06895$$

considerando la función de transferencia simplificada y reemplazando valores se tiene:

$$\frac{V_t}{E_{FD}} = \frac{\frac{K_6}{\tau'_{do}} * (S^2 + \frac{K_1 * K_6 - K_2 * K_5}{2 * H * K_6})}{[S^3 + \frac{S^2}{K_3 * \tau'_{do}} + \frac{S * K_1}{2 * H} + \frac{K_1 - K_2 * K_3 * K_4}{2 * H * \tau'_{do} * K_3}]}$$

$$\frac{V_t}{E_{FD}} = \frac{0.000508 * [S^2 + 0.028512]}{S^3 + 0.02728 * S^2 + 0.025138 * S + 0.00053555}$$

APENDICE B

APENDICE B

DIAGRAMAS DE BODE Y LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES DEL SISTEMA A SER COMPENSADO.

La función de transferencia de la máquina sincrónica expresada en por unidad obtenida en el Apéndice A, se muestra a continuación:

$$\frac{V_E}{E_{FD}} = \frac{0.000508 * [S^2 + 0.028512]}{S^3 + 0.02728 * S^2 + 0.025138 * S + 0.00053555}$$

donde los polos y ceros de la función de transferencia son los siguientes:

polos: $s = -0.021411$

$$s = -0.002934 + j 0.158125$$

$$s = -0.002934 - j 0.158125$$

ceros: $s = -j 0.168855$

$$s = -j 0.168855$$

todas las raices están ubicadas en el semiplano izquierdo del lugar geométrico (Figura No.B.1), además se observa que los polos están muy cercanos al eje imaginario, por lo que la respuesta del sistema es oscilatoria, de este gráfico se determina que se tiene una ganancia crítica la cual tiene un valor igual a 74. La compensación del sistema se la realiza de tal manera que uno de los ceros de la acción de control proporcional-integral-derivativa se ubique muy cercanamente al valor real de los polos conjugados, de tal manera de lograr que la respuesta del sistema disminuya su máximo sobreimpulso (se amortigue), mientras que el otro cero se le ubica a la derecha del cero anterior pero alejado de este y de los demás polos y ceros del sistema.

El controlador a utilizarse tiene la siguiente función de transferencia:

$$m(t) = KP * (1 + \frac{KI}{s} + KD * s) * e(t)$$

tomando en consideración lo anteriormente expuesto se escogen como constantes del controlador:

$$KP = 110.3011$$

$$KI = 0.91$$

$$KD = 0.05$$

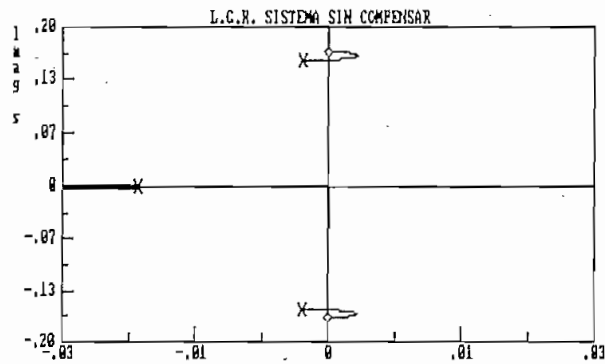
obteniéndose como raíces de la ecuación del controlador:

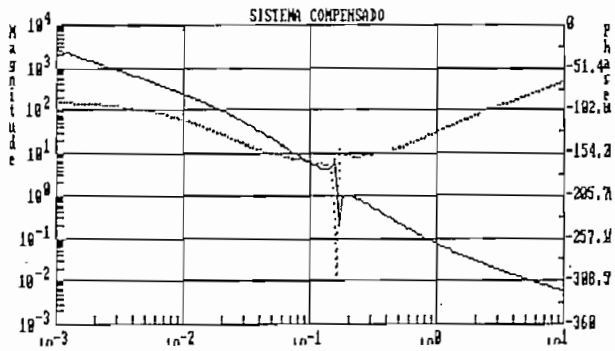
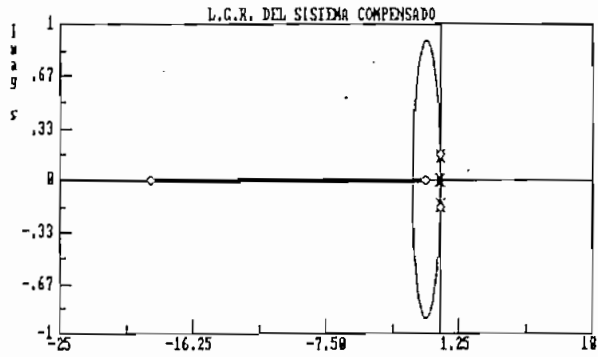
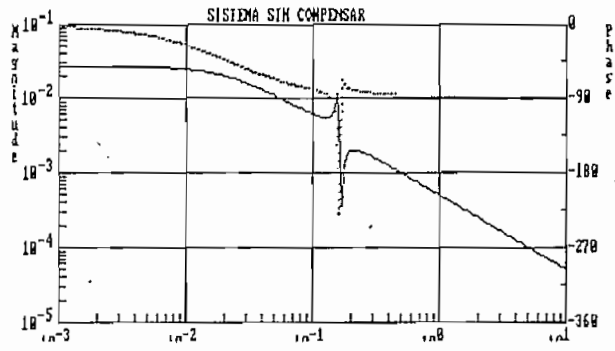
ceros: $s = -0.956$

$$s = -19.044$$

polo: $s = 0$

con estas constantes se obtiene un respuesta adecuada del sistema lo que se puede observar tanto en el en el lugar geométrico de las raíces como en el diagrama de respuesta de frecuencia (BODE).





APENDICE C

APENDICE C

LISTADO DEL PROGRAMA EN ASSEMBLER

```

;+++++
;ASIGNACION DE ETIQUETAS A CADA UNA DE LAS CONSTANTES
;UTILIZADAS EN EL PROGRAMA
;+++++
;
004B =      KPH      EQU  4BH      ;MSB CTE. PROPORCIONAL
004C =      KPM      EQU  4CH      ;_SB CTE. PROPORCIONAL
004D =      KPL      EQU  4DH      ;LSB CTE. PROPORCIONAL
;
004E =      KIH      EQU  4EH      ;MSB CTE. INTEGRAL
004F =      KIL      EQU  4FH      ;LSB CTE. INTEGRAL
;
0050 =      KDH      EQU  50H      ;MSB CTE. DERIVATIVA
0051 =      KDL      EQU  51H      ;LSB CTE. DERIVATIVA
;
0052 =      KRIH     EQU  52H      ;MSB CTE. REALIM. DE CORRIENTE
0053 =      KRIL     EQU  53H      ;LSB CTE. REALIM. DE CORRIENTE
;
0054 =      VREF     EQU  54H      ;VOLTAJE DE REFERENCIA
0055 =      VMED     EQU  55H      ;VOLTAJE MEDIDO
;
0056 =      SYKH     EQU  56H      ;LOCALIDAD AUXILIAR LECTURA
0057 =      SYKL     EQU  57H      ;LOCALIDAD AUXILIAR LECTURA
;
0058 =      EK       EQU  58H      ;ERROR AL PERIODO (K)
0059 =      EKM1    EQU  59H      ;ERROR AL PERIODO (K-1)
005A =      EKM2    EQU  5AH      ;ERROR AL PERIODO (K-2)
;
005B =      CTE11    EQU  5BH      ;LOCALIDAD PARA ALAMACENAR
005C =      CTE12    EQU  5CH      ;UNA CONSTANTE PARA CUALQUIER
005D =      CTE13    EQU  5DH      ;ACCION DE CONTROL
005E =      CTE14    EQU  5EH
005F =      CTE15    EQU  5FH
;
0060 =      RA11     EQU  60H      ;RESULTADO DE UNA ACCION
0061 =      RA12     EQU  61H
0062 =      RA13     EQU  62H
0063 =      RA14     EQU  63H
0064 =      RA15     EQU  64H
;
0065 =      RA21     EQU  65H      ;RESULTADO DE UNA ACCION
0066 =      RA22     EQU  66H
0067 =      RA23     EQU  67H
0068 =      RA24     EQU  68H
0069 =      RA25     EQU  69H
;
006A =      RPIDK1   EQU  6AH      ;ACCION PID AL PERIODO (K)
006B =      RPIDK2   EQU  6BH
006C =      RPIDK3   EQU  6CH
006D =      RPIDK4   EQU  6DH
006E =      RPIDK5   EQU  6EH
;
006F =      RPIDKM11 EQU  6FH      ;ACCION PID AL PERIODO (K-1)
0070 =      RPIDKM12 EQU  70H
0071 =      RPIDKM13 EQU  71H
0072 =      RPIDKM14 EQU  72H
0073 =      RPIDKM15 EQU  73H
;
0074 =      ANGULO   EQU  74H      ;ANGULO DE ACTIVADO TIRISTORES
;
0075 =      LTEC     EQU  75H      ;CODIGO DE TECLA PRESIONADA
;
0076 =      SEC      EQU  76H      ;CODIGO DE FASE
;
0077 =      ICONV    EQU  77H      ;CORRIENTE MAXIMA DEL CONVERTOR
;
0078 =      ALFAMAX  EQU  78H      ;ANGULO DE ACTIVADO MAXIMO
0079 =      ALFAMAN  EQU  79H      ;ANGULO PARA ACTIVADO MANUAL
;

```

```

007A =      AUX1      EQU    7AH    ;LOCALIDADES AUXILIARES
007B =      AUX2      EQU    7BH
007C =      AUX3      EQU    7CH
007D =      AUXH      EQU    7DH
007E =      AUXM      EQU    7EH
007F =      AUXL      EQU    7FH
;
0096 =      FFASE     BIT     P1.6   ;SEÑAL DE AUSENCIA DE FASE
0097 =      AUTOMAT   BIT     P1.7   ;SEÑAL DE OPERACION AUTOMATICA
00B4 =      FOUTR     BIT     P3.4   ;SEÑAL FRECUENCIA OUT RANGE
;
;+++++
;INICIALIZACION DE CONSTANTES Y RUTINAS DE INTERRUPCION
;+++++
;
0000          ORG     0000H
                INICIO:
0000 8016          SJMP  RESTART
0003          ORG     0003H
0003 C289          CLR   IE0
0005 020700        LJMP  ACTIVAR
000B          ORG     000BH
000B C28D          CLR   TF0
000D 020666        LJMP  TIRISTOR
0013          ORG     0013H
0013 C28B          CLR   IE1
0015 020800        LJMP  TECLADO
                RESTART:
0018 7820          MOV   R0,#20H
                BORRAR:
001A 7600          MOV   @R0,#00H
001C 08           INC   R0
001D B880FA        CJNE  R0,#80H,BORRAR
;
;+++++
;RUTINA PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE FASES
;LOS PINES DEL PORTICO 2 SIRVEN PARA ACTIVAR LOS TIRISTORES
;Y RECIBIR LAS SEÑALES DE SINCRONIZACION.
;P2.0 ----> GATE TIRISTOR FASE R
;P2.1 ----> GATE TIRISTOR FASE S
;P2.2 ----> GATE TIRISTOR FASE T
;P2.3 ----> SEÑAL DE CERO GRADOS PARA FASE R
;P2.4 ----> SEÑAL DE CERO GRADOS PARA FASE S
;P2.5 ----> SEÑAL DE CERO GRADOS PARA FASE T
;08H ----> CODIGO PARA RECONOCER LA FASE R
;10H ----> CODIGO PARA RECONOCER LA FASE S
;20H ----> CODIGO PARA RECONOCER LA FASE T
;P1.6 ----> SEÑAL DE FALLA DE FASE
;P1.7 ----> SEÑAL DE PARALELO/INDEPENDIENTE
;P3.4 ----> SEÑAL DE FRECUENCIA FUERA DE RANGO
;+++++
;
                SECUENCIA:
0020 7C00          MOV   R4,#00H    ;PUNTERO DE SECUENCIA (+)
0022 7D00          MOV   R5,#00H    ;PUNTERO DE SECUENCIA (-)
                SEC0:
0024 E5A0          MOV   A,P2
0026 5438          ANL   A,#38H
0028 B408F9        CJNE  A,#08H,SEC0    ;MASCARA DE FASE
002B 0C           INC   R4        ;CODIGO FASE R
002C 0D           INC   R5
                SEC1:
002D E5A0          MOV   A,P2
002F 5438          ANL   A,#38H
0031 B41003        CJNE  A,#10H,SEC2    ;CODIGO FASE S
0034 0C           INC   R4
0035 8008          SJMP  SEC4
                SEC2:
0037 B42003        CJNE  A,#20H,SEC3    ;CODIGO FASE T
003A 0D           INC   R5
003B 8013          SJMP  SEC5
                SEC3:
003D 80EE          SJMP  SEC1
                SEC4:
003F E5A0          MOV   A,P2
0041 5438          ANL   A,#38H
0043 B420F9        CJNE  A,#20H,SEC4    ;CODIGO FASE T
0046 0C           INC   R4
0047 BC0315        CJNE  R4,#03H,CONTINUE
004A D200          SETB  00H    ;BANDERA DE SECUENCIA (+)
004C C296          CLR   FFASE  ;SEÑAL DE AUSENCIA DE FASE
004E 800F          SJMP  CONTINUE
                SEC5:
0050 E5A0          MOV   A,P2
0052 5438          ANL   A,#38H

```

```

0054 B410F9      CJNE   A,#10H,SEC5      ;CODIGO FASE S
0057 0D          INC    R5
0058 BD0304      CJNE   R5,#03H,CONTINUE
005B C200        CLR    00H              ;BANDERA DE SECUENCIA (+)
005D C296        CLR    FFASE           ;SEÑAL DE AUSENCIA DE FASE

CONTINUE:
005F 309504      JNB    P1,5,CONTINUE1
0062 D20C        SETB  0CH
0064 8002        SJMP  CONTINUE2

0066 C20C        CONTINUE1:
                        CLR    0CH
CONTINUE2:
0068 758130      MOV    SP,#30H
006B 75A807      MOV    IE,#07H        ;HABILITAR INTERRUPTIONES
006E 758911      MOV    TMOD,#11H     ;ELECCION DE TIMERS
0071 758805      MOV    TCON,#05H    ;ATEN. INT. EXT.POR FLANCO
0074 75B80B      MOV    IP,#0BH      ;PRIORIDAD INTERRUPTIONES
0077 754B10      MOV    KPH,#10H     ;CONSTANTE PROPORCIONAL
007A 754CD4      MOV    KPM,#0D4H
007D 754DA3      MOV    KPL,#0A3H
0080 754E00      MOV    KIH,#00H     ;CONSTANTE INTEGRAL
0083 754F5B      MOV    KIL,#5BH
0086 755000      MOV    KDH,#00H     ;CONSTANTE DERIVATIVA
0089 755105      MOV    KDL,#05H
008C 755290      MOV    KRIH,#90H
008F 75537E      MOV    KRIL,#7EH
0092 755467      MOV    VREF,#67H    ;VOLTAJE DE REFERENCIA
0095 755500      MOV    VMED,#00H
0098 7577A0      MOV    ICONV,#0A0H  ;IMAX. PARA EL CONVERTOR
009B 757931      MOV    ALFAMAN,#31H
009E 7578C0      MOV    ALFAMAX,#0C0H ;ANGULO MAXIMO DE ACTIVADO
00A1 7559FF      MOV    EK1,#0FFH
00A4 7558FF      MOV    EK,#0FFH
00A7 D205        SETB  05H
00A9 D206        SETB  06H
00AB C297        CLR    AUTOMAT
00AD C2B4        CLR    FOUTR
00AF D2D3        SETB  RS0
00B1 C2D4        CLR    RS1
00B3 D2AF        SETB  EA
00B5 020100      LJMP  PRINCIPAL

RESETMAN:
00B8 75A0FF      MOV    P2,#0FFH
00BB 80FB        SJMP  RESETMAN

```

```

;+++++
;PROGRAMA PRINCIPAL
;+++++

```

```

0100          ORG    0100H
PRINCIPAL:
0100 856A6F      MOV    RPIDKM11,RPIDK1
0103 856B70      MOV    RPIDKM12,RPIDK2
0106 856C71      MOV    RPIDKM13,RPIDK3
0109 856D72      MOV    RPIDKM14,RPIDK4
010C 856E73      MOV    RPIDKM15,RPIDK5
010F 120179      LCALL LEER
0112 1203B5      LCALL ERROR
0115 300102      JNB   01H,PRIN1
0118 0100        AJMP  INICIO

PRIN1:
011A 120200      LCALL CONSTANTE1
011D 120400      LCALL ACCION1
0120 300102      JNB   01H,PRIN2
0123 0100        AJMP  INICIO

PRIN2:
0125 120300      LCALL CONSTANTE2
0128 120B00      LCALL ACCION2
012B 300102      JNB   01H,PRIN3
012E 0100        AJMP  INICIO

PRIN3:
0130 120500      LCALL SUMA
0133 300102      JNB   01H,PRIN4
0136 0100        AJMP  INICIO

PRIN4:
0138 300C21      JNB   0CH,PRIN7
013B 120900      LCALL DERIVA1
013E 12094B      LCALL DERIVA2
0141 300102      JNB   01H,PRIN5
0144 0100        AJMP  INICIO

PRIN5:
0146 1209B0      LCALL DERIVA3
0149 120A00      LCALL DERIVA4
014C 120B57      LCALL DERIVA5
014F 300102      JNB   01H,PRIN6

```

```

0152 0100          AJMP  INICIO
PRIN6:            LCALL  DERIVA6
0154 120C00        JNB   01H,PRIN7
0157 300102        AJMP  INICIO
015A 0100
PRIN7:            LCALL  ALFA
015C 120457        JNB   01H,PRIN8
015F 300102        AJMP  INICIO
0162 0100
PRIN8:            LCALL  ICONVERSOR
0164 120600        JNB   01H,PRIN9
0167 300102        AJMP  INICIO
016A 0100
PRIN9:            JNB   0BH,PRIN10
016C 300B08        LCALL  FRECUENCIA
016F 120596        JNB   01H,PRIN10
0172 300102        AJMP  INICIO
0175 0100
PRIN10:           AJMP  PRINCIPAL
0177 2100
;
;+++++
;RUTINA PARA LEER LOS DATOS DESDE EL CONVERSOR
;OBTENIENDO EL VALOR MEDIO DEL VOLTAJE
;+++++
;
LEER:
0179 C2A6          CLR   P2.6           ;HAB. LECTURA DE VOLTAJE
017B D2A7          SETB  P2.7
017D 1201C4        LCALL LECTURA
0180 E557          MOV   A,SYKL
0182 855755        MOV   VMED,SYKL
0185 B55403        CJNE  A,VREF,LEER1
0188 D20B          SETB  0BH
018A 22           RET
LEER1:
018B 400C          JC    LEER2
018D 748D          MOV   A,#8DH
018F 9557          SUBB  A,SYKL
0191 4020          JC    LEERF
0193 E557          MOV   A,SYKL
0195 9554          SUBB  A,VREF
0197 8005          SJMP  LEER3
LEER2:
0199 C3           CLR   C
019A E554          MOV   A,VREF
019C 9557          SUBB  A,SYKL
LEER3:
019E F57A          MOV   AUX1,A
01A0 E554          MOV   A,VREF
01A2 75F00A        MOV   B,#0AH
01A5 84           DIV  AB
01A6 C3           CLR   C
01A7 957A          SUBB  A,AUX1
01A9 4003          JC    LEER4
01AB D20B          SETB  0BH
01AD 22           RET
LEER4:
01AE C20B          CLR   0BH
01B0 C28E          CLR   TR1
01B2 22           RET
LEERF:
01B3 75A800        MOV   IE,#00H       ;DESHAB. INTERRUPCIONES
01B6 758800        MOV   TCON,#00H    ;OFF TIMERS
01B9 758900        MOV   TMOD,#00H    ;CONTROL DE TIMERS
01BC 75A0FF        MOV   P2,#0FFH     ;OFF TIRISTORES
01BF C20B          CLR   0BH
01C1 0200B8        LJMP  RESETMAN
;
;+++++
;RUTINA AUXILIAR DE LECTURA DE VOLTAJE Y CORRIENTE
;+++++
;
LECTURA:
01C4 755700        MOV   SYKL,#00H
01C7 755600        MOV   SYKH,#00H
01CA 79FF          MOV   R1,#0FFH
01CC 7A20          MOV   R2,#20H
LECT1:
01CE 74FF          MOV   A,#0FFH
01D0 F3           MOVX  @R1,A
01D1 20B5FD        JB    P3.5,$       ;INTERRUPCION A/D
01D4 00           NOP
01D5 00           NOP
01D6 E3           MOVX  A,@R1

```

```

01D7 C3          CLR      C
01D8 2557        ADD      A,SYKL
01DA F557        MOV      SYKL,A
01DC 7400        MOV      A,#00H
01DE 3556        ADDC    A,SYKH
01E0 F556        MOV      SYKH,A
01E2 DAEA        DJNZ   R2,LECT1
01E4 7A05        MOV      R2,#05H

LECT2:
01E6 C3          CLR      C
01E7 E556        MOV      A,SYKH
01E9 13          RRC     A
01EA F556        MOV      SYKH,A
01EC E557        MOV      A,SYKL
01EE 13          RRC     A
01EF F557        MOV      SYKL,A
01F1 DAF3        DJNZ   R2,LECT2
01F3 22          RET

;
;+++++
;RUTINA PARA ENCONTRAR EL VALOR DE LAS CONSTANTES DE LAS
;ACCIONES DE CONTROL.
;+++++
0200             ORG      0200H
CONSTANTE1:
0200 C3          CLR      C
0201 E54B        MOV      A,KPH
0203 13          RRC     A
0204 F57A        MOV      AUX1,A
0206 E54C        MOV      A,KPM
0208 13          RRC     A
0209 F57B        MOV      AUX2,A
020B E54D        MOV      A,KPL
020D 13          RRC     A
020E F57C        MOV      AUX3,A
;
;+++++
;CALCULO DE LA CONSTANTE PARA E(K)
;+++++
0210 C3          CLR      C
0211 7420        MOV      A,#20H
0213 254F        ADD      A,KIL
0215 F57F        MOV      AUXL,A
0217 744E        MOV      A,#4EH
0219 354E        ADDC    A,KIH
021B F57E        MOV      AUXM,A
021D 7400        MOV      A,#00H
021F 3400        ADDC    A,#00H
0221 F57D        MOV      AUXH,A
;
0223 E57C        MOV      A,AUX3
0225 857FF0      MOV      B,AUXL
0228 A4          MUL     AB
0229 F55F        MOV      CTE15,A
022B 85F05E      MOV      CTE14,B
;
022E E57B        MOV      A,AUX2
0230 857FF0      MOV      B,AUXL
0233 A4          MUL     AB
0234 255E        ADD      A,CTE14
0236 F55E        MOV      CTE14,A
0238 7400        MOV      A,#00H
023A 35F0        ADDC    A,B
023C 85F05D      MOV      CTE13,B
;
023F E57A        MOV      A,AUX1
0241 857FF0      MOV      B,AUXL
0244 A4          MUL     AB
0245 255D        ADD      A,CTE13
0247 F55D        MOV      CTE13,A
0249 7400        MOV      A,#00H
024B 35F0        ADDC    A,B
024D F55C        MOV      CTE12,A
;
024F E57C        MOV      A,AUX3
0251 857EF0      MOV      B,AUXM
0254 A4          MUL     AB
0255 255E        ADD      A,CTE14
0257 F55E        MOV      CTE14,A
0259 E5F0        MOV      A,B
025B 355D        ADDC    A,CTE13
025D F55D        MOV      CTE13,A
025F 7400        MOV      A,#00H

```

```

0261 355C      ADDC  A,CTE12
0263 F55C      MOV   CTE12,A
0265 7400      MOV   A,#00H
0267 3400      ADDC  A,#00H
0269 F55B      MOV   CTE11,A
;
026B E57B      MOV   A,AUX2
026D 857EF0    MOV   B,AUXM
0270 A4        MUL   AB
0271 255D      ADD   A,CTE13
0273 F55D      MOV   CTE13,A
0275 E5F0      MOV   A,B
0277 355C      ADDC  A,CTE12
0279 F55C      MOV   CTE12,A
027B 7400      MOV   A,#00H
027D 355B      ADDC  A,CTE11
027F F55B      MOV   CTE11,A
;
0281 E57A      MOV   A,AUX1
0283 857EF0    MOV   B,AUXM
0286 A4        MUL   AB
0287 255C      ADD   A,CTE12
0289 F55C      MOV   CTE12,A
028B E5F0      MOV   A,B
028D 355B      ADDC  A,CTE11
028F 403E      JC    CONST1
0291 F55B      MOV   CTE11,A
;
0293 E57C      MOV   A,AUX3
0295 857DF0    MOV   B,AUXH
0298 A4        MUL   AB
0299 255D      ADD   A,CTE13
029E F55D      MOV   CTE13,A
029D E5F0      MOV   A,B
029F 355C      ADDC  A,CTE12
02A1 F55C      MOV   CTE12,A
02A3 7400      MOV   A,#00H
02A5 355B      ADDC  A,CTE11
02A7 4026      JC    CONST1
02A9 F55B      MOV   CTE11,A
;
02AB E57B      MOV   A,AUX2
02AD 857DF0    MOV   B,AUXH
02B0 A4        MUL   AB
02B1 255C      ADD   A,CTE12
02B3 F55C      MOV   CTE12,A
02B5 E5F0      MOV   A,B
02B7 355B      ADDC  A,CTE11
02B9 4014      JC    CONST1
02BB F55B      MOV   CTE11,A
;
02BD E57A      MOV   A,AUX1
02BF 857DF0    MOV   B,AUXH
02C2 C2D2      CLR   OV
02C4 A4        MUL   AB
02C5 20D207    JB    OV,CONST1
02C8 255B      ADD   A,CTE11
02CA 4003      JC    CONST1
02CC F55B      MOV   CTE11,A
02CE 22        RET

CONST1:
02CF 785B      MOV   R0,#CTE11
02D1 7A05      MOV   R2,#05H

CONST11:
02D3 76FF      MOV   @R0,#0FFH
02D5 08        INC   R0
02D6 DAFB      DJNZ  R2,CONST11
02D8 22        RET
;
;+++++
;CALCULO DE LA CONSTANTE PARA E(K-1)
;+++++
0300          ORG   0300H

CONSTANTE2:
0300 C3        CLR   C
0301 E54E      MOV   A,K1H
0303 B44E02    CJNE  A,#4EH,CONST21
0306 8006      SJMP .CONST22

CONST21:
0308 5009      JNC   CONST23
030A D209      SETB 09H
030C 8005      SJMP CONST23

CONST22:
030E E54F      MOV   A,K1L
0310 B420F5    CJNE  A,#20H,CONST21

```



```

CONST23:
0313 C3          CLR      C
0314 200911     JB       09H,CONST24
0317 E54F      MOV     A,KIL
0319 9420      SUBB   A,#20H
031B F57F      MOV     AUXL,A
031D E54E      MOV     A,KIH
031F 944E      SUBB   A,#4EH
0321 F57E      MOV     AUXM,A
0323 757D00    MOV     AUXH,#00H
0326 800F      SJMP   CONST25

CONST24:
0328 7420      MOV     A,#20H
032A 954F      SUBB   A,KIL
032C F57F      MOV     AUXL,A
032E 744E      MOV     A,#4EH
0330 954E      SUBB   A,KIH
0332 F57E      MOV     AUXM,A
0334 757D00    MOV     AUXH,#00H

CONST25:
0337 E57C      MOV     A,AUX3
0339 857FF0    MOV     B,AUXL
033C A4        MUL    AB
033D F55F      MOV     CTE15,A
033F 85F05E    MOV     CTE14,B
;
0342 E57B      MOV     A,AUX2
0344 857FF0    MOV     B,AUXL
0347 A4        MUL    AB
0348 255E      ADD    A,CTE14
034A F55E      MOV     CTE14,A
034C E5F0      MOV     A,B
034E 3400      ADDC   A,#00H
0350 F55D      MOV     CTE13,A
;
0352 E57A      MOV     A,AUX1
0354 857FF0    MOV     B,AUXL
0357 A4        MUL    AB
0358 255D      ADD    A,CTE13
035A F55D      MOV     CTE13,A
035C E5F0      MOV     A,B
035E 3400      ADDC   A,#00H
0360 F55C      MOV     CTE12,A
;
0362 E57C      MOV     A,AUX3
0364 857EF0    MOV     B,AUXM
0367 A4        MUL    AB
0368 255E      ADD    A,CTE14
036A F55E      MOV     CTE14,A
036C E5F0      MOV     A,B
036E 355D      ADDC   A,CTE13
0370 F55D      MOV     CTE13,A
0372 7400      MOV     A,#00H
0374 355C      ADDC   A,CTE12
0376 F55C      MOV     CTE12,A
0378 7400      MOV     A,#00H
037A 3400      ADDC   A,#00H
037C F55B      MOV     CTE11,A
;
037E E57B      MOV     A,AUX2
0380 857EF0    MOV     B,AUXM
0383 A4        MUL    AB
0384 255D      ADD    A,CTE13
0386 F55D      MOV     CTE13,A
0388 E5F0      MOV     A,B
038A 355C      ADDC   A,CTE12
038C F55C      MOV     CTE12,A
038E 7400      MOV     A,#00H
0390 355B      ADDC   A,CTE11
0392 F55B      MOV     CTE11,A
;
0394 E57A      MOV     A,AUX1
0396 857EF0    MOV     B,AUXM
0399 A4        MUL    AB
039A C3        CLR    C
039B 255C      ADD    A,CTE12
039D F55C      MOV     CTE12,A
039F E5F0      MOV     A,B
03A1 355B      ADDC   A,CTE11
03A3 F55B      MOV     CTE11,A
;
03A5 200504    JB       05H,CONST26
03A8 200907    JB       09H,CONST27
03AB 22        RET
CONST26:

```

```

03AC 300903          JNB      09H,CONST27
03AF C209           CLR      09H
03B1 22            RET
                    CONST27:
03B2 D209          SETB   09H
03B4 22            RET
;
;+++++
;RUTINA PARA ENCONTRAR EL VALOR DEL ERROR AL RESTAR
;EL VALOR DE LA REFERENCIA CON EL DE LA SALIDA DEL
;CONVERSOR ANALOGO/DIGITAL.
;+++++
;
ERROR:
03B5 300506        JNB      05H,ERROR0
03B8 D20D          SETB   0DH           ;BANDERA E(K-2) < 0
03BA C205          CLR      05H
03BC 8002          SJMP   ERROR01
                    ERROR0:
03BE C20D          CLR      0DH
                    ERROR01:
03C0 300606        JNB      06H,ERROR1
03C3 D205          SETB   05H           ;BANDERA E(K-1) < 0
03C5 C206          CLR      06H           ;BANDERA E(K) < 0
03C7 8002          SJMP   ERROR2
                    ERROR1:
03C9 C205          CLR      05H
                    ERROR2:
03CB 85595A        MOV     EKM2,EKM1
03CE 855859        MOV     EKM1,EK
03D1 C3            CLR      C
03D2 E554          MOV     A,VREF
03D4 B55702        CJNE   A,SYKL,ERROR3
03D7 8009          SJMP   ERROR4
                    ERROR3:
03D9 4007          JC      ERROR4
03DB E554          MOV     A,VREF
03DD 9557          SUBB   A,SYKL
03DF F558          MOV     EK,A
03E1 22            RET
                    ERROR4:
03E2 C3            CLR      C
03E3 E557          MOV     A,SYKL
03E5 9554          SUBB   A,VREF
03E7 F558          MOV     EK,A
03E9 D206          SETB   06H
03EB 22            RET
;
;+++++
;RUTINA DE LA ACCION DE CONTROL E(K)
;+++++
;
0400              ORG      0400H
                    ACCION1:
0400 E558          MOV     A,EK
0402 85FF0         MOV     B,CTE15
0405 A4            MUL     AB
0406 F564          MOV     RA15,A
0408 85F063        MOV     RA14,B
;
040B E558          MOV     A,EK
040D 855EF0        MOV     B,CTE14
0410 A4            MUL     AB
0411 2563          ADD     A,RA14
0413 F563          MOV     RA14,A
0415 E5F0          MOV     A,B
0417 3400          ADDC   A,#00H
0419 F562          MOV     RA13,A
;
041B E558          MOV     A,EK
041D 855DF0        MOV     B,CTE13
0420 A4            MUL     AB
0421 2562          ADD     A,RA13
0423 F562          MOV     RA13,A
0425 7400          MOV     A,#00H
0427 35F0          ADDC   A,B
0429 F561          MOV     RA12,A
;
042B E558          MOV     A,EK
042D 855CF0        MOV     B,CTE12
0430 A4            MUL     AB
0431 2561          ADD     A,RA12
0433 F561          MOV     RA12,A
0435 7400          MOV     A,#00H
0437 35F0          ADDC   A,B

```

```
0439 F560      MOV      RA11,A
;
043B E558      MOV      A,EK
043D 855BF0    MOV      B,CTE11
0440 C2D2      CLR      OV
0442 A4        MUL      AB
0443 20D207    JB       OV,ACCION12
0446 2560      ADD      A,RA11
0448 4003      JC       ACCION12
044A F560      MOV      RA11,A
044C 22        RET
                ACCION12:
044D 7860      MOV      R0,#RA11
044F 7A05      MOV      R2,#05H
                ACCION13:
0451 76FF      MOV      @R0,#0FFH
0453 08        INC      R0
0454 DAFB      DJNZ    R2,ACCION13
0456 22        RET
;
;+++++
;ACCION PROPORCIONAL/INTEGRAL/DERIVATIVA.
;+++++
;
                ALFA:
0457 C3        CLR      C
0458 E56A      MOV      A,RPIDK1
045A B56F02    CJNE    A,RPIDKM11,ALFA1
045D 8006      SJMP    ALFA2
                ALFA1:
045F 4018      JC       ALFA3
0461 D207      SETB    07H
0463 8014      SJMP    ALFA3
                ALFA2:
0465 E56B      MOV      A,RPIDK2
0467 B570F5    CJNE    A,RPIDKM12,ALFA1
046A E56C      MOV      A,RPIDK3
046C B571F0    CJNE    A,RPIDKM13,ALFA1
046F E56D      MOV      A,RPIDK4
0471 B572EB    CJNE    A,RPIDKM14,ALFA1
0474 E56E      MOV      A,RPIDK5
0476 B573E6    CJNE    A,RPIDKM15,ALFA1
                ALFA3:
0479 200811    JB       08H,ALFA5
047C 786E      MOV      R0,#RPIDK5
047E 7973      MOV      R1,#RPIDKM15
0480 7A05      MOV      R2,#05H
0482 757A6E    MOV      AUX1,#RPIDK5
0485 120566    LCALL   ADICION
                ALFA4:
0488 C207      CLR      07H
048A C208      CLR      08H
048C 22        RET
                ALFA5:
048D 20070E    JB       07H,ALFA6
0490 7873      MOV      R0,#RPIDKM15
0492 796E      MOV      R1,#RPIDK5
0494 7A05      MOV      R2,#05H
0496 757A6E    MOV      AUX1,#RPIDK5
0499 120585    LCALL   SUBSTRACCION
049C 80EA      SJMP    ALFA4
                ALFA6:
049E 786A      MOV      R0,#RPIDK1
04A0 7A05      MOV      R2,#05H
                ALFA7:
04A2 7600      MOV      @R0,#00H
04A4 08        INC      R0
04A5 DAFB      DJNZ    R2,ALFA7
04A7 80DF      SJMP    ALFA4
;
;+++++
;RUTINA PARA SUMAR EL RESULTADO DE LA ACCION DE CONTROL
;+++++
;
0500           ORG      0500H
                SUMA:
0500 C3        CLR      C
0501 E560      MOV      A,RA11
0503 B56502    CJNE    A,RA21,SUMA1
0506 8006      SJMP    SUMA2
                SUMA1:
0508 4018      JC       SUMA3
050A D207      SETB    07H
050C 8014      SJMP    SUMA3
                SUMA2:
```

```

050E E561      MOV      A,RA12
0510 B566F5    CJNE     A,RA22,SUMA1
0513 E562      MOV      A,RA13
0515 B567F0    CJNE     A,RA23,SUMA1
0518 E563      MOV      A,RA14
051A B568EB    CJNE     A,RA24,SUMA1
051D E564      MOV      A,RA15
051F B569E6    CJNE     A,RA25,SUMA1

SUMA3:
0522 300916    JNB      09H,SUMA6
0525 300639    JNB      06H,SUMA10
0528 D208      SETB     08H

SUMA4:
052A 7864      MOV      R0,#RA15
052C 7969      MOV      R1,#RA25
052E 7A05      MOV      R2,#05H
0530 757A6E    MOV      AUX1,#RPIDK5
0533 120566    LCALL   ADICION

SUMA5:
0536 C207      CLR      07H
0538 C209      CLR      09H
053A 22        RET

SUMA6:
053B 3006EC    JNB      06H,SUMA4
053E 300712    JNB      07H,SUMA9
0541 D208      SETB     08H

SUMA7:
0543 7864      MOV      R0,#RA15
0545 7969      MOV      R1,#RA25
0547 7A05      MOV      R2,#05H
0549 757A6E    MOV      AUX1,#RPIDK5
054C 120585    LCALL   SUBSTRACCION
054F 80E5      SJMP    SUMA5

SUMA8:
0551 D208      SETB     08H

SUMA9:
0553 7869      MOV      R0,#RA25
0555 7964      MOV      R1,#RA15
0557 7A05      MOV      R2,#05H
0559 757A6E    MOV      AUX1,#RPIDK5
055C 120585    LCALL   SUBSTRACCION
055F 80D5      SJMP    SUMA5

SUMA10:
0561 3007ED    JNB      07H,SUMA8
0564 80DD      SJMP    SUMA7

```

```

;
;+++++
;RUTINAS AUXILIARES DE SUMA Y RESTA
;+++++
;

```

```

ADICION:
0566 C3        CLR      C
ADICION1:
0567 E6        MOV      A,@R0
0568 37        ADDC    A,@R1
0569 C008      PUSH    08H
056B A87A      MOV      R0,AUX1
056D F6        MOV      @R0,A
056E D008      POP     08H
0570 157A      DEC     AUX1
0572 18        DEC     R0
0573 19        DEC     R1
0574 DAF1      DJNZ   R2,ADICION1
0576 500C      JNC     ADICION3
0578 C3        CLR      C
0579 057A      INC     AUX1
057B A87A      MOV      R0,AUX1
057D 7A05      MOV      R2,#05H
ADICION2:
057F 76FF      MOV      @R0,#0FFH
0581 08        INC     R0
0582 DAFB      DJNZ   R2,ADICION2
ADICION3:
0584 22        RET

SUBSTRACCION:
0585 C3        CLR      C
SUBSTRA1:
0586 E6        MOV      A,@R0
0587 97        SUBB    A,@R1
0588 C008      PUSH    08H
058A A87A      MOV      R0,AUX1
058C F6        MOV      @R0,A
058D D008      POP     08H
058F 157A      DEC     AUX1

```

```

0591 18          DEC    R0
0592 19          DEC    R1
0593 DAF1        DJNZ   R2,SUBSTRA1
0595 22          RET
;
;+++++
;RUTINA PARA DETERMINAR SI LA FRECUENCIA SE ENCUENTRA DENTRO
;DEL MARGEN PERMITIDO,CASO CONTRARIO SE ENVIA SEÑAL PARA
;DESCONECTAR LA CARGA.
;60 Hz ± 10% (OCF3H)
;+++++
;
          FRECUENCIA:
0596 C3          CLR    C
0597 BD0C02      CJNE   R5,#0CH,FREC1
059A 8006        SJMP   FREC2

          FREC1:
059C 4007        JC     FREC3
059E D207        SETB  07H
05A0 8003        SJMP   FREC3

          FREC2:
05A2 BCF3F7      CJNE   R4,#0F3H,FREC1

          FREC3:
05A5 C3          CLR    C
05A6 30070A      JNB   07H,FREC4
05A9 EC          MOV   A,R4
05AA 94F3        SUBB  A,#0F3H
05AC FC          MOV   R4,A
05AD ED          MOV   A,R5
05AE 940C        SUBB  A,#0CH
05B0 FD          MOV   R5,A
05B1 8008        SJMP   FREC5

          FREC4:
05B3 74F3        MOV   A,#0F3H
05B5 9C          SUBB  A,R4
05B6 FC          MOV   R4,A
05B7 740C        MOV   A,#0CH
05B9 9D          SUBB  A,R5
05BA FD          MOV   R5,A

          FREC5:
05BB C3          CLR    C
05BC 7497        MOV   A,#97H
05BE 9C          SUBB  A,R4
05BF 7402        MOV   A,#02H
05C1 9D          SUBB  A,R5
05C2 5011        JNC   FFREC
05C4 75A800      MOV   IE,#00H
05C7 75A0FF      MOV   P2,#0FFH
05CA 758800      MOV   TCON,#00H
05CD 758900      MOV   TMOD,#00H
05D0 D2B4        SETB  FOUTR          ;FRECUENCIA BAJA
05D2 0200B8      LIMP  RESETMAN

          FFREC:
05D5 C2B4        CLR    FOUTR
05D7 C207        CLR    07H
05D9 22          RET
;
;+++++
;RUTINA PARA ESTABLECER EL VALOR DE LA CORRIENTE DEL CONVERSOR
;COMO VALOR MEDIO Y DETERMINAR SI SE ENCUENTRA DENTRO DE LOS
;RANGOS PERMITIDOS PARA UNA OPERACION ADECUADA DEL CONVERSOR
;+++++
;
0600          ORG    0600H
          ICONVERSOR:
0600 C2A6        CLR    P2.6          ;BITS HAB. LECTURA ICONV.
0602 C2A7        CLR    P2.7
0604 1201C4      LCALL  LECTURA
0607 C3          CLR    C
0608 E577        MOV   A,ICONV
060A B55702      CJNE  A,SYKL,ICONV1
060D 801D        SJMP  ICONV3

          ICONV1:
060F 501B        JNC   ICONV3
0611 C3          CLR    C
0612 E557        MOV   A,SYKL
0614 9577        SUBB  A,ICONV
0616 F57F        MOV   AUXL,A
0618 85777D      MOV   AUXH,ICONV
061B 7B02        MOV   R3,#02H          ;TOLERANCIA 50%

          ICONV2:
061D C3          CLR    C
061E E57D        MOV   A,AUXH
0620 13          RRC   A
0621 F57D        MOV   AUXH,A

```

```

0623 DBF8      DJNZ  R3,ICONV2
0625 C3        CLR   C
0626 E57D      MOV   A,AUXH
0628 957F      SUBB  A,AUXL
062A 402E      JC    ICONV6

ICONV3:
062C E56A      MOV   A,RPIDK1
062E 9557      SUBB  A,SYKL
0630 F57F      MOV   AUXL,A
0632 5003      JNC   ICONVF
0634 757F00    MOV   AUXL,#00H

ICONVF:
0637 E57F      MOV   A,AUXL
0639 8553F0    MOV   B,KRIL
063C A4        MUL   AB
063D 85F07A    MOV   AUX1,B
0640 E57F      MOV   A,AUXL
0642 8552F0    MOV   B,KRIH
0645 A4        MUL   AB
0646 C3        CLR   C
0647 257A      ADD   A,AUX1
0649 7400      MOV   A,#00H
064B 35F0      ADDC  A,B
;
064D 300A05    JNB   0AH,ICONV5
0650 F574      MOV   ANGULO,A

ICONV4:
0652 C207      CLR   07H
0654 22        RET

ICONV5:
0655 857974    MOV   ANGULO,ALFAMAN
0658 80F8      SJMP  ICONV4

ICONV6:
065A 75A800    MOV   IE,#00H
065D 758800    MOV   TCON,#00H
0660 75A0FF    MOV   P2,#0FFH
0663 0200B8    LJMP  RESETMAN
;
;+++++
;RUTINA PARA EL ACTIVADO DE CADA TIRISTOR
;+++++
;
;
;TIRISTOR:
0666 C0D0      PUSH  PSW
0668 C0E0      PUSH  ACC
066A C28C      CLR   TR0
066C C2A9      CLR   ETO          ;DESHAB. TIMER0 OVERFLOW
066E C2D3      CLR   RS0
0670 C2D4      CLR   RS1
0672 7845      MOV   R0,#45H
0674 200404    JB    04H,TIRISTOR1
0677 7C00      MOV   R4,#00H
0679 D204      SETB 04H

TIRISTOR1:
067B 300024    JNB   00H,TIRISTOR2
;
;SECUENCIA POSITIVA
;
067E BC0005    CJNE  R4,#00H,T10
0681 760D      MOV   @R0,#0DH      ;ON TIRISTOR S
0683 0C        INC   R4
0684 800E      SJMP  T30

T10:
0686 BC0105    CJNE  R4,#01H,T20
0689 760B      MOV   @R0,#0BH      ;ON TIRISTOR T
068B 0C        INC   R4
068C 8006      SJMP  T30

T20:
068E 760E      MOV   @R0,#0EH      ;ON TIRISTOR R
0690 00        NOP
0691 00        NOP
0692 C204      CLR   04H

T30:
0694 E5A0      MOV   A,P2
0696 4430      ORL   A,#30H
0698 D6        XCHD  A,@R0
0699 F5A0      MOV   P2,A
069B D0E0      POP   ACC
069D D0D0      POP   PSW
069F D2A9      SETB  ETO          ;HABILITAR TIMER 0 OVERFLOW
06A1 32        RETI
;
;SECUENCIA NEGATIVA
;
;TIRISTOR2:

```

```

06A2 BC0005      CJNE   R4,#00H,T40
06A5 760E        MOV    @R0,#0EH      ;ON TIRISTOR R
06A7 0C          INC    R4
06A8 80EA        SJMP   T30

T40:
06AA BC0105      CJNE   R4,#01H,T50
06AD 760B        MOV    @R0,#0BH      ;ON TIRISTOR T
06AF 0C          INC    R4
06B0 80E2        SJMP   T30

T50:
06B2 760D        MOV    @R0,#0DH      ;ON TIRISTOR S
06B4 C204        CLR    04H
06B6 80DC        SJMP   T30
;
;+++++
;RUTINAS AUXILIARES DE TECLADO
;+++++
;
INCREMENTO:
06B8 C3          CLR    C
INCREMENTO1:
06B9 E7          MOV    A,@R1
06BA 3A          ADDC  A,R2
06BB F7          MOV    @R1,A
06BC 19          DEC    R1
06BD 7A00        MOV    R2,#00H
06BF DBF8        DJNZ  R3,INCREMENTO1
06C1 22          RET

DECREMENTO:
06C2 C3          CLR    C
DECREMENTO1:
06C3 E7          MOV    A,@R1
06C4 9A          SUBB  A,R2
06C5 F7          MOV    @R1,A
06C6 19          DEC    R1
06C7 7A00        MOV    R2,#00H
06C9 DBF8        DJNZ  R3,DECREMENTO1
06CB 22          RET

;+++++
;RUTINA PARA DETERMINAR QUE TIRISTOR SE DEBE ACTIVAR
;Y CARGAR EN EL TIMER EL VALOR DEL RETARDO DE TIEMPO
;(ANGULO DE ACTIVADO)
;+++++
;
0700             ORG    0700H
ACTIVAR:
0700 C0D0        PUSH  PSW
0702 C0E0        PUSH  ACC
0704 C2A8        CLR    EX0
0706 C2D3        CLR    RS0
0708 C2D4        CLR    RS1
070A E5A0        MOV    A,P2
070C 5438        ANL   A,#38H      ;MASCARA DE FASE
070E C0E0        PUSH  ACC
0710 E574        MOV    A,ANGULO    ;RPIDK
0712 C3          CLR    C
0713 9578        SUBB  A,ALFAMAX
0715 10D705      JBC   CY,ACTV0
0718 857874      MOV    ANGULO,ALFAMAX
071B 8004        SJMP  ACTV1

ACTV0:
071D 00          NOP
071E 00          NOP
071F 00          NOP
0720 00          NOP

ACTV1:
0721 D0E0        POP    ACC
0723 209471      JB    P1.4,ACTV8
0726 B40002      CJNE  A,#00H,ACTV2
0729 806C        SJMP  ACTV8

ACTV2:
072B 30007E      JNB   00H,ACTIVARI ;SECUENCIA (+)
072E 200327      JB    03H,ACTV6    ;TI SE ENVIO A ACTIVAR
0731 200209      JB    02H,ACTV3    ;LLEGA FASE R
0734 757610      MOV    SEC,#10H
0737 7D03        MOV    R5,#03H
0739 D202        SETB  02H
073B 8006        SJMP  ACTV4

ACTV3:
073D 00          NOP
073E 00          NOP
073F 00          NOP
0740 00          NOP

```

```

0741 00      NOP
0742 00      NOP

ACTV4:
0743 B5760E  CJNE  A,SEC,ACTV5
0746 120BAF  LCALL TIMER
0749 C202    CLR   02H
074B D203    SETB 03H
074D E576    MOV  A,SEC
074F 23     RL   A
0750 F576    MOV  SEC,A
0752 8020    SJMP ACTV7

ACTV5:
0754 DD1E    DJNZ  R5,ACTV7
0756 803F    SJMP ACTV8

ACTV6:
0758 00      NOP
0759 00      NOP
075A 00      NOP
075B 00      NOP
075C 00      NOP
075D 00      NOP
075E 00      NOP
075F 00      NOP
0760 B57634  CJNE  A,SEC,ACTV8
0763 120BAF  LCALL TIMER
0766 E576    MOV  A,SEC
0768 03     RR   A
0769 03     RR   A
076A F576    MOV  SEC,A
076C B40205  CJNE  A,#02H,ACTV7
076F 757610  MOV  SEC,#10H
0772 C203    CLR   03H

ACTV7:
0774 300B19  JNB   0BH,ACTVFIN
0777 20100C  JB    10H,ACTVF
077A 758D00  MOV  TH1,#00H
077D 758B00  MOV  TL1,#00H
0780 D28E    SETB TR1
0782 D210    SETB 10H
0784 800A    SJMP ACTVFIN

ACTVF:
0786 C28E    CLR   TR1
0788 858B0C  MOV  0CH,TL1      ;R4 DEL BANCO 2
078B 858D0D  MOV  0DH,TI11     ;R5 DEL BANCO 2
078E C210    CLR   10H

ACTVFIN:
0790 D0E0    POP  ACC
0792 D0D0    POP  PSW
0794 D2A8    SETB EX0
0796 32     RETI

ACTV8:
0797 75A800  MOV  IE,#00H      ;DESHAB. NTERRUPCIONES
079A 758800  MOV  TCON,#00H    ;OFF TIMERS
079D 758900  MOV  TMOD,#00H   ;CONTROL DE TIMERS
07A0 75A0FF  MOV  P2,#0FFH    ;OFF TIRISTORES
07A3 D296    SETB FFASE       ;INDICACION EXT. DE ALLA
07A5 D201    SETB 01H        ;BANDERA DE FALLA DE FASE
07A7 D0E0    POP  ACC
07A9 D0D0    POP  PSW
07AB 32     RETI

ACTVAR1:
07AC 200328  JB    03H,ACTV12
07AF 200209  JB    02H,ACTV9
07B2 757608  MOV  SEC,#08H
07B5 7D03    MOV  R5,#03H
07B7 D202    SETB 02H
07B9 8006    SJMP ACTV10

ACTV9:
07BB 00      NOP
07BC 00      NOP
07BD 00      NOP
07BE 00      NOP
07BF 00      NOP
07C0 00      NOP

ACTV10:
07C1 B5760F  CJNE  A,SEC,ACTV11
07C4 120BAF  LCALL TIMER
07C7 C202    CLR   02H
07C9 D203    SETB 03H
07CB E576    MOV  A,SEC
07CD 23     RL   A
07CE 23     RL   A
07CF F576    MOV  SEC,A
07D1 80A1    SJMP ACTV7

ACTV11:

```



```

07D3 DD9F      DJNZ  R5,ACTV7
07D5 80C0      SJMP  ACTV8
ACTV12:
07D7 00        NOP
07D8 00        NOP
07D9 00        NOP
07DA 00        NOP
07DB 00        NOP
07DC 00        NOP
07DD 00        NOP
07DE 00        NOP
07DF B576B5    CJNE  A,SEC,ACTV8
07E2 120BAF    LCALL TIMER
07E5 E576      MOV   A,SEC
07E7 03        RR    A
07E8 F576      MOV   SEC,A
07EA B40887    CJNE  A,#08H,ACTV7
07ED 757608    MOV   SEC,#08H
07F0 C203      CLR   03H
07F2 8080      SJMP  ACTV7
;
;+++++
;RUTINA PARA LEER LOS DATOS DESDE EL TECLADO
;+++++
;
0800          ORG   0800H
TECLADO:
080C C0E0      PUSH  ACC
0802 C0D0      PUSH  PSW
804  C2AA      CLR   EX1
0806 C2D3      CLR   RS0
0808 C2D4      CLR   RS1
080A 7B30      MOV   R3,#30H
LEERT1:
080C E590      MOV   A,P1
080E 540F      ANL   A,#0FH           ;MASCARA DE TECLA
0810 F575      MOV   LTEC,A
0812 DBF8      DJNZ  R3,LEERT1
0814 7B30      MOV   R3,#30H
LEERT2:
0816 E590      MOV   A,P1
0818 540F      ANL   A,#0FH
081A B40F02    CJNE  A,#0FH,LEERT3
081D 8002      SJMP  LEERT4
LEERT3:
081F DBF5      DJNZ  R3,LEERT2
LEERT4:
0821 E575      MOV   A,LTEC
0823 B40123    CJNE  A,#01H,TEC11
0826 300A10    JNB   0AH,TECM11
0829 7954      MOV   R1,#VREF
082B 7A01      MOV   R2,#01H
082D 7B01      MOV   R3,#01H
082F 1206B8    LCALL INCREMENTO
0832 506B      JNC   FINTEC
0834 7554FF    MOV   VREF,#0FFH
0837 8066      SJMP  FINTEC
TECM11:
0839 7979      MOV   R1,#ALFAMAN
083B 7A01      MOV   R2,#01H
083D 7B01      MOV   R3,#01H
083F 1206B8    LCALL INCREMENTO
0842 505B      JNC   FINTEC
0844 7579FF    MOV   ALFAMAN,#0FFH
0847 8056      SJMP  FINTEC
TEC11:
0849 B40223    CJNE  A,#02H,TEC22
084C 300A10    JNB   0AH,TECM22
084F 7954      MOV   R1,#VREF
0851 7A01      MOV   R2,#01H
0853 7B01      MOV   R3,#01H
0855 1206C2    LCALL DECREMENTO
0858 5045      JNC   FINTEC
085A 755400    MOV   VREF,#00H
085D 8040      SJMP  FINTEC
TECM22:
085F 7979      MOV   R1,#ALFAMAN
0861 7A01      MOV   R2,#01H
0863 7B01      MOV   R3,#01H
0865 1206C2    LCALL DECREMENTO
0868 5035      JNC   FINTEC
086A 757900    MOV   ALFAMAN,#00H
086D 8030      SJMP  FINTEC
TEC22:
086F B40316    CJNE  A,#03H,TEC33

```

```

0872 794D      MOV     R1,#KPL
0874 7A0A      MOV     R2,#0AH
0876 7B03      MOV     R3,#03H
0878 1206B8    LCALL  INCREMENTO
087B 5022      JNC    FINTEC
087D 754BFF    MOV     KPH,#OFFH
0880 754CFF    MOV     KPM,#OFFH
0883 754DFF    MOV     KPL,#OFFH
0886 8017      SJMP   FINTEC

TEC33:
0888 B4041B    CJNE   A,#04H,TEC44
088B 794D      MOV     R1,#KPL
088D 7A0A      MOV     R2,#0AH
088F 7B03      MOV     R3,#03H
0891 1206C2    LCALL  DECREMENTO
0894 5009      JNC    FINTEC
0896 754B00    MOV     KPH,#00H
0899 754C00    MOV     KPM,#00H
089C 754D00    MOV     KPL,#00H

FINTEC:
089F D0D0      POP     PSW
08A1 D0E0      POP     ACC
08A3 D2AA      SETB   EX1
08A5 32        RETI

TEC44:
08A6 B40513    CJNE   A,#05H,TEC55
08A9 794F      MOV     R1,#KIL
08AB 7A01      MOV     R2,#01H
08AD 7B02      MOV     R3,#02H
08AF 1206B8    LCALL  INCREMENTO
08B2 50EB      JNC    FINTEC
08B4 754EFF    MOV     KIH,#OFFH
08B7 754FFF    MOV     KIL,#OFFH
08BA 80E3      SJMP   FINTEC

TEC55:
08BC B40613    CJNE   A,#06H,TEC66
08BF 794F      MOV     R1,#KIL
08C1 7A01      MOV     R2,#01H
08C3 7B02      MOV     R3,#02H
08C5 1206C2    LCALL  DECREMENTO
08C8 50D5      JNC    FINTEC
08CA 754E00    MOV     KIH,#00H
08CD 754F00    MOV     KIL,#00H
08D0 80CD      SJMP   FINTEC

TEC66:
08D2 B40712    CJNE   A,#07H,TEC77
08D5 200A09    JB     0AH,TECM66
08D8 855554    MOV     VREF,VMED
08DB D20A      SETB   0AH
08DD D297      SETB   AUTOMAT
08DF 80BE      SJMP   FINTEC

TECM66:
08E1 C20A      CLR     0AH
08E3 C297      CLR     AUTOMAT
08E5 80B8      SJMP   FINTEC

TEC77:
08E7 B408B5    CJNE   A,#08H,FINTEC
08EA 75A800    MOV     IE,#00H
08ED 758800    MOV     TCON,#00H
08F0 75A0FF    MOV     P2,#OFFH
08F3 0200B8    LJMP   RESETMAN
;
;+++++
;RUTINAS DE LA ACCION DERIVATIVA
;+++++
;
0900          ORG     0900H
DERIVA1:
0900 C3        CLR     C
0901 E558      MOV     A,EK
0903 B55A02    CJNE   A,EKM2,DER11
0906 8004      SJMP   DER12

DER11:
0908 4002      JC     DER12
090A D207      SETB   07H

DER12:
090C 300615    JNB    06H,DER14
090F 300D32    JNB    0DH,DER18
0912 D20E      SETB   0EH

DER13:
0914 C3        CLR     C
0915 E558      MOV     A,EK
0917 255A      ADD    A,EKM2
0919 F57B      MOV     AUX2,A
091B 7400      MOV     A,#00H

```

```

091D 3400      ADDC  A,#00H
091F F57A      MOV   AUX1,A
                DER1F:
0921 C207      CLR   07H
0923 22        RET
                DER14:
0924 300DED    JNB  0DH,DER13
0927 30070C    JNB  07H,DER16
                DER15:
092A C3        CLR   C
092B E558      MOV   A,EK
092D 955A      SUBB  A,EKM2
092F F57B      MOV   AUX2,A
0931 757A00    MOV   AUX1,#00H
0934 80EB      SJMP  DER1F
                DER16:
0936 D20E      SETB  0EH
                DER17:
0938 C3        CLR   C
0939 E55A      MOV   A,EKM2
093B 9558      SUBB  A,EK
093D F57B      MOV   AUX2,A
093F 757A00    MOV   AUX1,#00H
0942 80DD      SJMP  DER1F
                DER18:
0944 3007F1    JNB  07H,DER17
0947 D20E      SETB  0EH
0949 80DF      SJMP  DER15
;
;+++++
;+++++
;
                DERIVA2:
094B E559      MOV   A,EKM1
094D 75F002    MOV   B,#02H
0950 A4        MUL   AB
0951 85F07D    MOV   AUXH,B
0954 F57E      MOV   AUXM,A
0956 C3        CLR   C
0957 E57A      MOV   A,AUX1
0959 B57D02    CJNE  A,AUXH,DER21
095C 8006      SJMP  DER22
                DER21:
095E 4009      JC    DER23
0960 D207      SETB  07H
0962 8005      SJMP  DER23
                DER22:
0964 E57B      MOV   A,AUX2
0966 B57EF5    CJNE  A,AUXM,DER21
                DER23:
0969 200517    JB    05H,DER25
096C 300E3A    JNB   0EH,DER28
096F D20F      SETB  0FH
                DER24:
0971 C3        CLR   C
0972 E57E      MOV   A,AUXM
0974 257B      ADD   A,AUX2
0976 F57B      MOV   AUX2,A
0978 E57D      MOV   A,AUXH
097A 357A      ADDC  A,AUX1
097C F57A      MOV   AUX1,A
                DER2F:
097E C20E      CLR   0EH
0980 C207      CLR   07H
0982 22        RET
                DER25:
0983 300EEB    JNB  0EH,DER24
0986 300711    JNB  07H,DER27
0989 D20F      SETB  0FH
                DER26:
098B C3        CLR   C
098C E57B      MOV   A,AUX2
098E 957E      SUBB  A,AUXM
0990 F57B      MOV   AUX2,A
0992 E57A      MOV   A,AUX1
0994 957D      SUBB  A,AUXH
0996 F57A      MOV   AUX1,A
0998 80E4      SJMP  DER2F
                DER27:
099A C3        CLR   C
099B E57E      MOV   A,AUXM
099D 957B      SUBB  A,AUX2
099F F57B      MOV   AUX2,A
09A1 E57D      MOV   A,AUXH
09A3 957A      SUBB  A,AUX1

```


0A33 C3	CLR	C
0A34 2566	ADD	A,RA22
0A36 F566	MOV	RA22,A
0A38 7400	MOV	A,#00H
0A3A 35F0	ADDC	A,B
0A3C F565	MOV	RA21,A
;		
0A3E E54C	MOV	A,KPM
0A40 855EF0	MOV	B,CTE14
0A43 A4	MUL	AB
0A44 2568	ADD	A,RA24
0A46 F568	MOV	RA24,A
0A48 E5F0	MOV	A,B
0A4A 3567	ADDC	A,RA23
0A4C F567	MOV	RA23,A
0A4E 7400	MOV	A,#00H
0A50 3566	ADDC	A,RA22
0A52 F566	MOV	RA22,A
0A54 7400	MOV	A,#00H
0A56 3565	ADDC	A,RA21
0A58 5002	JNC	DER41
0A5A 41E2	AJMP	DER4F
DER41:		
0A5C F565	MOV	RA21,A
;		
0A5E E54C	MOV	A,KPM
0A60 855DF0	MOV	B,CTE13
0A63 A4	MUL	AB
0A64 2567	ADD	A,RA23
0A66 F567	MOV	RA23,A
0A68 E5F0	MOV	A,B
0A6A 3566	ADDC	A,RA22
0A6C F566	MOV	RA22,A
0A6E 7400	MOV	A,#00H
0A70 3565	ADDC	A,RA21
0A72 406E	JC	DER4F
0A74 F565	MOV	RA21,A
;		
0A76 E54C	MOV	A,KPM
0A78 855CF0	MOV	B,CTE12
0A7B A4	MUL	AB
0A7C 2566	ADD	A,RA22
0A7E F566	MOV	RA22,A
0A80 E5F0	MOV	A,B
0A82 3565	ADDC	A,RA21
0A84 405C	JC	DER4F
0A86 F565	MOV	RA21,A
0A88 C2D2	CLR	OV
0A8A E54C	MOV	A,KPM
0A8C 855BF0	MOV	B,CTE11
0A8F A4	MUL	AB
0A90 20D24F	JB	OV,DER4F
0A93 2565	ADD	A,RA21
0A95 404B	JC	DER4F
0A97 F565	MOV	RA21,A
;		
0A99 E54B	MOV	A,KPH
0A9B 855EF0	MOV	B,CTE14
0A9E A4	MUL	AB
0A9F 2567	ADD	A,RA23
0AA1 F567	MOV	RA23,A
0AA3 E5F0	MOV	A,B
0AA5 3566	ADDC	A,RA22
0AA7 F566	MOV	RA22,A
0AA9 7400	MOV	A,#00H
0AAB 3565	ADDC	A,RA21
0AAD 4033	JC	DER4F
0AAF F565	MOV	RA21,A
;		
0AB1 E54B	MOV	A,KPH
0AB3 855DF0	MOV	B,CTE13
0AB6 A4	MUL	AB
0AB7 2566	ADD	A,RA22
0AB9 F566	MOV	RA22,A
0ABB E5F0	MOV	A,B
0ABD 3565	ADDC	A,RA21
0ABF 4021	JC	DER4F
0AC1 F565	MOV	RA21,A
;		
0AC3 E54B	MOV	A,KPH
0AC5 855CF0	MOV	B,CTE12
0AC8 C2D2	CLR	OV
0ACA A4	MUL	AB
0ACB 20D214	JB	OV,DER4F
0ACE 2565	ADD	A,RA21

```

0AD0 4010      JC      DER4F
0AD2 F565      MOV     RA21,A
;
0AD4 E54B      MOV     A,KPH
0AD6 855BF0    MOV     B,CTE11
0AD9 C2D2      CLR     OV
0ADB A4        MUL     AB
0ADC 20D203    JB      OV,DER4F
0ADF 7001      JNZ    DER4F
0AE1 22        RET

```

```

DER4F:
0AE2 7865      MOV     R0,#RA21
0AE4 7A05      MOV     R2,#05H
;
DER4F1:
0AE6 76FF      MOV     @R0,#0FFH
0AE8 08        INC     R0
0AE9 DAFB      DJNZ   R2,DER4F1
0AEB 22        RET

```

```

;+++++
; RUTINA DE LA ACCION DE CONTROL DE E(K-1)
;+++++

```

```

0B00          ORG     0B00H

```

```

ACCION2:
0B00 E559      MOV     A,EKM1
0B02 855FF0    MOV     B,CTE15
0B05 A4        MUL     AB
0B06 F569      MOV     RA25,A
0B08 85F068    MOV     RA24,B
;

```

```

0B0B E559      MOV     A,EKM1
0B0D 855EF0    MOV     B,CTE14
0B10 A4        MUL     AB
0B11 2568      ADD     A,RA24
0B13 F568      MOV     RA24,A
0B15 E5F0      MOV     A,B
0B17 3400      ADDC   A,#00H
0B19 F567      MOV     RA23,A
;

```

```

0B1B E559      MOV     A,EKM1
0B1D 855DF0    MOV     B,CTE13
0B20 A4        MUL     AB
0B21 2567      ADD     A,RA23
0B23 F567      MOV     RA23,A
0B25 E5F0      MOV     A,B
0B27 3400      ADDC   A,#00H
0B29 F566      MOV     RA22,A
;

```

```

0B2B E559      MOV     A,EKM1
0B2D 855CF0    MOV     B,CTE12
0B30 A4        MUL     AB
0B31 2566      ADD     A,RA22
0B33 F566      MOV     RA22,A
0B35 E5F0      MOV     A,B
0B37 3400      ADDC   A,#00H
0B39 F565      MOV     RA21,A
;

```

```

0B3B E559      MOV     A,EKM1
0B3D 855BF0    MOV     B,CTE11
0B40 C2D2      CLR     OV
0B42 A4        MUL     AB
0B43 20D207    JB      OV,ACCION21
0B46 2565      ADD     A,RA21
0B48 4003      JC      ACCION21
0B4A F565      MOV     RA21,A
0B4C 22        RET

```

```

ACCION21:
0B4D 7865      MOV     R0,#RA21
0B4F 7A05      MOV     R2,#05H
;

```

```

ACCION22:
0B51 76FF      MOV     @R0,#0FFH
0B53 08        INC     R0
0B54 DAFB      DJNZ   R2,ACCION22
0B56 22        RET

```

```

;+++++
;+++++

```

```

DERIVAS:
0B57 7464      MOV     A,#64H
0B59 8569F0    MOV     B,RA25
0B5C A4        MUL     AB
0B5D F564      MOV     RA15,A
0B5F 85F063    MOV     RA14,B

```

```

;
0B62 7464      MOV    A,#64H
0B64 8568F0    MOV    B,RA24
0B67 A4        MUL    AB
0B68 C3        CLR    C
0B69 2563      ADD    A,RA14
0B6B F563      MOV    RA14,A
0B6D E5F0      MOV    A,B
0B6F 3400      ADDC   A,#00H
0B71 F562      MOV    RA13,A
;
0B73 7464      MOV    A,#64H
0B75 8567F0    MOV    B,RA23
0B78 A4        MUL    AB
0B79 2562      ADD    A,RA13
0B7B F562      MOV    RA13,A
0B7D E5F0      MOV    A,B
0B7F 3400      ADDC   A,#00H
0B81 F561      MOV    RA12,A
;
0B83 7464      MOV    A,#64H
0B85 8566F0    MOV    B,RA22
0B88 A4        MUL    AB
0B89 2561      ADD    A,RA12
0B8B F561      MOV    RA12,A
0B8D 7400      MOV    A,#00H
0B8F 35F0      ADDC   A,B
0B91 F560      MOV    RA11,A
;
0B93 7464      MOV    A,#64H
0B95 8565F0    MOV    B,RA21
0B98 C2D2      CLR    OV
0B9A A4        MUL    AB
0B9B 20D207    JB     OV,DER5F
0B9E 2560      ADD    A,RA11
0BA0 4003      JC     DER5F
0BA2 F560      MOV    RA11,A
0BA4 22        RET

DER5F:
0BA5 7860      MOV    R0,#RA11
0BA7 7A05      MOV    R2,#05H

DER5F1:
0BA9 76FF      MOV    @R0,#0FFH
0BAB 08        INC    R0
0BAC DAFB      DJNZ   R2,DER5F1
0BAE 22        RET
;
;+++++
;RUTINA PARA CARGAR AL TIMER CON EL TIEMPO DE RETARDO
;CORRESPONDIENTE A CADA ANGULO DE ACTIVADO
;+++++
;
TIMER:
0BAF C28C      CLR    TRO
0BB1 758C00    MOV    TH0,#00H
0BB4 758A00    MOV    TLO,#00H
0BB7 900C73    MOV    DPTR,#TABLA1
0BBA E574      MOV    A,ANGULO ;RPIDK
0BBC 93        MOVC   A,@A+DPTR
0BBD F58C      MOV    TH0,A
0BBF 900D73    MOV    DPTR,#TABLA2
0BC2 E574      MOV    A,ANGULO ;RPIDK
0BC4 93        MOVC   A,@A+DPTR
0BC5 F58A      MOV    TLO,A
0BC7 D28C      SETB  TRO ;START TIMER 0
0BC9 22        RET
;
;+++++
;
0C00           ORG    0C00H
DERIVA6:
0C00 856A65    MOV    RA21,RPIDK1
0C03 856B66    MOV    RA22,RPIDK2
0C06 856C67    MOV    RA23,RPIDK3
0C09 856D68    MOV    RA24,RPIDK4
0C0C 856E69    MOV    RA25,RPIDK5
0C0F C3        CLR    C
0C10 E560      MOV    A,RA11
0C12 B56502    CJNE  A,RA21,DER61
0C15 8006      SJMP  DER62

DER61:
0C17 4018      JC     DER63
0C19 D207      SETB  07H ;RA11 > RA21
0C1B 8014      SJMP  DER63

```

```

DER62:
0C1D E561      MOV      A,RA12
0C1F B566F5    CJNE    A,RA22,DER61
0C22 E562      MOV      A,RA13
0C24 B567F0    CJNE    A,RA23,DER61
0C27 E563      MOV      A,RA14
0C29 B568EB    CJNE    A,RA24,DER61
0C2C E564      MOV      A,RA15
0C2E B569E6    CJNE    A,RA25,DER61

DER63:
0C31 300F14    JNB     0FH,DER66      ;RA11
0C34 300835    JNB     08H,DER610     ;RA22

DER64:
0C37 7864      MOV     R0,#RA15
0C39 7969      MOV     R1,#RA25
0C3B 7A05      MOV     R2,#05H
0C3D 757A6E    MOV     AUX1,#RPIDK5
0C40 120566    LCALL  ADICION

DER65:
0C43 C207      CLR     07H
0C45 C20F      CLR     0FH
0C47 22        RET

DER66:
0C48 3008EC    JNB     08H,DER64
0C4B 20070E    JB      07H,DER68

DER67:
0C4E 7869      MOV     R0,#RA25
0C50 7964      MOV     R1,#RA15
0C52 7A05      MOV     R2,#05H
0C54 757A6E    MOV     AUX1,#RPIDK5
0C57 120585    LCALL  SUBSTRACCION
0C5A 80E7      SJMP   DER65

DER68:
0C5C C208      CLR     08H

DER69:
0C5E 7864      MOV     R0,#RA15
0C60 7969      MOV     R1,#RA25
0C62 7A05      MOV     R2,#05H
0C64 757A6E    MOV     AUX1,#RPIDK5
0C67 120585    LCALL  SUBSTRACCION
0C6A 80D7      SJMP   DER65

DER610:
0C6C 3007DF    JNB     07H,DER67
0C6F D208      SETB   08H
0C71 80EB      SJMP   DER69
;
;+++++
;TABLA DE DATOS QUE CONTIENE LOS RETARDOS DE TIEMPO
;PARA LOS ANGULOS DE ACTIVADO DE LOS TIRISTORES
;+++++
;
;+++++
;BYTE MAS SIGNIFICATIVO DEL RETARDO DE TIEMPO
;(ANGULO DE ACTIVADO).
;+++++
;
TABLA1:
DB      0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F5H,0F5H,0F5H
0C73    F4 F4 F4 F4 F4 F4 F4 F5 F5 F5
DB      0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H
0C7D    F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5
DB      0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H
0C87    F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5 F5
DB      0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H
0C91    F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6
DB      0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H
0C9B    F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6 F6
DB      0F6H,0F6H,0F6H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
0CA5    F6 F6 F6 F7 F7 F7 F7 F7 F7 F7
DB      0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
0CAF    F7 F7 F7 F7 F7 F7 F7 F7 F7 F7
DB      0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
0CB9    F7 F7 F7 F7 F7 F7 F8 F8 F8 F8
DB      0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H
0CC3    F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8
DB      0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H
0CCD    F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8 F8
DB      0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H
0CD7    F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9
DB      0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H
0CE1    F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9 F9
DB      0F9H,0F9H,0F9H,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH
0CEB    F9 F9 F9 FA FA FA FA FA FA FA
DB      0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH
0CF5    FA FA FA FA FA FA FA FA FA FA

```



```

DB      OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH
0CFF   FA FA FA FA FA FA FB FB FB FB
DB      OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH
0D09   FB FB FB FB FB FB FB FB FB FB
DB      OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH
0D13   FB FB FB FB FB FB FB FB FB FB
DB      OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH
0D1D   FC FC FC FC FC FC FC FC FC FC
DB      OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH
0D27   FC FC FC FC FC FC FC FC FC FC
DB      OFCH,OFCH,OFCH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
0D31   FC FC FC FD FD FD FD FD FD FD
DB      OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
0D3B   FD FD FD FD FD FD FD FD FD FD
DB      OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
0D45   FD FD FD FD FD FD FD FE FE FE
DB      OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
0D4F   FE FE FE FE FE FE FE FE FE FE
DB      OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
0D59   FE FE FE FE FE FE FE FE FE FE
DB      OFEH,OFEH,OFEH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH
0D63   FE FE FE FF FF FF FF FF FF FF
DB      OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH,OFFH
0D6D   FF FF FF FF FF FF

```

```

;+++++
;BYTE MENOS SIGNIFICATIVO DEL RETARDO DE TIEMPO
;(ANGULO DE ACTIVADO) PARA LA FRECUENCIA DE 54 Hz.
;+++++
;

```

```

TABLA2:
DB      0BCH,0C7H,0D2H,0DDH,0E8H,0F3H,0FEH,09H,14H,1FH
0D73   BC C7 D2 DD E8 F3 FE 09 14 1F
DB      2AH,35H,40H,4BH,56H,61H,6CH,77H,82H,8DH
0D7D   2A 35 40 4B 56 61 6C 77 82 8D
DB      98H,0A3H,0AEH,0B9H,0C4H,0CFH,0DAH,0E5H,0F0H,0FBH
0D87   98 A3 AE B9 C4 CF DA E5 F0 FB
DB      06H,11H,1CH,27H,32H,3DH,48H,53H,5EH,69H
0D91   06 11 1C 27 32 3D 48 53 5E 69
DB      74H,7FH,8AH,95H,0A0H,0ABH,0B6H,0C1H,0CCH,0D7H
0D9B   74 7F 8A 95 A0 AB B6 C1 CC D7
DB      0E2H,0EDH,0F8H,03H,0EH,19H,24H,2FH,3AH,45H
0DA5   E2 ED F8 03 0E 19 24 2F 3A 45
DB      50H,5BH,66H,71H,7CH,87H,92H,9DH,0ABH,0B3H
0DAF   50 5B 66 71 7C 87 92 9D AB B3
DB      0BEH,0C9H,0D4H,0DFH,0EAH,0F5H,00H,0BH,16H,21H
0DB9   BE C9 D4 DF EA F5 00 0B 16 21
DB      2CH,37H,42H,4DH,58H,63H,6EH,79H,84H,8FH
0DC3   2C 37 42 4D 58 63 6E 79 84 8F
DB      9AH,0A5H,0B0H,0BBH,0C6H,0D1H,0DCH,0E7H,0F2H,0FDH
0DCD   9A A5 B0 BB C6 D1 DC E7 F2 FD
DB      08H,13H,1EH,29H,34H,3FH,4AH,55H,60H,6BH
0DD7   08 13 1E 29 34 3F 4A 55 60 6B
DB      76H,81H,8CH,97H,0A2H,0ADH,0B8H,0C3H,0CEH,0D9H
0DE1   76 81 8C 97 A2 AD B8 C3 CE D9
DB      0E4H,0EFH,0FAH,05H,10H,1BH,26H,31H,3CH,47H
0DEB   E4 EF FA 05 10 1B 26 31 3C 47
DB      52H,5DH,68H,73H,7EH,89H,94H,9FH,0AAH,0B5H
0DF5   52 5D 68 73 7E 89 94 9F AA B5
DB      0C0H,0CBH,0D6H,0E1H,0ECH,0F7H,02H,0DH,18H,23H
0DFF   C0 CB D6 E1 EC F7 02 0D 18 23
DB      2EH,39H,44H,4FH,5AH,65H,70H,7BH,86H,91H
0E09   2E 39 44 4F 5A 65 70 7B 86 91
DB      9CH,0A7H,0B2H,0BDH,0C8H,0D3H,0DEH,0E9H,0F4H,0FFH
0E13   9C A7 B2 BD C8 D3 DE E9 F4 FF
DB      0AH,15H,20H,2BH,36H,41H,4CH,57H,62H,6DH
0E1D   0A 15 20 2B 36 41 4C 57 62 6D
DB      78H,83H,8EH,99H,0A4H,0AFH,0BAH,0C5H,0D0H,0DBH
0E27   78 83 8E 99 A4 AF BA C5 D0 DB
DB      0E6H,0F1H,0FCH,07H,12H,1DH,28H,33H,3EH,49H
0E31   E6 F1 FC 07 12 1D 28 33 3E 49
DB      54H,5FH,6AH,75H,80H,8BH,96H,0A0H,0AAH,0B4H
0E3B   54 5F 6A 75 80 8B 96 A0 AA B4
DB      0BEH,0C8H,0D2H,0DCH,0E6H,0F0H,0FAH,04H,0EH,18H
0E45   BE C8 D2 DC E6 F0 FA 04 0E 18
DB      22H,2CH,36H,40H,4AH,54H,5EH,68H,72H,7CH
0E4F   22 2C 36 40 4A 54 5E 68 72 7C
DB      86H,90H,9AH,0A4H,0AEH,0B8H,0C2H,0CCH,0D6H,0E0H
0E59   86 90 9A A4 AE B8 C2 CC D6 E0
DB      0EAH,0F4H,0FEH,08H,12H,1CH,26H,30H,3AH,44H
0E63   EA F4 FE 08 12 1C 26 30 3A 44
DB      4EH,58H,62H,6CH,76H,80H
0E6D   4E 58 62 6C 76 80
0000   END

```

APENDICE D

APENDICE D

MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

El equipo construído es un sistema utilizado para controlar el voltaje generado por un generador sincrónico a través de un convertor AC-DC semicontrolado conectado al devanado de excitación del generador.

El equipo está compuesto por la unidad de potencia y la unidad de control en la cual se encuentran todos los elementos necesarios para la obtención de las señales requeridas para ejecutar todas las funciones específicas en la operación del sistema.

La unidad de potencia la constituye el convertor AC-DC semicontrolado trifásico tipo puente de seis pulsos, que puede entregar una potencia máxima de 2 Kw, el cual tiene como corriente nominal 20 A, y un voltaje máximo de salida 120 V_{DC}, debido a que el ángulo de activado de los tiristores se encuentra limitado porque las pruebas se las realizó con un generador sincrónico cuyo voltaje de excitación nominal es igual a 110 V_{DC}.

Especificaciones de entrada:

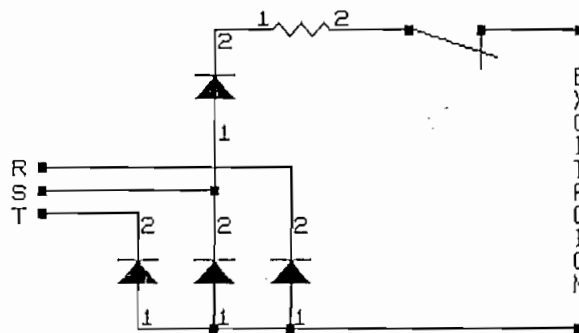
- “ 220 V_{AC} ± 20%
- 3 fases
- 60 Hz ± 10%
- 10 A_{RMS}

Los circuitos y elementos de protección del equipo y de la unidad de control son:

- Circuito de control maestro.

- Circuito de sincronización.
- Circuito de filtros.
- Circuito de disparo.
- Circuito de adquisición de datos.
- Circuito de teclado.
- Circuito de señalización de fallas.
- Fuentes de polarización.
- Fusibles en las líneas de alimentación.
- Limitación de voltajes transitorios dv/dt .
- Detección de sobrecorriente.
- Detección de frecuencia fuera de rango.
- Protección de ausencia de fasé.

Para la operación del sistema se debe en primer lugar lograr que la máquina este girando a una velocidad tal que la frecuencia del voltaje generado sea de 60 Hz aproximadamente. Una vez realizado ésto se debe conectar el circuito de **AUTOEXCITACION** con el pulsador localizado en la parte posterior del equipo, con lo cual a la excitación se la alimenta con un conversor no controlado de seis pulsos. En el caso del generador de experimentación se tiene la configuración mostrada en la figura siguiente:



PRECAUCION: *verificar que el banco de capacitores y carga se encuentren desconectados.*

Al operar de esta manera se tiene un sistema con realimentación positiva por lo que el voltaje generado empezará a crecer sin control. Al llegar el voltaje a 120 V. el relé abrirá sus contactos con lo que la excitación del generador empezará a recibir el voltaje del convertidor semicontrolado, *luego de lo cual se deberá dejar de presionar el pulsador.* Ahora por medio de teclado se tiene control sobre el ángulo de activado del convertidor, por lo que al variar dicho ángulo cambia el voltaje generado de la máquina. Una vez que la máquina genere el voltaje deseado, por medio de teclado se indicará el paso de operación manual a automática con lo cual el sistema trabajará en lazo cerrado realizando el algoritmo de control de tal forma que el voltaje se mantenga en el valor de referencia.

COMANDOS POR TECLADO

Las funciones de cada una de las teclas son las siguientes:

- 1 - Incrementar el voltaje generado.
- 2 - Decrementar el voltaje generado.
- 3 - Incrementar la constante de la acción proporcional.
- 4 - Decrementar la constante de la acción proporcional.
- 5 - Incrementar la constante de la acción integral.
- 6 - Decrementar la constante de la acción integral.
- 7 - Operación automática del equipo.
- 8 - Salida de operación del sistema.

SEÑALIZACION

La señalización es ejecutada por el microcontrolador, y se lo realiza por medio de leds que tienen las siguientes funciones:

- LED de encendido.
- LED de frecuencia fuera de rango.
- LED de operación automática.
- LED de ausencia de fase.

MANTENIMIENTO

En la parte de potencia que la constituye principalmente el convertor de estado sólido semicontrolado AC-DC, se recomienda una revisión periódica de los puntos de conexión, puesto que estos están sometidos al polvo, humedad, lo que puede provocar que estos se oxiden y no se tenga por lo tanto una buena unión. De igual manera para el relé que permite realizar la autoexcitación del generador sería conveniente una revisión periódica de sus contactos.

Para la unidad de control se recomienda una limpieza periódica puesto que se tienen elementos sensibles a los agentes mencionados anteriormente.

Es necesario indicar que el microcontrolador 8751 siempre debe tener su ventana de borrado tapada para proteger el programa de la luz ultravioleta que lo puede alterar, lo que acarrearía graves consecuencias en el funcionamiento del sistema. Otra alternativa sería sustituir el microcontrolador 8751 por un 8051 ya que no se requiere modificar el programa que se ha realizado.

PRECAUCIONES.

- 1.- *Cuando la máquina se encuentre operando no se deben desconectar los bancos de capacitores, estos se deben salir de operación cuando el generador no este en funcionamiento.*
- 2.- *No presionar la tecla de salida de operación a menos que se desee que el generador deje de operar.*
- 3.- *No presionar el pulsador de autoexcitación cuando el generador este en funcionamiento.*

FALLAS.

A continuación se presentan problemas, diagnósticos y posibles soluciones. De persistir algún error en el funcionamiento se recomienda revisar el programa del microcontrolador o de caso contrario revisar alguna falla de hardware.

- 1.- Si al presionar el pulsador para que el generador se autoexcite, el microcontrolador no apaga la señalización de falla, ésto se puede deber a los siguientes motivos:
 - una o más de las fases no están conectadas al equipo,
 - falla en cables,
 - ausencia de fusibles,
 - diodos de autoexcitación en cortocircuito,
 - diodos y/o tiristores del puente rectificador defectuosos,

- varistores en cortocircuito,
 - capacitores supresores en cortocircuito,
 - polaridad del campo invertida,
 - campo del generador abierto.
- 2.- Si al presionar el pulsador para que el generador se autoexcite, el voltaje no sube más allá del necesario para que el relé abra sus contactos se debe revisar que la frecuencia este en un valor cercano a 60Hz. (frecuencia nominal de operación).
- 3.- Si una vez funcionando el equipo, se resetea y el voltaje de excitación decae a cero y el voltaje generado es igual al remanente, observar los leds de señalización donde se encontrará la causa de la falla, y, para operar nuevamente, el microcontrolador deberá ser reseteado.
- 4.- Si por alguna razón el sistema no responde al control de teclado, es muy probable que los puntos de conexión entre el cable y el conector no tengan una unión adecuada.
- 5.- Si el sistema presenta oscilaciones en su respuesta, se deberán alterar las constantes del controlador por medio del teclado hasta que el sistema se estabilice.

APENDICE E

APENDICE E

RUTINAS PARA LA COMPENSACION DE REACTIVOS

CUANDO EL SISTEMA OPERE EN PARALELO

En este apéndice se indican rutinas tentativas que podrían ser utilizadas para la medición de la corriente de carga del generador así como las necesarias para la obtención del factor de potencia y realizar el control necesario para mantenerlo constante.

Rutina para la medición de la corriente de carga.

En esta rutina se empieza por seleccionar la corriente el canal del multiplexer por medio de los pines P2.6 debe estar en cero lógico (0L), mientras que P2.7 en uno lógico (1L). Para luego proceder a llamar a la rutina de lectura general, con el valor obtenido se realiza la comparación con el valor máximo, si el valor leído es menor al máximo retorna al programa principal, pero si es mayor al valor máximo (el valor máximo se toma como el valor de corriente nominal de operación de la máquina mas un margen de tolerancia del 10%) se procede a sacar de operación al sistema, por medio de un reseteo por software.

```
;
;+++++
;RUTINA PARA ESTABLECER EL VALOR DE LA CORRIENTE DE CARGA
;Y DETERMINAR SI SE ENCUENTRA DENTRO DE LOS LIMITES ADECUADOS
;+++++
;
ICARGA:
        SETB   P2.6           ;BITS HAB. LECTURA ICARGA.
        CLR    P2.7
        LCALL  LECTURA
        CLR    C
        MOV    A,ICARH
        CJNE  A,SYKH,ICAR1
        SJMP   ICAR2
ICAR1:
        JC     ICAR3
        SETB   07H
```

```

ICAR2:  SJMP   ICAR3
        MOV   A,ICARL
        CJNE  A,SYKL,ICARI
ICAR3:  JB     07H,ICARS
        CLR   C
        MOV   A,SYKL
        SUBB  A,ICARL
        MOV   SYKL,A
        MOV   A,SYKH
        SUBB  A,ICARH
        MOV   SYKH,A
        MOV   AUXH,ICARH
        MOV   AUXL,ICARL
        MOV   R3,#04H           ;TOLERANCIA
ICAR4:  CLR   C
        MOV   A,AUXH
        RRC   A
        MOV   AUXH,A
        MOV   A,AUXL
        RRC   A
        MOV   AUXL,A
        DJNZ  R3,ICAR4
        CLR   C
        MOV   A,AUXL
        SUBB  A,SYKL
        MOV   A,AUXH
        SUBB  A,SYKH
        JC    ICAR6
ICAR5:  CLR   07H
        RET
ICAR6:  MOV   IE,#00H
        MOV   TCON,#00H
        MOV   P2,#0FFH
        LJMPL RESETMAN
    
```

Rutina de determinación si el generador está operando independientemente o en paralelo.

En esta rutina se procede en primer lugar a verificar si el generador va a operar independientemente o en paralelo, para lo cual se compara la bandera 11H, si esta es igual a uno lógico (está seteada) el generador opera en paralelo caso contrario si es igual a cero lógico (esta borrada) operará en forma independiente (el proceso de borrado o seteado de la bandera se lo realiza por medio de una tecla). Si el generador va a operar en paralelo, es necesario determinar la constante que está directamente relacionada con el lazo de realimentación de la corriente de carga del generador. Esta constante al tener un control de tipo analógico se constituye en un circuito por medio del cual se lee el valor de la corriente de carga la cual es amplificada o atenuada en el valor de esta constante, la resultante de este proceso es sumada al valor de la realimentación de voltaje, obteniéndose de ésta manera la señal de realimentación total que será aplicada al sistema para obtener el error que es

introducido como entrada a la acción de control utilizada. Pero en éste caso se tiene un algoritmo que permite obtener un efecto igual al explicado, y se procede de la siguiente manera:

1. Leer el factor de potencia con el que está trabajando la máquina, este valor se lo obtiene al promediar 32 lecturas realizadas, el valor promedio es almacenado en registros (R2 y R3).
2. Con estos valores y los de referencia se encuentra un error el cual deberá ser sumado con el signo adecuado al valor del voltaje de referencia, de esta manera se obliga a que varíe la excitación de la máquina y por lo tanto se controla el factor de potencia. Si el generador va a operar independientemente, no se lee el factor de potencia y se sale de la rutina.

Rutina para determinar el Factor de Potencia.

El factor de potencia se determinará en base al ángulo de desfasaje entre la corriente y el voltaje de carga.

Se espera la señal de cruce por cero de voltaje en el pin P3.0 una vez recibida se activa el **TIMER1** para que empiece a contar, el timer seguirá contando hasta que se reciba la señal de cruce por cero de la corriente instantánea en el cual se parará al timer. El valor del timer se transferirá a los registros **R4** y **R5** del banco 2. Se procederá con estos valores a comprobar si el ángulo obtenido es mayor a 90° (**0A37H**), si es así el valor de los registros **R4** y **R5**, se restará de 180° para obtener el valor real del factor de potencia y se lo volverá a almacenar en los mismos registros. Pero si el valor es menor a 90° el factor de potencia

leído (guardado en R4 y R5) es el verdadero. Una vez realizadas estas operaciones se regresa al programa principal.

```

;
;+++++
;RUTINA PARA DETERMINAR COMO ESTA TRABAJANDO EL GENERADOR
;EN FORMA PARALELA O INDEPENDIENTE.
;R2 Y R3 CONTIENEN EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA
;+++++
;
PAR_INDE:
    JNB    11H,EFPF          ;BANDERA DE PARA./INDEP.
    CLR    RS0
    SETB   RS1
    JB     09H,EFPO
    SETB   09H
    MOV    R2,#00H
    MOV    R3,#00H
    MOV    R6,#20H

EFPO:
    LCALL  FACTORP
    CLR    C
    MOV    A,R2
    ADD    A,R4
    MOV    R2,A
    MOV    A,R3
    ADDC   A,R5
    MOV    R3,A
    JNC    EFP1
    MOV    R2,#OFFH
    MOV    R3,#OFFH

EFP1:
    DJNZ   R6,EFPF
    CLR    09H
    MOV    R6,#05H

EFDD:
    CLR    C
    MOV    A,R3
    RRC    A
    MOV    R3,A
    MOV    A,R2
    RRC    A
    MOV    R2,A
    DJNZ   R6,EFDD
    CLR    C
    MOV    A,R3
    CJNE   A,SFPH,EFP2
    SJMP   EFP3

EFP2:
    JNC    EFP4
    SETB   07H
    CLR    C
    SJMP   EFP4

EFP3:
    MOV    A,R2
    CJNE   A,SFPL,EFP2

EFP4:
    JNB    07H,EFP6
    MOV    A,SFPL          ;ERROR (+)
    SUBB   A,R2
    MOV    AUXL,A
    MOV    A,SFPH
    SUBB   A,R3
    JZ     EFP5
    MOV    AUXL,#OFFH

EFP5:
    MOV    A,AUXL
    MOV    B,K
    DIV    AB
    CLR    C
    ADD    A,VREF
    MOV    VREF,A
    JNC    EFPF
    MOV    VREF,#OFFH

EFPF:
    CLR    07H
    RET

EFP6:
    CLR    C
    MOV    A,R2          ;ERROR (-)
    SUBB   A,SFPL
    MOV    AUXL,A

```

```
MOV A,R3
SUBB A,SFPH
JZ EFP7
MOV AUXL,#0FFH
EFP7: MOV A,AUXL
MOV B,K
DIV AB
CLR C
MOV A,VREF
SUBB A,AUXL
JNC EFPF
MOV VREF,#00H
SJMP EFPF
```

```
;
;+++++
;RUTINA PARA ENCONTRAR EL FACTOR DE POTENCIA
;TOMADO COMO TIEMPO DE RETARDO.
;180° ≡ 136CH
;+++++
```

```
FACTORP: MOV TL1,#00H
MOV TH1,#00H
JB P3.1,$ ;CRUCE POR CERO DE I
SETB TR1
JNB P3.0,$ ;CRUCE POR CERO DE V
CLR TR1
MOV R4,TL1
MOV R5,TH1
```

```
;
;NUMERO ES MAYOR A 90°(90° ≡ 09B6H)
```

```
CLR C
MOV A,#0B6H
SUBB A,R4
MOV A,#09H
SUBB A,R5
JNC FPI
```

```
;
;VERDADERO VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA (210° ≡ 16A9H)
```

```
CLR C
MOV A,#0A9H
SUBB A,R4
MOV R4,A
MOV A,#16H
SUBB A,R5
MOV R5,A
RET
```

```
;
;RETARDO DEL FILTRO 30° ≡ 033DH
```

```
FPI: CLR C
MOV A,#3DH
SUBB A,R4
MOV R4,A
MOV A,#03H
SUBB A,R5
MOV R5,A
RET
```

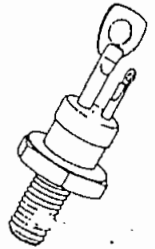
APENDICE F

SCR

C38

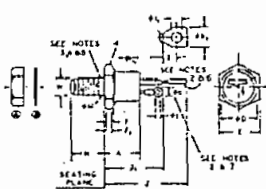
The C38 Silicon Controlled Rectifier is a three junction semiconductor device for use in power switching and control applications requiring a blocking voltage of 500 volts or less and RMS Forward Currents up to 35 amperes. Because of its higher Junction Temperature Rating than the C35 (2N681-92) series, it will prove useful in applications calling for higher ambient temperatures or smaller heat sinks than the C35 series permits.

- No Peak Forward Voltage Limitation
- Thermal Fatigue Free
- High Junction Temperature (150°C)
- Standard TO-48 Outline
- Long Creepage Path
- Low Thermal Resistance



OUTLINE DRAWING
(COMPLIES WITH JEDEC TO-48)

(COMPLIES WITH JEDEC TO-48)



Symbol	Symbol	Symbol	Symbol	Symbol	Symbol
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100		

- NOTES
1. Cathode circuit is critical in design. In normal operation, cathode current should not exceed 100 mA (300 mA) for 100 μsec (100 μsec) at any one time.
 2. Anode circuit is critical in design. Anode current should not exceed 100 mA (300 mA) for 100 μsec (100 μsec) at any one time.
 3. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 4. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 5. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 6. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 7. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 8. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 9. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 10. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 11. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 12. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 13. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 14. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 15. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 16. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 17. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 18. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 19. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 20. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 21. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 22. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 23. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 24. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 25. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 26. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 27. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 28. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 29. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 30. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 31. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 32. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 33. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 34. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 35. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 36. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 37. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 38. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 39. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 40. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 41. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 42. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 43. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 44. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 45. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 46. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 47. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 48. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 49. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 50. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 51. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 52. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 53. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 54. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 55. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 56. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 57. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 58. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 59. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 60. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 61. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 62. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 63. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 64. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 65. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 66. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 67. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 68. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 69. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 70. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 71. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 72. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 73. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 74. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 75. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 76. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 77. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 78. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 79. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 80. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 81. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 82. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 83. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 84. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 85. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 86. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 87. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 88. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 89. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 90. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 91. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 92. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 93. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 94. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 95. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 96. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 97. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 98. A 100 pF capacitor should be connected between anode and cathode to prevent oscillations during turn-on.
 99. A 100 pF capacitor should be connected between anode and gate to prevent oscillations during turn-on.
 100. A 100 pF capacitor should be connected between gate and cathode to prevent oscillations during turn-on.

Type	Minimum Forward Breakover Voltage (V _{BO})* T _J = -45°C to +150°C	Repetitive Peak Reverse Voltage (PRV)* T _J = -45°C to +150°C	Transient Peak Reverse Voltage (Non-recurrent <5.0 Millisecc)* T _J = -45°C to +150°C
C38U	25 volts	25 volts	50 volts
C38F	50 volts	50 volts	75 volts
C38A	100 volts	100 volts	150 volts
C38G	150 volts	150 volts	225 volts
C38B	200 volts	200 volts	300 volts
C38H	250 volts	250 volts	350 volts
C38C	300 volts	300 volts	400 volts
C38D	400 volts	400 volts	500 volts
C38E	500 volts	500 volts	600 volts

*Values apply for zero or negative gate voltage only. Maximum case to ambient thermal resistance for which maximum PRV ratings apply — equals 11°C/watt.

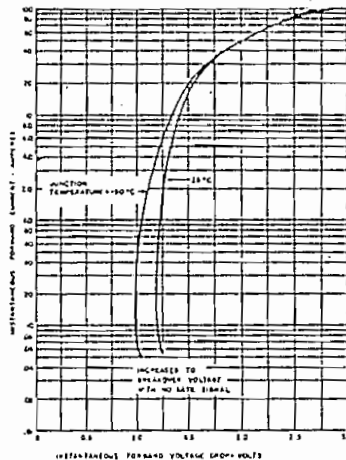
MAXIMUM ALLOWABLE RATINGS

- RMS Forward Current _____ 35 amperes (all conduction angles)
- Average Forward Current (I_D) _____ Depends on conduction angle (see charts 3 & 5)
- Peak One-cycle Non-recurrent Surge Current (i_{SM}) _____ 150 amperes
- Peak Non-recurrent Surge Current during Turn-on time Interval _____ See Chart 10
- I²t (for fusing) _____ 75 ampere² seconds (for times ≥ 1.5 milliseconds)
- Peak Gate Power (p_g) _____ 12 watts
- Average Gate Power (P_G) _____ 0.5 watt
- Peak Gate Current (i_G) _____ 2.0 amperes
- Peak Gate Voltage (v_G) (Forward and Reverse) _____ 10 volts
- Storage Temperature _____ -65°C to +160°C
- Operating Temperature _____ -65°C to +150°C
- Stud Torque _____ 30 inch-pounds

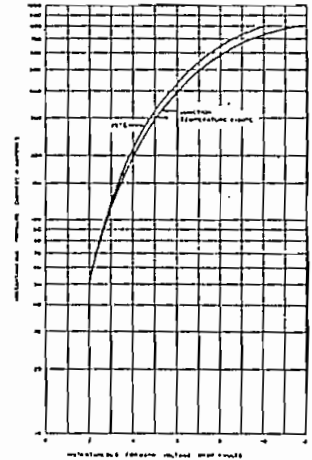
CHARACTERISTICS

Test	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
Peak Reverse and Forward Blocking Current*	i_{r} and i_{f}	—	6.0	10.0	ma	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_{AC} = V_{CA} = 25\text{v peak}$ 50 100 150 200 250 300 400 500
		—	5.5	10.0	ma	
		—	5.0	10.0	ma	
		—	4.5	10.0	ma	
		—	4.0	8.0	ma	
		—	3.0	6.0	ma	
		—	2.5	5.0	ma	
		—	2.0	4.0	ma	
		—	1.5	3.0	ma	
		—	—	—	—	
Peak Reverse and Forward Blocking Current*	i_{r} and i_{f}	—	9.0	13.0	ma	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_{AC} = V_{CA} = 25\text{v peak}$ 50 100 150 200 250 300 400 500
		—	8.9	13.0	ma	
		—	7.8	13.0	ma	
		—	7.7	13.0	ma	
		—	7.5	12.0	ma	
		—	7.3	11.0	ma	
		—	6.8	10.0	ma	
		—	5.3	8.0	ma	
		—	2.6	6.0	ma	
		—	—	—	—	
Rate of Rise of Forward Voltage that Will Not Turn on SCR*	dv/dt	20.0	40.0	—	volts/ μsec	$T_J = 150^\circ\text{C}$, Gate open circuited. $V_{AC} = \text{Rated}$.
Gate Current to Fire	I_{GF}	—	15	40	mA dc	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 50\text{ ohms}$ $T_J = -65^\circ\text{C}$, $V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 50\text{ ohms}$
		—	35	80	mA dc	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 50\text{ ohms}$
		—	7.5	20	mA dc	$V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $R_L = 50\text{ ohms}$ $V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $T_J = -65^\circ\text{C}$, $R_L = 50\text{ ohms}$
Gate Voltage to Fire	V_{GF}	—	1.2	3.0	Vdc	$V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $R_L = 50\text{ ohms}$ $V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $T_J = -65^\circ\text{C}$, $R_L = 50\text{ ohms}$
		—	2.0	3.0	Vdc	$V_{AC} = 6\text{ Vdc}$, $T_J = -65^\circ\text{C}$, $R_L = 50\text{ ohms}$
		0.16	—	—	Vdc	$V_{AC} = \text{Rated}$, $T_J = 150^\circ\text{C}$, $R_L = 1000\text{ ohms}$
Forward Voltage Drop	V_F	—	1.7	2.0	v	$i_f = 50\text{a peak}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$
Holding Current	I_H	—	10	80	mA dc	$T_J = 25^\circ\text{C}$, Anode Supply = 6 Vdc
Turn-on Time	$t_{on} + t_r$	—	1.4	—	μsec	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_F = 5.0\text{ A dc}$, $V_{AC} = \text{Rated}$, Gate supply: 10 volt open circuit, 25 ohm, 0.1 μsec max rise time.
Turn-off Time	t_{off}	—	24	—	μsec	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_F = 10\text{a}$, $I_s = 5\text{a}$, V_{AC} (reapplied) = Rated, $dv/dt = 20\text{v}/\mu\text{sec}$ Linear
Thermal Resistance	θ_{JC}	—	.75	1.5	$^\circ\text{C}/\text{watt}$	Junction to case

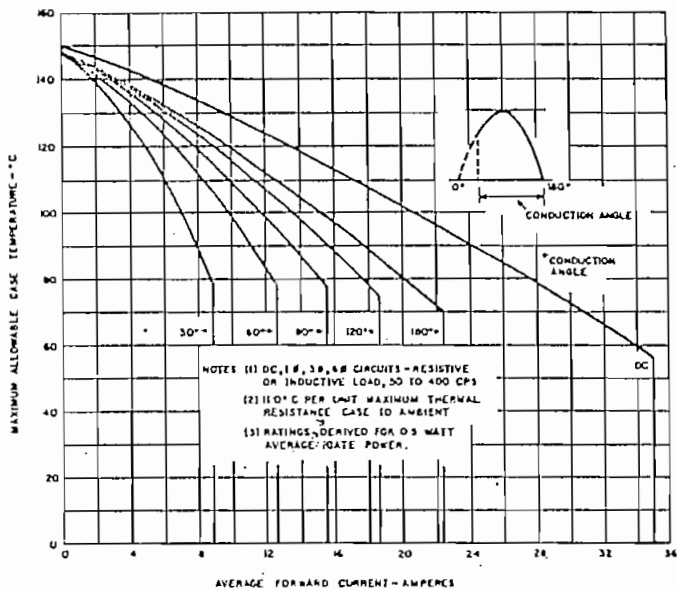
* Values apply for zero or negative gate voltage. Max. case to ambient thermal resistance for which max. PRV ratings apply = 11 $^\circ\text{C}$ per watt.
 See Chart 2.



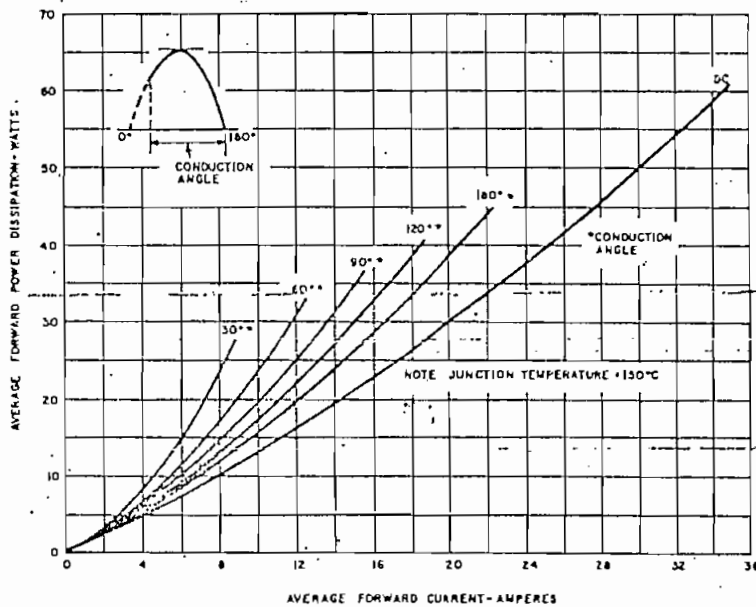
1. MAXIMUM FORWARD CHARACTERISTICS CONDUCTING STATE



2. MAXIMUM FORWARD CHARACTERISTICS HIGH CURRENT LEVEL—CONDUCTING STATE

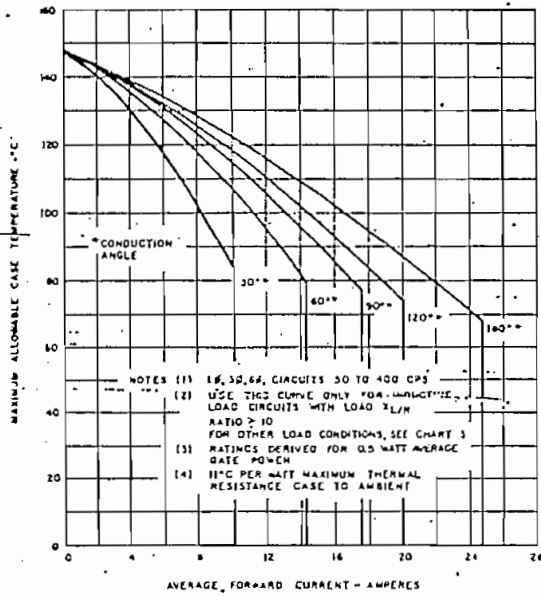


3. MAXIMUM ALLOWABLE CASE TEMPERATURE FOR SINUSOIDAL CURRENT WAVEFORM

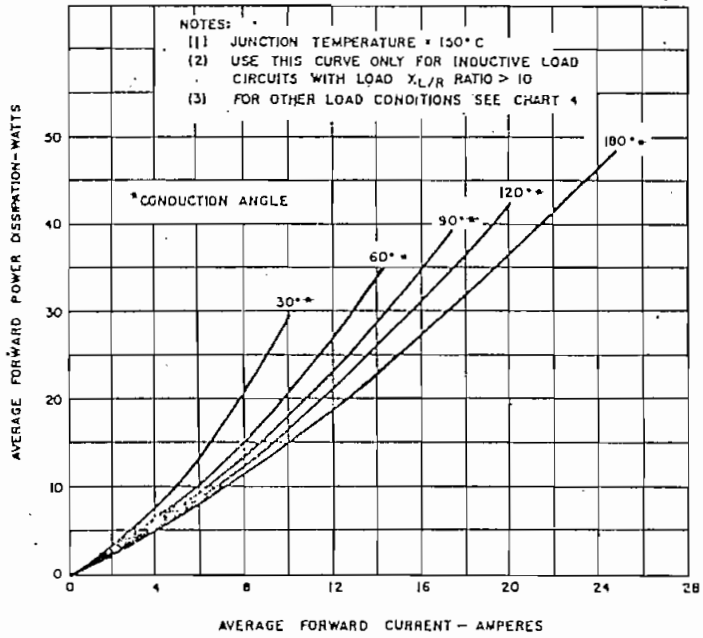


4. FORWARD POWER DISSIPATION FOR SINUSOIDAL CURRENT WAVEFORM

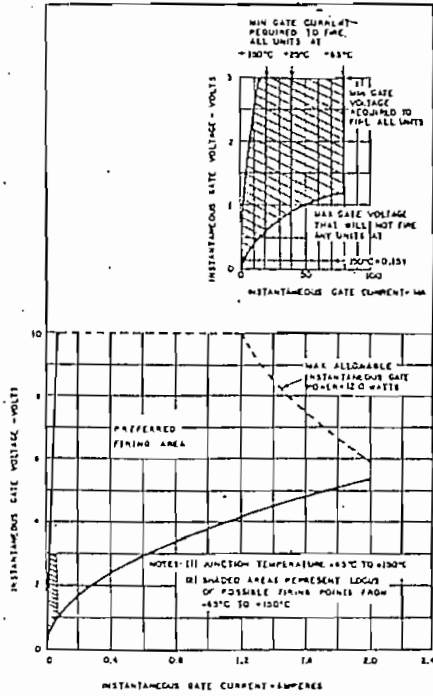
638



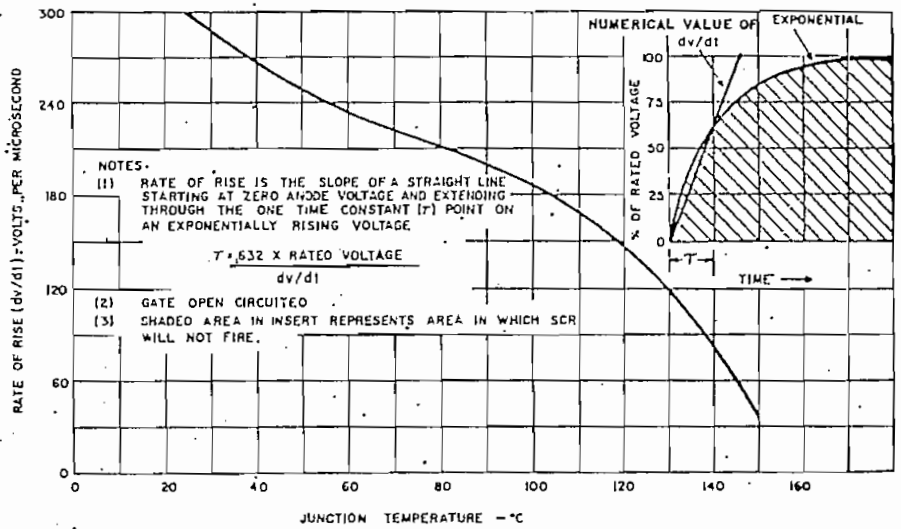
5. MAXIMUM ALLOWABLE CASE TEMPERATURE FOR RECTANGULAR CURRENT WAVEFORM



6. FORWARD POWER DISSIPATION FOR RECTANGULAR CURRENT WAVEFORM

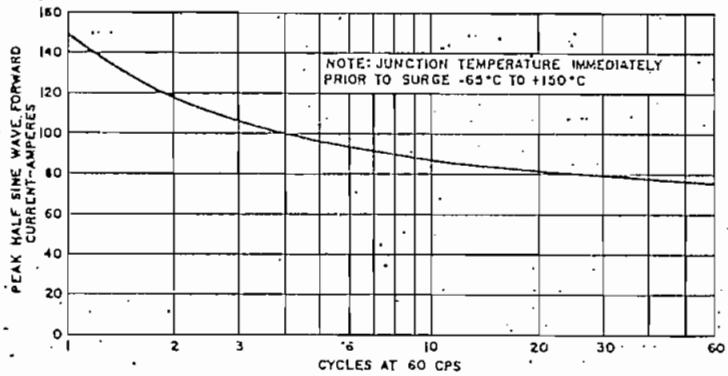


7. FIRING CHARACTERISTICS

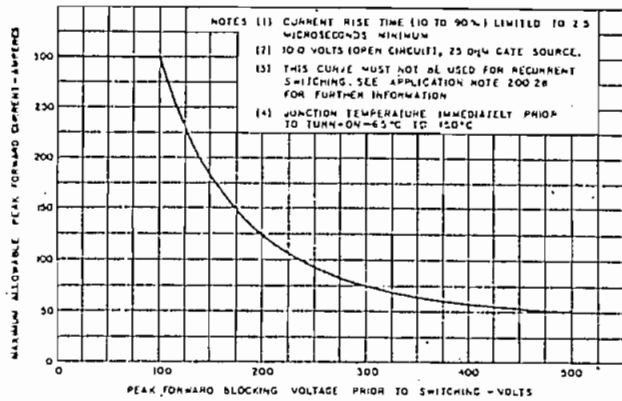


8. TYPICAL RATE OF RISE (dv/dt) OF FORWARD VOLTAGE THAT WILL NOT TURN ON SCR

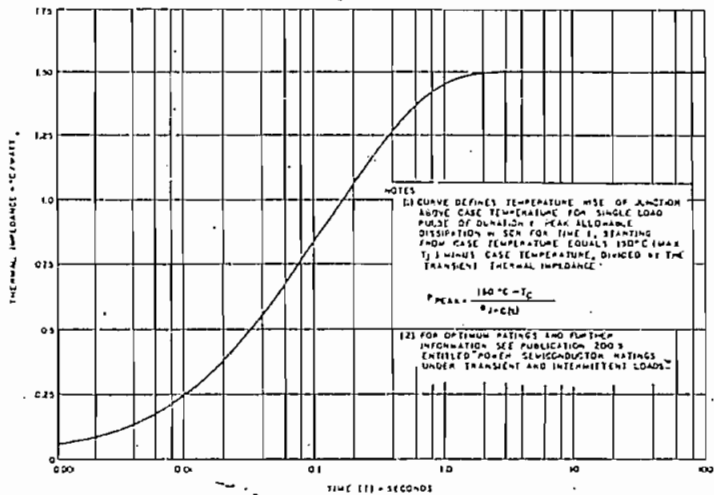
038



9. MAXIMUM ALLOWABLE NON-RECURRENT SURGE CURRENT AT RATED LOAD CONDITIONS



10. PEAK NON-RECURRENT SURGE CURRENT DURING TURN-ON TIME INTERVAL



11. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE JUNCTION TO CASE

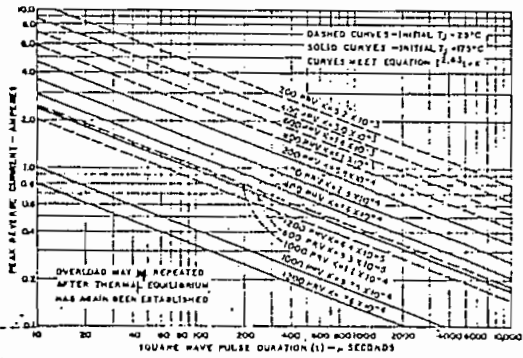
RATINGS

Symbol	Terminology and Definition
PRV	Peak Reverse Voltage. Maximum instantaneous value of negative voltage which may be applied to anode with gate open.
i_{surge}	Peak One Cycle Surge. Maximum allowable non-recurrent peak current of a single forward cycle (8.3 milliseconds duration) in a 60 cps single phase resistive load system. The surge may be preceded and followed by maximum rated voltage, current, and junction temperature conditions, and maximum allowable gate power may be concurrently dissipated. However, limitations on anode current during switching should not be exceeded.
I^2t	I squared t. This is a measure of maximum forward non-recurring overcurrent capability for pulse durations of greater than 1.5 milliseconds. I is in RMS amperes, and t is pulse duration in seconds. The same conditions as listed above for i_{surge} apply.
P_G	Gate Power Dissipation. Power dissipation between gate and cathode.

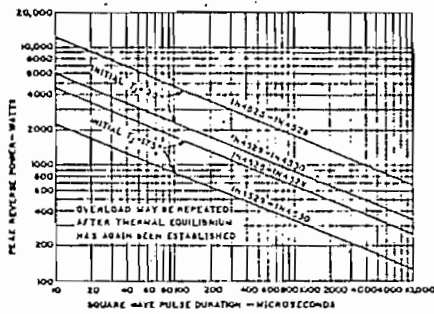
CHARACTERISTICS

V_{HO}	Breakover Voltage. The value of positive anode voltage at which a controlled rectifier switches into the conductive state with gate circuit open.
i_F	Peak Forward Current. Flow of anode current into controlled rectifier.
I_D	Average Forward Current. Forward current averaged over a complete cycle for a specified waveform.
I_F	D.C. Forward Current. Flow of anode current into controlled rectifier.
V_F	Peak Forward Voltage Drop between anode and cathode during conduction of current from anode to cathode with gate open.
V_{AC}	Peak Anode to Cathode Blocking Voltage, anode positive.
V_{CA}	Peak Cathode to Anode Blocking Voltage, cathode positive.
i_G	Peak Gate Current. Value of current flowing between gate and cathode.
V_G	Peak Gate Voltage. Voltage between gate and cathode with anode open.
I_{GT}	Gate Current required to fire controlled rectifier with anode +12 volts with respect to the cathode at stated temperature conditions.
V_{G1}	Gate Voltage with I_{GT} flowing but prior to start of anode conduction.
I_{H1}	Holding Current. Value of i_F below which controlled rectifier returns to forward blocking state; Gate open.
I_{N1}	Peak Forward Saturation Current. Anode current at stated conditions of forward blocking voltage and junction temperature. Gate open.
i_{R1}	Peak Reverse leakage Current. Anode current at stated conditions of negative anode voltage and junction temperature. Gate open.
t_D	Delay Time. Time interval between initiation of gate current signal and reduction of forward voltage to 90% of blocking value during switching to conduction under stated conditions.
t_r	Rise Time. Time interval required for forward voltage to decrease from 90% to 10% of blocking value during switching to conduction under stated conditions.
t_{off}	Turn-off Time. Time interval required for gate to regain control of forward blocking characteristic after forward conduction under stated circuit and temperature conditions.
θ_{J-C}	Thermal Resistance in $^{\circ}C/watt$ between junction and case.
dv/dt	Rate of rise of anode-to-cathode voltage. As specified for the SCR, this value will not trigger the SCR below rated voltage under stated conditions. This rate of rise is defined as the slope of a straight line starting at zero anode voltage and extending through the one time constant (τ) point on an exponentially rising voltage. $\tau = \frac{.632 \times \text{rated voltage}}{dv/dt}$
T_C	Case Temperature.
R_L	Load Resistor.
T_J	Junction Temperature.

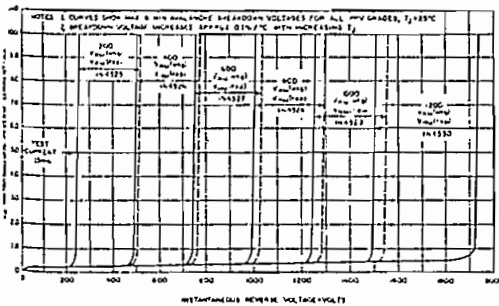
44525-30



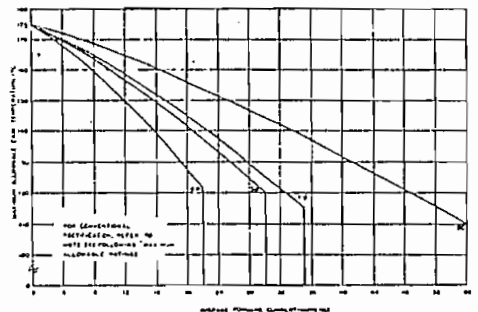
1. NON-RECURRENT REVERSE SURGE CURRENT RATINGS



2. NON-RECURRENT REVERSE POWER SURGE

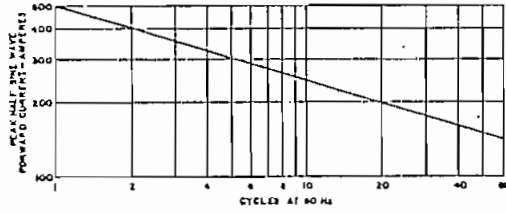


3. REVERSE CHARACTERISTICS

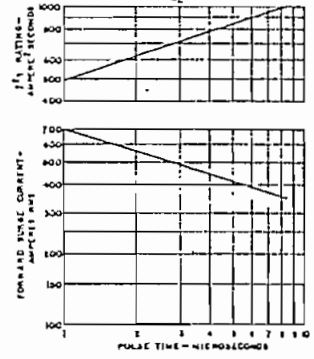


4. MAXIMUM CASE TEMPERATURE VS. AVERAGE FORWARD CURRENT

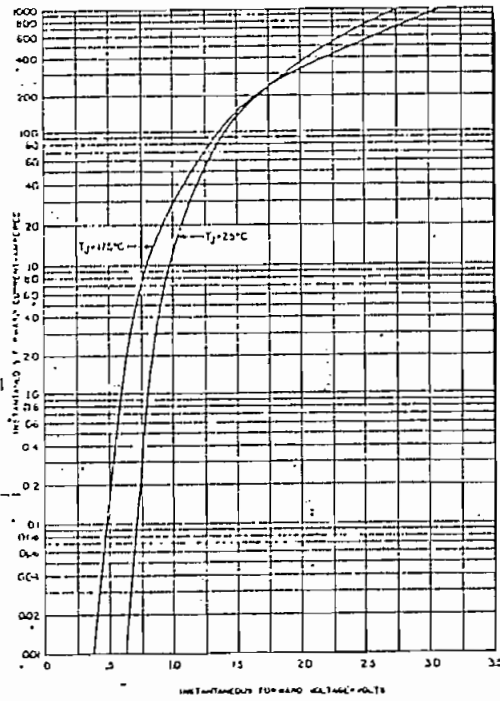
1N4525-30



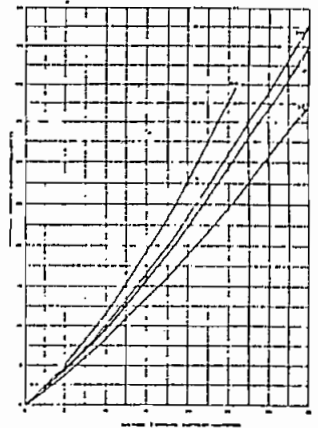
5. MAXIMUM FORWARD SURGE CURRENT FOLLOWING RATED LOAD CONDITIONS



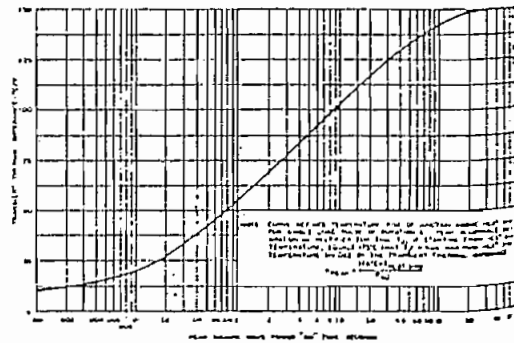
6. SUBCYCLE SURGE FORWARD CURRENT AND I_T RATING FOLLOWING RATED LOAD CONDITIONS



7. MAXIMUM FORWARD CHARACTERISTICS



8. FORWARD POWER AS A FUNCTION OF AVERAGE FORWARD CURRENT ($T_J = +175^\circ\text{C}$)



9. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE - JUNCTION TO HEATSINK

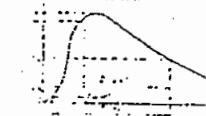
WALDEN "ZNR" Zinc Vanado Absorbers — Type U & B

The ZNR series consists of zinc vanado absorbers with ten reactive (one 1/2 ounce) plates of each metal per square foot. It provides the best protection against lightning damage to electrical systems. The ZNR series is available in 100 and 200 plate sizes for applications in either domestic or foreign markets.



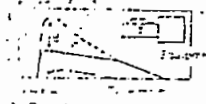
Settings

The system Grounding Voltage at the central system terminal and the absorber voltage are standardized with a ratio of 100:1. The voltage across the absorber is 100 volts.

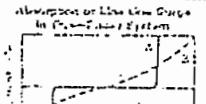


System Voltage: The voltage between the central system terminal and the absorber is 100 volts. The absorber voltage is 100 volts.

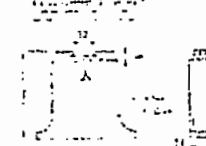
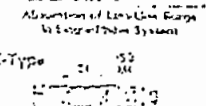
Maximum Plate Voltage: The maximum voltage across the absorber plates is 100 volts. The absorber voltage is 100 volts.



- A. Current through absorber
- B. Current through absorber and ground
- C. Current through absorber and ZNR



Absorption of Lightning Surge in Power Line System



The ZNR series is a zinc vanado absorber whose terminal voltage changes as a function of the applied voltage. The ZNR has a constant terminal voltage of 100 volts during the entire duration of the surge. The ZNR series provides a constant terminal voltage of 100 volts during the entire duration of the surge. The ZNR series provides a constant terminal voltage of 100 volts during the entire duration of the surge.

Type	AC	DC	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Energy (J)	Plate Voltage (V)		Plate Current (A)		Plate Power (W)		Plate Energy (J)		Plate Voltage (V)		Plate Current (A)		Plate Power (W)		Plate Energy (J)		
							Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
11	10	110	100	1.0	100	100	100	1.0	1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	1.0	1.0	100	100	100	100
12	10	220	100	2.0	200	200	200	2.0	2.0	200	200	200	200	200	200	200	200	2.0	2.0	200	200	200	200
13	10	330	100	3.0	300	300	300	3.0	3.0	300	300	300	300	300	300	300	300	3.0	3.0	300	300	300	300
14	10	440	100	4.0	400	400	400	4.0	4.0	400	400	400	400	400	400	400	400	4.0	4.0	400	400	400	400
15	10	550	100	5.0	500	500	500	5.0	5.0	500	500	500	500	500	500	500	500	5.0	5.0	500	500	500	500
16	10	660	100	6.0	600	600	600	6.0	6.0	600	600	600	600	600	600	600	600	6.0	6.0	600	600	600	600
17	10	770	100	7.0	700	700	700	7.0	7.0	700	700	700	700	700	700	700	700	7.0	7.0	700	700	700	700
18	10	880	100	8.0	800	800	800	8.0	8.0	800	800	800	800	800	800	800	800	8.0	8.0	800	800	800	800
19	10	990	100	9.0	900	900	900	9.0	9.0	900	900	900	900	900	900	900	900	9.0	9.0	900	900	900	900
20	10	1100	100	10.0	1000	1000	1000	10.0	10.0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10.0	10.0	1000	1000	1000	1000
21	100	110	100	1.0	100	100	100	1.0	1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	1.0	1.0	100	100	100	100
22	100	220	100	2.0	200	200	200	2.0	2.0	200	200	200	200	200	200	200	200	2.0	2.0	200	200	200	200
23	100	330	100	3.0	300	300	300	3.0	3.0	300	300	300	300	300	300	300	300	3.0	3.0	300	300	300	300
24	100	440	100	4.0	400	400	400	4.0	4.0	400	400	400	400	400	400	400	400	4.0	4.0	400	400	400	400
25	100	550	100	5.0	500	500	500	5.0	5.0	500	500	500	500	500	500	500	500	5.0	5.0	500	500	500	500
26	100	660	100	6.0	600	600	600	6.0	6.0	600	600	600	600	600	600	600	600	6.0	6.0	600	600	600	600
27	100	770	100	7.0	700	700	700	7.0	7.0	700	700	700	700	700	700	700	700	7.0	7.0	700	700	700	700
28	100	880	100	8.0	800	800	800	8.0	8.0	800	800	800	800	800	800	800	800	8.0	8.0	800	800	800	800
29	100	990	100	9.0	900	900	900	9.0	9.0	900	900	900	900	900	900	900	900	9.0	9.0	900	900	900	900
30	100	1100	100	10.0	1000	1000	1000	10.0	10.0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10.0	10.0	1000	1000	1000	1000

APENDICE G

SECTION 1.0

GENERAL INFORMATION

1.1 DESCRIPTION

The SR4A and SRBA Voltage Regulators precisely control the output voltage of an ac electric generating system by controlling the amount of current supplied to the exciter (or generator) field. This includes brushless rotary exciters, brush type rotary exciters or direct excitation into the generator field of machines within the regulator's power rating.

The regulators consist of silicon controlled rectifiers (SCR's) transistors, transformers, silicon diodes, resistors and capacitors. The voltage regulators contain no electrolytic capacitors and are relatively unaffected by temperature, humidity, vibration and shock.

1.2 TABLE 1-1 SPECIFICATIONS

Voltage Regulation	Less than $\pm 1/2\%$ (Average Voltage)
Response Time	Less than: 17 milliseconds on 60 Hz systems 20 milliseconds on 50 Hz systems
Voltage Adjust Range	$\pm 10\%$ of Nominal Voltage
Ambient Operating Temp. Range	-55°C to +70°C (-67°F to +158°F)
Storage Temp. Range	-65°C to +100°C (-85°F to +212°F)
Temperature Coefficient (After 20 minutes warm-up)	$\pm 1/2\%$ for 40°C (104°F) Change
Power Dissipation (Max.)	60 Watts
Vibration	Tested to withstand 5G's from 20 to 260 Hz
Mounting	Designed to operate when mounted directly on an engine generator set. It is recommended to be mounted vertically for optimum cooling.
Parallel Compensation (Terminals 1 & 2)	5A at 25VA, Droop Adj. to 6%
Overall Dimensions	
Height	11.5 Inches (292.10 MM)
Width	8.375 Inches (212.72 MM)
Depth	5.0 Inches (127.00 MM)
Weight	13 Lb. (5.8 Kg)
Finish	Dark brown, lusterless, textured baked enamel.

TABLE 1-2 REGULATOR DATA

MODEL	POWER INPUT (3)		OUTPUT RATING			SENSING		PARALLEL COMPENSATION		FIELD RESISTANCE	
	VOLTAGE RANGE	FREQ	VA	MAXIMUM CONTINUOUS VOLTS	AMPS	VOLTS	AMPS	VA BURDEN (LESS THAN)	AMPERES INPUT		VA BURDEN
SR4A	95-139 +10%	50/60	840	63	7	90	10	10	5	25	9
SP9A	190-277 +10%	50/60	1680	125	7	180	10	10	5	25	18

- NOTES: (1) The actual Input VA is equal to the dc output current times input voltage
 (2) Sensing voltage may be single or three phase
 (3) If correct voltage is not available for power input, a suitable power transformer must be selected. (See paragraph 3.2.5)

1.3 OPTIONAL FEATURES

The internal voltage regulator optional features listed below are designated by a combination of letters and numbers in the complete model number. (See Table 1-4 and/or contact the factory for additional variations).

- a. Parallel compensation
- c. Voltage build up relay
- b. Single or three-phase sensing.
- d. Sensing Voltage
- e. Cover
- f. Voltage adjust rheostat
- g. Type of stability circuit

1.4 ACCESSORIES

The following is a partial list of accessories that are available with the SR4A and SR8A Voltage Regulators.

- 1. Underfrequency protection
- 2. Excitation support systems
- 3. EMI suppression filters
- 4. Low and medium voltage power isolation transformers
- 5. Paralleling current transformers
- 6. Manual voltage control modules
- 7. Volts per hertz sensing modules
- 8. DC sensing modules
- 9. 400 hertz regulator
- 10. Voltage regulators operating from 60 hertz power on 400 hertz generators
- 11. Wide range voltage adjust circuit components
- 12. VAR/Power Factor Controller
- 13. Overvoltage protection
- 14. Control switches
- 15. Motor operated controls
- 16. Line drop compensators
- 17. Voltage transient suppression filters.

Information covering these accessories may be obtained by consulting the applicable instruction manual and product bulletin, or by contacting your nearest Basler Electric Sales Representative or the factory.

5. SPECIFICATION - BASIC A.V.R.

Power Handling

Up to 1 kW.

Exciter Field Current

10A max. continuous.

Exciter Field Voltage

130v max. continuous.

150 to 190v peak for line voltage in range 380 to 450v, and
120 to 150v peak for line voltages in range 200 to 240v.

Accuracy of Voltage Regulation

$\pm 1\%$ subject to the output of the unit, remaining within rating, and for a temperature variation not exceeding $\pm 15^{\circ}\text{C}$.

Operating Voltages

Nominal line voltages in the range 380v to 450v 50/60Hz (standard) and 200v to 240v (non-standard) with adjustment of $\pm 10\%$ on internal or remote auto-control potentiometer. (The latter is an optional extra).

Parallel Operation

On receipt of a suitable line current signal from a 5A C.T. - 1VA Burden, the regulator may be given a drooping line voltage/VAR characteristic suitable for parallel operation of generators (Q.C.C.) (Up to 10% droop for rated current, zero p.f.).

Frequency Cut-off

If frequency falls below 90% nominal (± 1 Hz) the generator voltage is brought to below half of its nominal value at half speed, and is restored if the frequency recovers.

Exciter Field Voltage Limit

A limit circuit with an inverse time delay characteristic may be set to operate at a preset field voltage in the range 60v to 140v, bringing field voltage down to the set level after a time given by the equation:

$$t \approx 20 \log_{10} \frac{V_s - V_1}{V_s - V_0} \text{ seconds}$$

where V_s is the field voltage surge, V_1 is the initial field voltage and V_0 is the operating voltage level.

The standard A.V.R. is pre-set to 130 volts.

Manual Control

The basic regulator includes a manual control circuit such that the 'auto' electronic control circuits may be de-energised using an external auto/manual switch and field voltage is then regulated to a level set by an external manual control potentiometer. Under manual control line voltage can be adjusted from approximately 50% to 100% nominal. The external components are optional extras.

Residual Voltage

At least 4v RMS line to line is required for satisfactory build up.

Ambient Temperature Range - within vicinity of the A.V.R.

Operating -20°C to 60°C

Storage -40°C to 100°C .

Overall Dimensions:

305mm x 215mm x 40mm (depth)

6. REACTOR - OPTIONAL SUPPLY

6.1. REMOTE AUTO AND MANUAL CONTROL POTENTIOMETERS

Colvern (LR 420), 3 watt, 10 kOhm or equivalent.
Hilol (004V a.c., 11m) or equivalent.

- 1) Remote manual and auto control potentiometers are fixed to the line voltage and must be connected through cable fused at 500 mA. Failure of the auto control fuse will permit continued operation on manual control (and vice versa).
- 2) To prevent 'pick-up' affecting A.V.R. performance when long control cables are used, the above potentiometers should be connected using screened cable (protected by an outer earthed sheath for reasons of safety). Maximum length, 50m.
- 3) Voltage rating - 600v a.c. screen to earth and 200v a.c. core to screen.

6.2 SHORT CIRCUIT MAINTENANCE EQUIPMENT

- 1) Excitation C.T.'s selected to contract - depend on generator rating and short circuit requirements. For compatibility with the rectifier assembly :-

Knee point voltage not to exceed 80v a.c.
Steady state current rating not to exceed 6A.
Short term overload - 24A for 5 seconds.

ii) Rectifier Assembly

Contactor Rating: Contact Rating 500v a.c.
16A a.c. continuous.
78A a.c. breaking.

Coil Rating: 313 to 477v 50Hz or 416 to 550v 60Hz (standard)
184 to 242v 50Hz or 220 to 290v 60Hz (non-standard).

Rectifier Rating: Device voltage ratings, 600v PIV.
Stack output current rating 40A for 5 seconds.

Overall dimensions: 180mm x 140mm x 105mm (depth).

6.3 AUTO/MANUAL/OFF SWITCH

Stone Platt A.301S, CR2634, or equivalent.

Specification: 4-pole, 3-way, rotary switch, pole D to be make before break, other poles break before make.

Rating: Poles A & B - 10A, 250v a.c. Pole C - Nominal 30v;
500vA, 600v a.c. on fault. Pole D - 600v a.c., 10A.

6.4 DIODE FAILURE INDICATOR

Suitable for front panel mounting and requiring exciter field current supply.

Field current rating: 5/10A depending on series or parallel connection of transformer winding. See circuit in Fig. 4.

Approximate weight: 2 kg.

Dimensions and fixing details: see Fig. 5.

6.5 FIELD APPLICATION CONTACTOR

A.C. Block Contactor.

Contacts: 500v a.c. 16A two normally open,
one normally closed.

Coil: Select to contract.

6.6 SINGLE/PARALLEL RUN SWITCH

Plessey Interconnect 50705 or equivalent.

Rating: 1000vA, 5v a.c.

600v a.c. contacts to case.

NOTE: Interconnecting cabling to be 10A 600v a.c. with exception of potentiometers - see 6.1 above.

7. RECOMMENDED SPARES

ITEM	QUANTITY	ASSY. REF.	TYPE	BRUSH REF.
Fuses	3 sets (total 9)	FS1, FS2, FS3	10F21X	9870666-01
Fuses	3 sets (total 6)	FS4, FS5	0.5A	9871586-02
Set of AVR Semiconductors comprising:				
Diode	1	D1, D2 on AVR	S12 AN12	28233-058
Diode	1	D10 on AVR	DSA1 17-14	28255-501
Thyristor	1	THY1 on AVR	408121006	28133-158
Short Circuit Clearance Contactor	1	--	A5EA-EG10	25771-219
Dust Cover for above	1	--	Polythene sleeve 220mm long	Free Issue

*NOTE: Contactor coil voltage may vary according to individual machine voltage. Check with BEM Ltd., SMC Design Dept. per individual machine on any contract.
Ref. shown is for 3-17-115v, 50Hz or 116-500v, 60Hz.

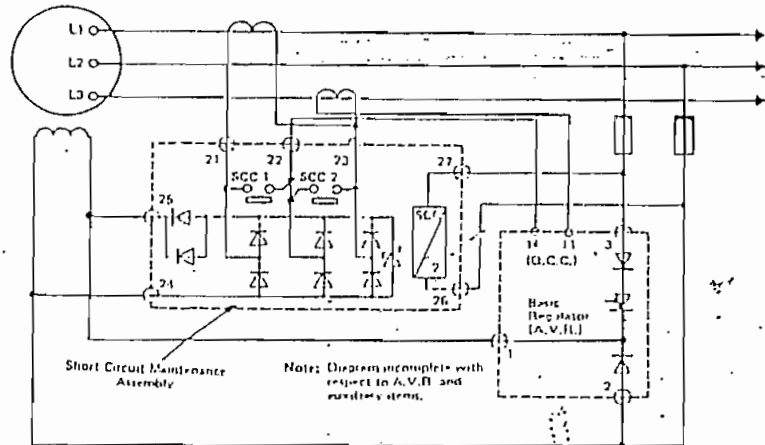
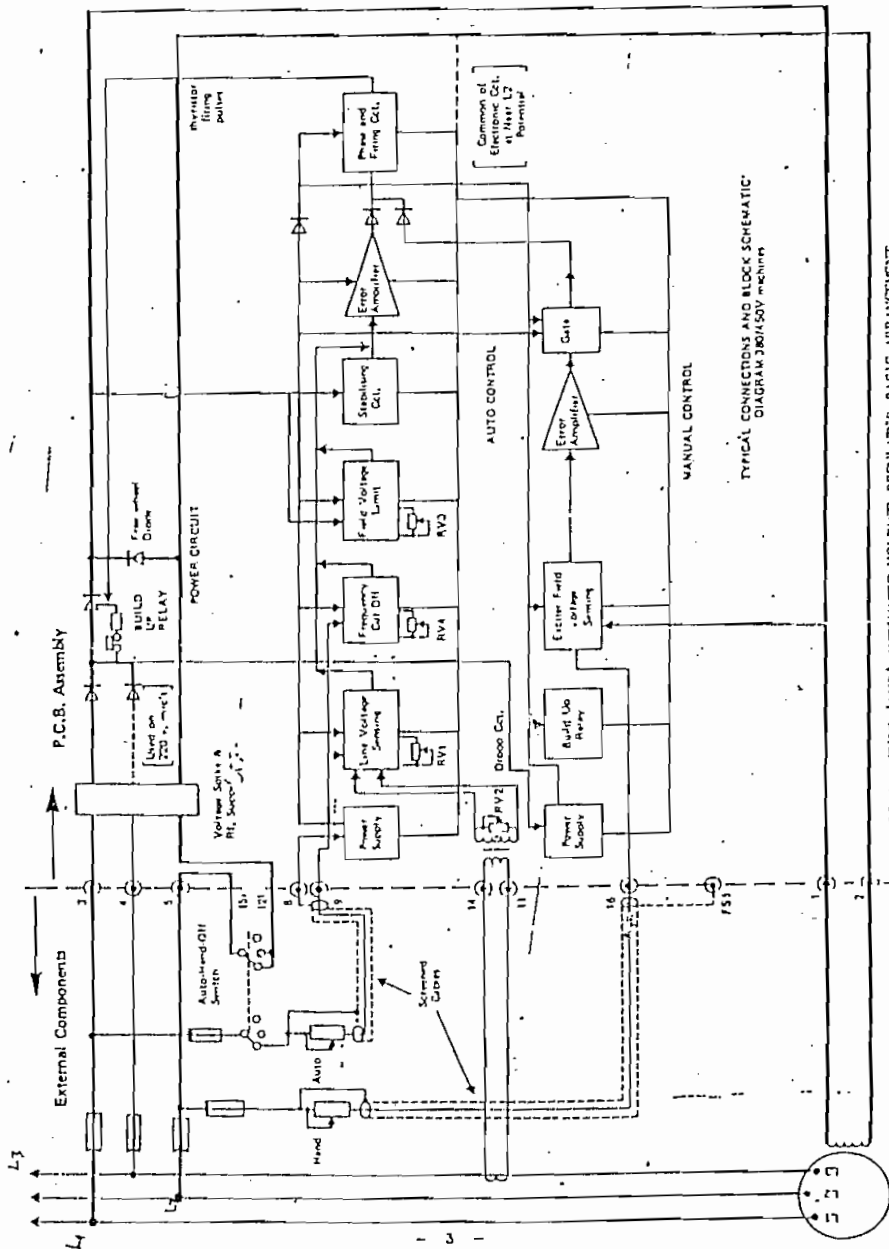


Fig.3 - Typical Connection Diagram for Short Circuit Maintenance



TYPICAL CONNECTIONS AND BLOCK SCHEMATIC
DIAGRAM 300V/50V machine

FIG. 1 - TYPE 'LVR' AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR BASIC ARRANGEMENT



<p>corriente conductores ales</p>	<p>10 <u>Especificaciones técnicas de los reguladores</u> <u>Unitrol 3210...13</u></p>	
	<p>10.1 <u>Valores de entrada</u></p>	
<p>en la fase transformador</p>	<p>Tensión de entrada, tensión de medida, terminales L1, L2 y L3</p>	<p>3 x 100 V, 1 x 100 V, 150 V c.c.</p>
<p>o T4 se</p>	<p>Frecuencia de la tensión de entrada</p>	<p>40 ... 1000 c/s</p>
	<p>Potencia de los transformadores de medida</p>	<p>3 VA</p>
<p>de 0.1 pl no</p>	<p>Alimentación del amplificador terminales L13 y L14</p>	<p>110 V, 0.3 A</p>
<p>lugar hace cur-</p>	<p>Influencia del estorbo terminales L4 y L5</p>	<p>1 A, 5 VA</p>
	<p>Alimentación del elemento de con- trol final</p>	
	<p>tensión máxima</p>	<p>U_{c.a.} = 220 V</p>
	<p>frecuencia</p>	<p>40...100 c/s, 80...120 c/s</p>
	<p>corriente máxima</p>	<p>66 A</p>
	<p>Tensión residual en los termina- les R' y S'</p>	<p>mín, 3 V</p>
	<p>Entrada adicional L9 y L8</p>	
	<p>Impedancia de entrada</p>	<p>20 kohm</p>
	<p>tensión máxima admisible</p>	<p>± 15 V</p>

Entrada de limitación L10 y L15

Impedancia de entrada 22 kohn
Tensión máxima admisible ± 15 v

10.2 Valores de salida

Potencia de salida máx. 10 kW
Corriente de salida máx. 60 A
Tensión de salida para
Unitrol 3210 y 3211
 $U_{max} = k \cdot U_{c.s.}$

a 50 c/s	k = 0,80
a 60 c/s	k = 0,79
a 100 c/s	k = 0,77
a 120 c/s	k = 0,76
a 50 c/s	k = 0,70
a 60 c/s	k = 0,76
a 100 c/s	k = 0,72
a 120 c/s	k = 0,70

Unitrol 3212 y 3215

10.3 Rangos de ajuste

Valor de referencia interno
externo min. ± 10 %
0...115 % (solamente
posible con clamping
ción externa)

Influencia del estatismo de
la corriente reactiva 0...10 %

10.4 Valores de transición

Amplificación del amplificador V (Factor de amplificación) = 100
PID con realimentación negativa de 2.2. Mohm

10.5 Valores del medio ambiente

Temperatura ambiente -25°C... + 55 °C
Pérdidas máx. 130 W

U
o.o.

10.3 Datos constructivos

k = 0.20

Ejecución A prueba contra influencia climática

k = 0.75

k = 0.77

Tipo: Módulo de regulador SE/CT enchufable

k = 0.76

Unidad-elemento de control final SE/15T enchufable

k = 0.70

k = 0.70

Dimensiones principales AR 407 052

k = 0.72

Pesos: módulo del regulador 1.750 kg

k = 0.70

módulo del elemento de control final 0.750 kg

Unidad 7.500 kg

Gabinete

O S

(solamente con alimentacion terna)

Adjuntos

Esquema AR 392 663

AR 392 664

APENDICE H

APENDICE H

TABLAS DE ELEMENTOS Y COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO TOT.
1	Zócalo 8 p ww	4	1225	4900
2	Zócalo 14 p ww	8	1725	13800
3	Zócalo 16 p ww	3	1975	5925
4	Zócalo 18 p ww	3	2225	6675
5	Zócalo 20 p ww	2	3225	6450
6	Zócalo 40' p ww	1	3725	3725
7	Zócalo 8 p	1	1125	1125
8	Zócalo 14 p	2	1375	2750
9	Resistencia integrada	2	1225	2450
10	Resistencia 1/4W	75	50	3750
11	Resistencia 1/2W	1	75	75
12	Resistencia 1W	8	350	2800
13	Resistencia 2W	9	600	5400
14	Resistencia 10W	8	1200	9600
15	Resistencia 25W	2	4200	8400
16	Resistencia 50W	1	6500	6500
17	Capacitor 0.1 μ F / 50V	15	575	8625
18	Capacitor tantalio	6	1125	6750
19	Capacitor electrolítico	11	475	5225
20	Capacitor cerámica	3	325	975
21	Capacitor 2200 μ F / 35V	2	3225	6450
22	Capacitor 0.1 μ F/ 600V	4	1000	4000
23	Capacitor 0.68 μ F/ 400V	6	3000	18000
24	Capacitor 0.47 μ F/ 400V	3	1250	3750
25	Capacitor 2 μ F/ 350V	1	4250	4250
26	Capacitor 0.47 μ F/ 1000V	3	3000	9000

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO TOT.
27	Diodo 1N4148	17	175	2975
28	Diodo 1N4007	21	300	6300
29	Zener 12V / 1W	2	625	1250
30	Zener 5.1V / 1/2W	1	625	625
31	Puente rectificador BR34	2	3500	7000
32	Puente rectificador RC05	3	2500	7500
33	LED	9	300	2700
34	Dipswitch 2 p	1	2125	2125
35	Pulsante	1	3475	3475
36	Disipador 6030B	2	1225	2450
37	Disipador DUDE4	5	12375	61875
38	Tarjeta para wire wrap	1	29875	29875
39	Conector 22SE	1	6875	6875
40	Conector Hembra cable plano	2	1625	3250
41	Conector macho cable plano	2	2875	5750
42	Cable plano 20h	0.5m	1250	1250
43	Relé 120V / 3A	1	18000	18000
44	Potenciómetro 1/2 W	4	2225	8900
45	Postes/aisladores	20	400	8000
46	Transformador de pulsos	3	11100	33300
47	Varistor Z320LA15A	3	2225	6675
48	Transformador 110/12V, @2A	1	17375	17375
49	Transformador 110/110V, @0.2A	1	10250	10250
50	Trans. corr. 100/5A, 1.5VA	2	28500	57000
51	Filtro RFI 6EF1	1	9875	9875
52	Cable de conexión	1	5625	5625