

4 FUNCIONAMIENTO INTERCONECTADO

Ing. Victor Hugo Kurtz
kurtzvh@fio.unam.edu.ar

SISTEMA DE PUESTA EN PARALELO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS CON GENERACION ASINCRONICA.

Los Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos pueden funcionar en forma aislada, interconectada (en paralelo) o mixta.

La generación en paralelo de microcentrales hidroeléctricas entre si, o con otras fuente energéticas, constituye una solución a muy bajo costo para afrontar la creciente demanda de energía eléctrica del mundo actual respetando los principios de ecología.

En este apartado se presentan los lineamientos generales y circuitos probados¹ construidos con tecnología apropiada, para la implementación de un sistema automático de puesta en paralelo, de generadores asincrónicos accionados por microturbinas hidráulicas.

3.0 Tipos de Generación

La energía hidráulica disponible en forma mecánica en el eje de la turbina, es posible transformar en energía eléctrica, por medio de generadores **Sincrónicos** y **Asincrónicos**.-

3.1 Generación Sincrónica:

La generación sincrónica, ampliamente estudiada y difundida, requiere de equipamiento especial y sofisticado para su funcionamiento y control, mas aun en centrales que trabajen en paralelo y sin personal permanente, como lo es el caso de la microgeneración de la Provincia de Misiones en La Argentina. Por lo que la generación con grupos sincrónicos es menos conveniente que su símil asincrónico, en lo que a microgeneración se refiere.

3.2 Generación Asincronica:

Los generadores asincrónicos comúnmente utilizados en los microaprovechamientos hidroeléctricos, son motores eléctricos de inducción con rotor a jaula de ardilla, del tipo comercial estándar. La generación se produce accionando "el motor" a velocidad de hipersincronismo (velocidad superior a la de sincronismo) y excitando el estator con una determinada tensión.

4.0 POSIBILIDADES DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR ASINCRONICO:

4.1 Funcionamiento Aislado o Descentralizado

¹ El sistema fue probando y analizado en laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Al día de hoy se encuentran en funcionamiento sistemas en distintos puntos geográficos, tanto de Argentina como de otros países, limítrofe o no.

Si se conecta un capacitor en paralelo con el motor de inducción y se acciona a una velocidad de hipersincronismo dicha maquina funcionará como generador. El generador asincrónico así formado, toma del capacitor la potencia reactiva necesaria para su excitación. La tensión generada se ira reduciendo considerablemente al aumentar la carga de consumo, por lo que se hace necesaria una regulación de tensión y frecuencia que permita su funcionamiento en forma aislada.

4.2 Funcionamiento Interconectado

El sistema de generación de la microcentral se encuentra conectado en paralelo a otro sistema energético de mayor potencia. El comportamiento de un motor como generador en estos casos es muy bueno, ya que la tensión y la frecuencia son impuestas por la red. Por lo que hace innecesario el uso de regulador de tensión y frecuencia, con la consiguiente reducción de costes y mantenimiento.

5.0 GENERACION EN PARALELO

Generación en paralelo, se entiende como la del funcionamiento interconectado, la cual presenta varias ventajas.

5.1 Ventajas del Sistema en Paralelo

La gran ventaja del sistema interconectado la tiene el pequeño usuario que durante los períodos de seca puede seguir consumiendo sin límites de potencia ya que cuando llueva y haya buen caudal podrá devolver a la compañía de electricidad la energía que consumió en el periodo de seca.

Otra gran ventaja de poder generar en paralelo, es que se puede arrancar equipo pesado sin que se presenten grandes variaciones en la tensión de la red (arranque de grandes motores).

6.0 COMO PONER EN PARALELO

Existen básicamente dos maneras de entrar en paralelo con generadores asincronismos a la red:

- a) Entrada como Generador.
- b) Entrada como Motor.

a) Entrada como Generador:

Es prácticamente como efectuar un paralelo de generador sincrónico; donde se controla entre otros parámetros: La frecuencia generada, excitación, velocidad, secuencia de fases, etc.

b) Entrada como Motor:

Es más económica y segura ya que no necesita equipamiento sofisticado. La entrada como motor es la que nos ocupa en esta oportunidad.

6.1 Entrada manual en paralelo:

1- Se comprueba la tensión nominal en cada fase de la línea con la cual se pretende entrar en paralelo.

(Por Ej. observando los voltímetros)

2- Se desconecta el capacitor de excitación del generador.

3- Se hace fluir agua a través de la turbina para poner en movimiento el grupo turbina-generador, hasta aproximadamente la velocidad nominal del generador (para poner en marcha las grandes masas inerciales que de otro modo ocasionarían grandes corrientes de arranque del motor).

4- Se conecta el generador como motor.

5- Se conecta el capacitor de excitación.

6- Se abre mas el alabe regulador de caudal de la turbina, hasta que se genere la potencia nominal o se turbine el caudal nominal para la época del año.

6.2 Entrada automática en paralelo:

El sistema automático de puesta en paralelo de generadores asincrónico (abreviadamente "PARALELEX"), no efectúa tan solo el acoplamiento en paralelo del grupo turbina-generador; sino que también en forma automática desacopla de la red al generador en caso de falta de energía en la red principal, falta de agua, sobrevelocidad, retorno de energía, etc.

El funcionamiento del sistema "PARALELEX", puede dividirse en dos partes:

a) **El acople en paralelo.**

b) **El desacople del paralelo**, que a su vez se divide en:

b₁) **Desacople permanente**: Esta operación desacoplar del paralelo al generador y permanece en ese estado hasta que se efectúe un "RESET" (a cargo de un operario).

b₂) **Desacople transitorio**: desconecta el sistema de la red, y permanece en ese estado mientras perdure la anomalía retornando luego al punto a).

7.0 DESCRIPCION DEL EQUIPO AUTOMÁTICO "PARALELEX"

El equipo "PARALELEX", está formado por los siguientes módulos (ver fig.1):

1. Módulo **monitor de tensión.**
2. Módulo **sensor de corriente.**
3. Módulo de **velocidad.**
4. "RISE" relé indicador de **sentido de energía** (opcional).
5. Módulo de **comando.**

7.1 Funcionamiento del "PARALELEX"

7.1.1 Acoplamiento en paralelo:

1. El **módulo monitor de tensión**, se encarga de verificar que la línea se encuentre en condiciones normales de tensión, en caso afirmativo, energiza el servo motor correspondiente para que mueva el alabe de la turbina y permita fluir el agua que pondrá en movimiento el grupo turbina-generator. A la vez dispara el temporizador de retardo del "RISE" (*Relé Indicador de Sentido de Energía*).
2. Cuando se llega a velocidad nominal o próxima a esta, el **módulo de velocidad**, conecta el generador como motor a la línea.
3. Al llegar a la corriente consigna de generación, el **módulo sensor de corriente**, interrumpe la energía que alimenta al servo motor del alabe regulador.
4. Una vez concluida la fase de acoplamiento y ciclo de temporización de retardo; se conecta el "RISE", el cual impide que el generador funcione como motor consumiendo energía de la red, como en el caso de falta de agua a turbinar.

7.1.2 Desacoplamiento del paralelo:

El desacoplamiento del paralelo, ya sea transitorio o permanente, puede producirse por las siguientes causas:

1. *Por falta de energía, en una o mas fases de la red.*
2. *Por Sobrevelocidad (embalamiento).*
3. *Fin de carrera de apertura.*
4. *Funcionamiento del generador como motor.*

El desacople indicado en el punto 1 se considera un desacople tipo transitorio. Por que una vez que retorna a la normalidad la energía en la red de mayor potencia, se inicia nuevamente la maniobra de puesta en paralelo.

Los puntos 2, 3 y 4, son desacople permanente, por lo que una vez producida la desconexión permanece en estado de desconexión, (mientras que indicadores luminosos denuncian el motivo de salida de servicio del sistema), hasta la intervención de un operario (ya sea en forma personal o a distancia), "*resetee*" (reactive) el sistema.

DIAGRAMA EN BLOQUES DEL "PARALELEX"

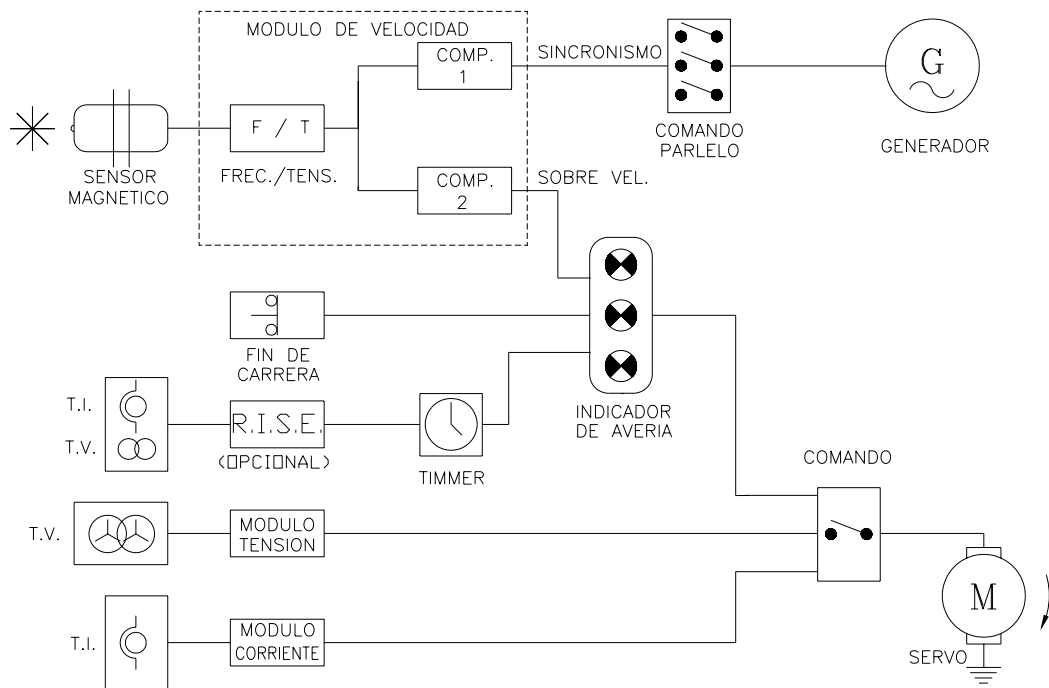


Fig.1

DESCRIPCION DE LOS DISTINTOS MODULOS

8.0 MODULO MONITOR DE TENSION

8.1 Introducción

Este bloque tiene la función de detectar la presencia o ausencia de energía eléctrica en la línea de potencia a la cual será conectado en paralelo el grupo turbina-generator.

8.2 Funcionamiento

Tres comparadores controlan respecto a una referencia el nivel de tensión de la línea, si en cualquiera de las fases disminuye el valor de la tensión por debajo de la referencia, libera el relé de salida. Cuando hay tensión normal en todas las fases se acciona el relé de salida.

8.3 Descripción del Circuito

El circuito consta básicamente de tres fuentes de tensión continua (ver fig.2), proporcionales a las respectivas tensiones conectadas a su circuito de entrada. Cada tensión de fase una vez reducida y rectificadas, es comparada con una referencia de tensión estable, por los tres circuitos operacionales, CI₁, CI₂ y CI₃ que con los diodos D₇, D₈ y D₉; forman una compuerta "OR", que en condiciones normales no hace conducir a TR₂, posibilitando la conducción de TR₁ y por lo tanto del relevador RL₃... En caso de subtensión, pasa a conducción TR₂, que bloquea TR₁ desactivando RL₃, y liberando sus contactos.

Cuadro indicativo de las tensiones de conmutación, para distintos valores de tensión de referencia:

| Tensión de referencia (V) | Tensión de entrada (V) | Tensión de salida (V) |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| 6,500 | 6,030 | 5,960 |
| 5,500 | 6,550 | 6,400 |
| 6,000 | 5,550 | 5,320 |
| 5,000 | 5,170 | 4,940 |
| 4,000 | 4,070 | 3,920 |
| 3,000 | 3,030 | 2,980 |
| 2,000 | 2,050 | 1,910 |
| 0,995 | 1,026 | 1,010 |
| 0,800 | 0,820 | 0,789 |
| 0,699 | 0,713 | 0,698 |
| 0,502 | 0,513 | 0,505 |
| 0,404 | 0,410 | 0,406 |
| 0,106 | 0,108 | 0,107 |

Para los distintos valores de tensión de referencia le corresponden los siguientes valores de tensión de entrada:

| Tensión de referencia (V) | Tensión de entrada (V) |
|---------------------------|------------------------|
| 6,00 | 100 |
| 6,50 | 110 |
| 5,50 | 90 |
| 5,00 | 85 |
| 4,00 | 70 |
| 3,00 | 50 |
| 2,00 | 30 |
| 0,995 | 9,20 |

CIRCUITO DEL MODULO DE TENSION

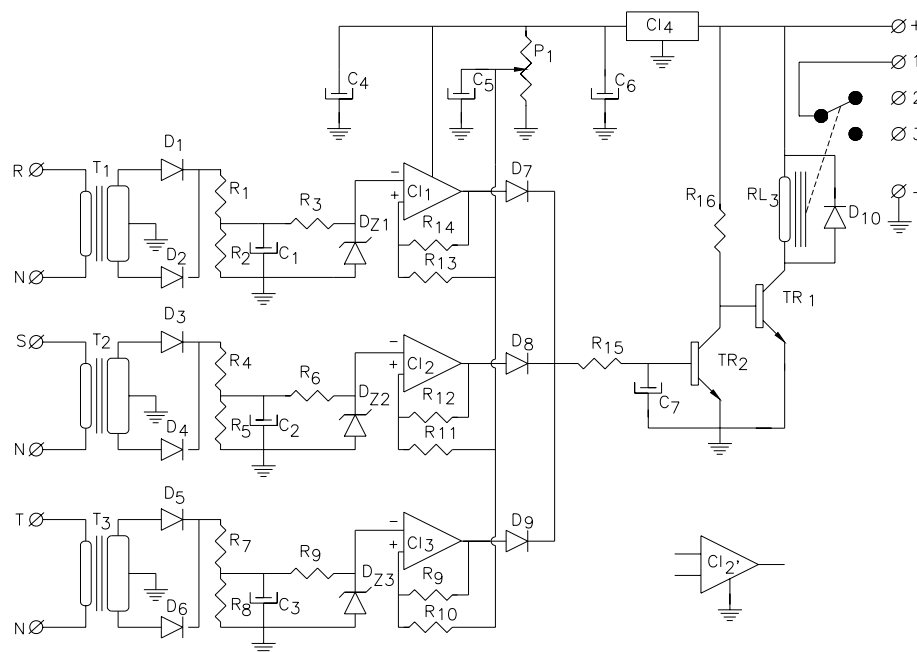


Fig.2

9.0 MODULO SENSOR DE CORRIENTE

Para el sensor de corriente se utiliza el circuito de la figura 3, que tiene la función de detectar la corriente en la línea de carga a los efectos de cesar la apertura del alabe, en el punto que se considera de funcionamiento.

9.1 Descripción del Circuito

Se utiliza un transformador de corriente tipo comercial de X/5A., en cuyo secundario se conecta una resistencia R_1 (ver fig.4) para transformar la corriente secundaria en tensión, que luego de rectificadas por el puente formado por los diodos D_1 a D_4 con C_1 se obtiene una tensión continua proporcional a la corriente que circula por el primario del transformador de intensidad y que corresponde a su vez, a la corriente de una fase del circuito de consumo. La tensión continua así obtenida, es comparada por el circuito operacional CI_1 , con una tensión de referencia que se fija con P_1 . La salida del operacional CI_1 por medio de T_1 acciona el relevador RL_1 .

9.2 Funcionamiento

Cuando I_1 (corriente generada) alcanza el valor prefijado por P_1 , (Punto de operación), RL_1 cierra sus contactos y permanece retenido por D_6 (esto último seleccionable dependiendo del aprovechamiento). Ver fig 4.

ENSAYO:

Para un transformador de intensidad comercial 20/5 A., 5 VA, clase 1 se obtuvieron los siguientes valores:

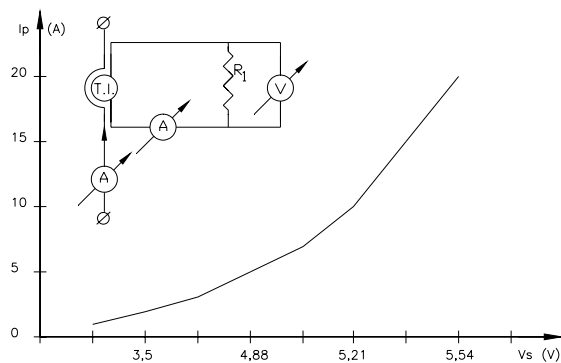


Fig.3

$R_c=470\Omega//470\Omega$

| I_p (A) | V_s (V) |
|-----------|-----------|
| 1 | 2,78 |
| 2 | 3,50 |
| 3 | 4,12 |
| 6 | 4,88 |
| 8 | 5,09 |
| 10 | 5,21 |
| 15 | 5,41 |
| 20 | 5,54 |

$R_c=330\Omega//330\Omega$

| I_p (A) | V_s (V) |
|-----------|-----------|
| 1 | 2,62 |
| 2 | 3,66 |
| 3 | 4,25 |
| 6 | 4,89 |
| 8 | 5,13 |
| 10 | 5,24 |
| 15 | 5,44 |
| 20 | 5,56 |
| 30 | 5,70 |
| 40 | 5,80 |

Cuadro indicativo de las tensiones del sistema de sensado de corriente, para cada estado de tensión de referencia.

| Tensión de referencia (V) | Conmutador de entrada (V) | Conmutador de salida (V) |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1,168 | 2 | 1,9 |
| 2,088 | 2 | 1,9 |
| 3,076 | 2 | 1,9 |
| 3,500 | 2 | 1,9 |
| 4,000 | 2,9 | 1,9 |
| 5,020 | 3,9 | 1,9 |
| 6,000 | 4,9 | 1,9 |
| 7,020 | 5,9 | 1,9 |
| 8,110 | 6,9 | 2,0 |
| 9,050 | 7,9 | 2,2 |
| 10,030 | 8,9 | 2,7 |
| 11,040 | 9,9 | 2,7 |
| 12,050 | 10,9 | 3,0 maximo |

CIRCUITO MODULO SENSOR DE CORRIENTE

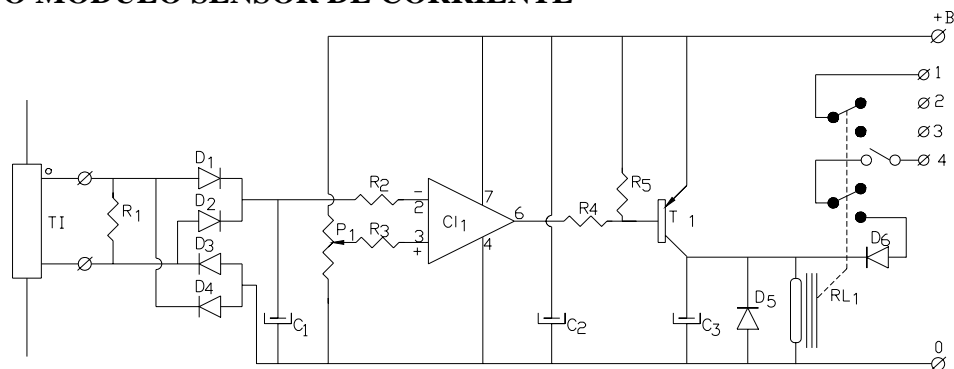


Fig.4

10 MODULO DE VELOCIDAD

10.1 Introducción

El módulo de velocidad esta formado básicamente por cuatro bloques (ver fig.5).

- *Sensor Magnético.*
- *Conversor Frecuencia-Tensión.*
- *Comparador de velocidad de sincronismo*
- *Comparador de sobrevelocidad*

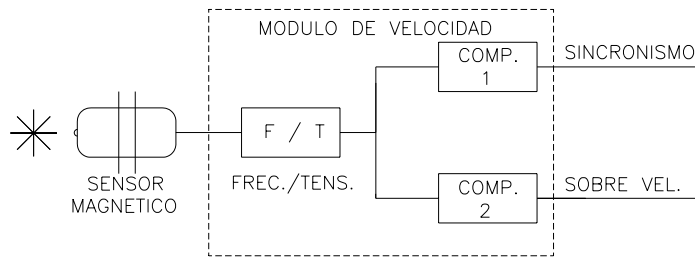


Fig.5

10.2 DESCRIPCION DE LOS DISTINTOS BLOQUES

10.2.1 Sensor Primario de Velocidad

El sensor de velocidad traduce la señal de velocidad (magnitud mecánica), en una magnitud eléctrica, compatible con el resto del sistema.

10.2.2 Captor Magnético

El captor magnético detecta las variaciones de campo magnético, que tienen lugar en las inmediaciones de su terminal captor; dicha variación magnético puede obtenerse por ejemplo:

- De una rueda dentada que se encuentre girando al unísono con el elemento rotor, cuya velocidad se quiere conocer.

- O para el caso concreto de microgeneración hidráulica, de la cabeza de los bulones de sujeción, del manchón de acople entre la turbina y el generador.

10.2.3 Ventajas del Captor Magnético

La ventaja del captor magnético, es que por su construcción, se presenta mas acorde con la instalación en salas de maquinas de microturbinas, que funcionen sin personal permanente (la totalidad de los microaprovechamientos en Misiones), ya que dichos captos no requieren mantenimiento alguno, en comparación con sus similares ópticos o mecánicos puros. La desventaja lo constituye su relativo alto costo.

10.2.4 La Frecuencia de Salida del Captor Magnético

La frecuencia de salida de los pulsos obtenidos a la salida del sensor magnético, se pueden expresar en función de la velocidad angular sensada, de la siguiente forma:

$$f = \frac{N}{60} Z$$

Donde:

N: Velocidad angular (RPM)

Z: Numero de dientes de la rueda dentada

f: Frecuencia de pulsación de entrada (Hz)

Si se utilizan los seis bulones del manchón de acople se tiene que Z = 6, entonces la ecuación se reduce a:

$$f = \frac{N}{10}$$

$$f = \frac{N}{10} \quad (\text{Frecuencia en funcion de velocidad angular})$$

10.2.5 Conversor de Frecuencia-Tensión:

Dicho conversor se encarga de traducir los pulsos obtenidos a la salida del sensor magnético, en una tensión continua proporcional a la velocidad de rotación del grupo turbina-generador. Este tipo de circuito se experimentó ampliamente para otras aplicaciones también, las cuales serán, presentadas en otras oportunidades.

10.2.6 Principio de Funcionamiento:

El principio de funcionamiento se basa en la generación de pulsos de periodo constante, por cada paso por cero de la tensión de entrada (ver fig.6).

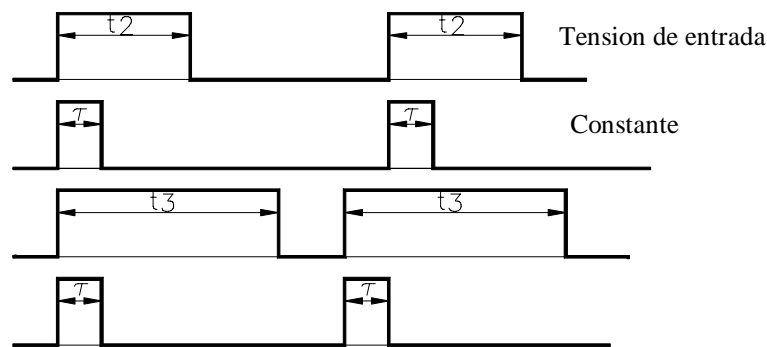


Fig.6

Obteniéndose a la salida una tensión continua proporcional a la velocidad (frec.) de entrada. Si consideramos que el **valor medio** de una función dependiente del tiempo ésta dado por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1)$$

Donde:

T = Periodo de la función
f(t) = Función en cuestión

Y la función que nos ocupa tiene la forma:



Entonces la función f(t), tendrá la forma: f(t) = V (dt)

y valdrá:

$$0 < t < \tau ; f(t_1) = V (dt)$$

$$\tau < t < T ; f(t_2) = 0$$

$$0 < t < T ; f(t) = f(t_1) + f(t_2) = V (dt) + C$$

Reemplazando en (1), tendremos:

$$\bar{F} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\tau} V(dt) + \int_{\tau}^T 0(dt) \right]$$

Como el segundo integrando es cero, la ecuación se reduce a:

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} V(dt) = \frac{\tau \cdot V}{T} \quad (2)$$

\bar{V} = Valor medio de la tensión de salida.
 τ = Periodo fijo generado por el circuito.
 V = Tensión máxima de salida
 T = Periodo

Pero τ y V son constantes por la característica del circuito, por lo que se puede hacer :

Quedando (2): $\bar{V} = K \cdot \frac{1}{T}$ y como la frecuencia se puede expresar como $f = \frac{1}{T}$

$$\tau \cdot V = K \text{ (constante)}$$

nos queda:

$$\bar{V} = K \cdot f$$

Esto indica que la tensión de salida (media) es proporcional a la frecuencia de entrada.

10.2.7 Descripción del Circuito

La salida del captor magnético es con colector abierto, por lo que cada vez que se produce una perturbación magnética en su cabezal captor, el transistor interno del captor conduce, produciendo la carga del capacitor C_{15} (ver fig.7-a), a través de R_3 y masa, disparando el monoestable formado por CI_1 y sus componentes anexos, por un tiempo T dado por : P_1 , R_4 y C_1 , obteniéndose a la salida de CI_1 una sucesión de pulsos proporcionales a la frecuencia de entrada.

La red formada por R_5 , R_6 , R_7 , C_3 , C_4 , C_5 , se encarga de convertir los pulsos cuadrados de salida en una tensión continua prácticamente sin ondulación (ripple).

El "ripple" a la salida del convertidor es función de la carga conectada a la salida de la red (según se ve en los gráficos adjuntos), por lo que, para minimizar este efecto se utiliza a continuación un circuito operacional CI_2 , en configuración seguidor de tensión.

10.2.8 Ensayo del Convertidor Frecuencia-Tensión

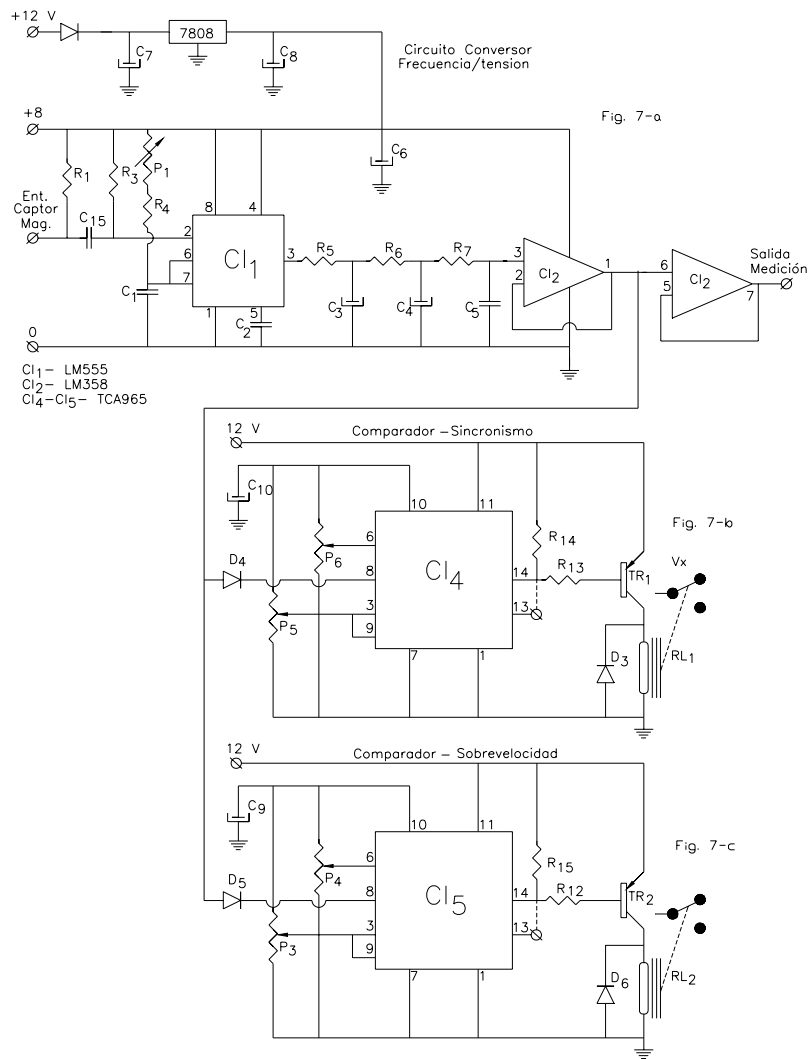
Para distintos estados de carga, sin el circuito seguidor de tensión.

| Frecuencia (Hz) | Salida (V) para $R_c = 100 \text{ K}\Omega$ | Salida (V) para $R_c = 1 \text{ M}\Omega$ |
|-----------------|---|---|
| 40 | 1,350 | 2,58 |
| 50 | 1,665 | 3,15 |
| 60 | 1,983 | 3,67 |
| 70 | 2,330 | 4,37 |
| 80 | 2,615 | 4,89 |
| 90 | 2,883 | 5,42 |
| 100 | 3,152 | 5,91 |

10.2.9 Comparadores

Las etapas comparadoras de velocidad de sincronismo (ver fig.7-b) y de sobrevelocidad (ver fig.7-a), están formadas por dos circuitos integrados CI4 y CI3 (TCA965), que son dos comparadores de ventana en configuración de disparador Schmitt, con histéresis y nivel de comparación regulables independientemente uno de otro. Dicho integrado posee en su configuración interna una fuente de tensión estabilizada que se usa como referencia. A la salida del comparador de velocidad de sincronismo se conecta el relé encargado de efectuar la maniobra de puesta en paralelo, vía el contactor de comando. Al terminal de salida del comparador de sobrevelocidad, se puede conectar un relé auxiliar con retención o un rectificador de silicio controlado (RSC) que envíe al cierre el alabe de la turbina.

CIRCUITOS DETECTORES DE SOBREVOLUCIDAD



11.0 RELE INDICADOR DE SENTIDO DE ENERGIA

11.1 Función

Es el módulo responsable de verificar el sentido del flujo de energía, una vez concluida la maniobra de paralelo.

El **relé indicador de sentido de energía (RISE)**, entra en acción cuando se invierte el sentido del flujo de energía, esto es: cuando el generador, por alguna razón comienza a trabajar como motor, consumiendo energía de la línea.

11.2 Forma de Actuar

Durante la operación de puesta en paralelo un temporizador accionado por el **módulo monitor de tensión**, retarda la acción del “RISE” a los efectos de que éste, no detecte el funcionamiento inicial como motor del generador; condición ésta necesaria para el método de conexión en paralelo presentada en esta oportunidad.

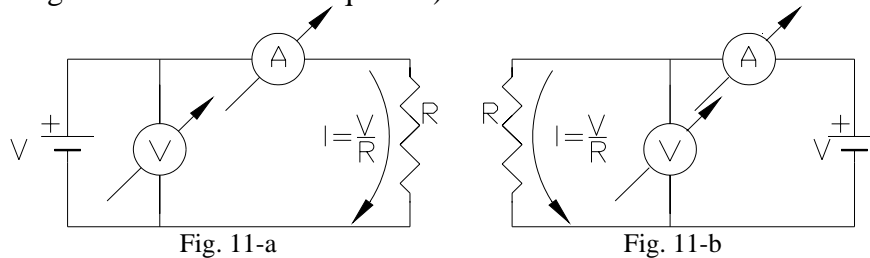
Una vez concluida la operación de paralelo el “RISE”, se encuentra en alerta y en el caso que el generador actúe como motor, envía al cierre el sistema, desacoplando el paralelo.

11.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL RISE

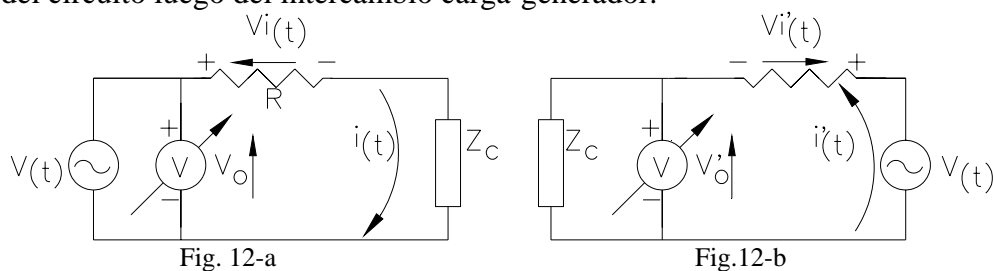
11.3.1 Introducción Teórica:

Se denomina sentido **directo** del flujo de energía al que tiene lugar desde la fuente hacia el sumidero; esto es: **del generador a la carga**.

Para hacer un análisis simplificado del funcionamiento, supongamos que trabajamos en corriente continua y tenemos un circuito como el de la fig.11-a, en este circuito, la corriente circula hacia la derecha, mientras que el voltímetro marca una tensión positiva, si conmutamos entre sí la fuente y la carga, el voltímetro va a seguir indicando tensión positiva, pero en cambio por el amperímetro va a circular una corriente igual a la anterior pero de sentido contrario, fig. 11-b. Es precisamente este cambio de sentido de la corriente el único índice del intercambio entre fuente y carga, o sea del cambio del flujo de energía (que en la fig. 11-a va de izquierda a derecha y en la fig. 11-b de derecha a izquierda).



En el caso de un sistema de corriente alterna, en todo instante vale el mismo análisis, consideremos entonces los circuitos de la fig. 12a y b. Las variables muestran el estado eléctrico del circuito luego del intercambio carga-generator.



De ambos circuitos se desprende:

$$V_0 = V_0' \quad v_0(t) = v_0'(t)$$

$$i(t) = -i'(t) \quad v_1(t) = -v_1'(t)$$

Que nada ha cambiado en el circuito, salvo una inversión de 180° en la onda de corriente.

Si se grafican los valores instantáneos de $v(t)$ e $i(t)$, (fig.13) se observa que el dispositivo deberá detectar la fase de la onda de corriente respecto de la tensión, o lo que es lo mismo, para el caso más general ($Z_c=Rc+jXc$) verificar si la onda de corriente está atrasada un ángulo ϕ o adelantada ($180^\circ - \phi$) con respecto a la onda de tensión.

En el caso en que el defasaje sea ϕ , en atraso diremos que está trabajando “en directa” (fig. 12-a) y cuando el defasaje sea ($180^\circ - \phi$), en adelante, será “en inversa” (fig. 12-b).

Para nuestro caso particular, el diseño considera solamente cargas con componente inductiva, debido a que es poco probable encontrar estados de carga capacitiva. Entonces el ángulo ϕ de defasaje será en atraso y su valor estará siempre comprendido entre 0° y 90° .

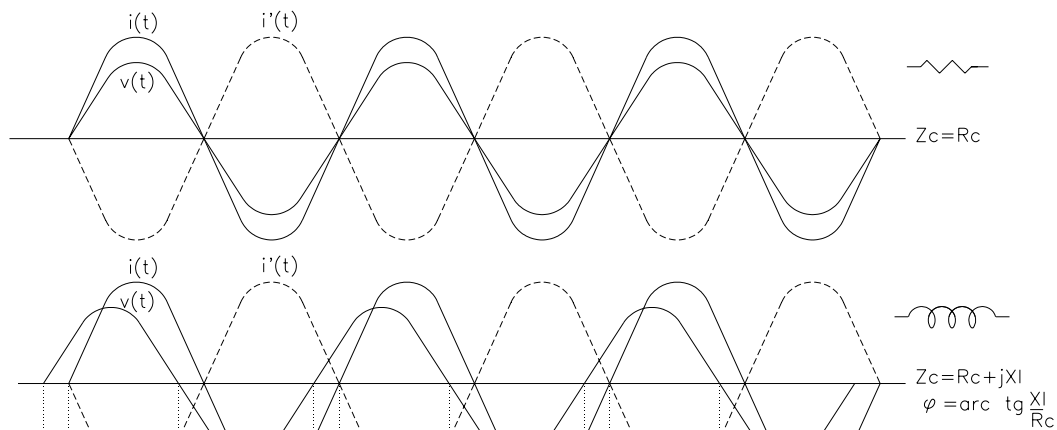


Fig. 13

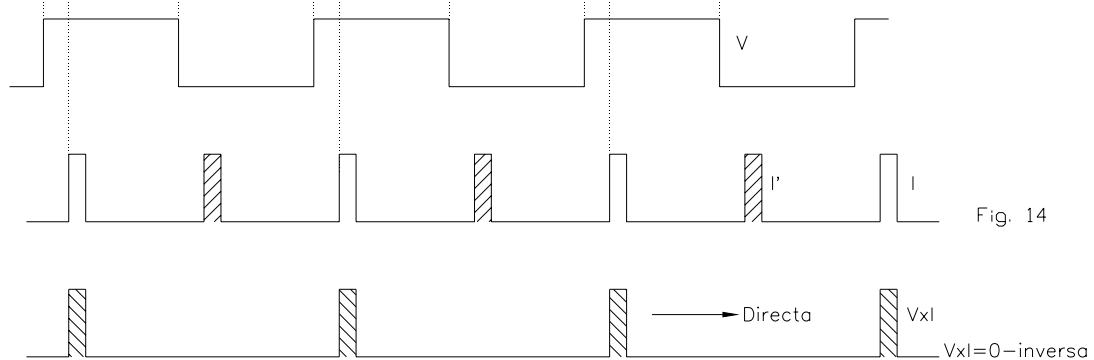


Fig. 14

11.4 Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento resulta de comparar en todo momento el defasaje entre la corriente de carga y la tensión de línea.

11.5 Diagrama en Bloque

El circuito está formado por los siguientes bloques, ver fig. 15.

- *Conformador de corriente.*
- *Monoestable de 300 μ seg.*
- *Conformador de tensión.*
- *Compuerta "AND".*
- *Monoestable de 120 mseg.*

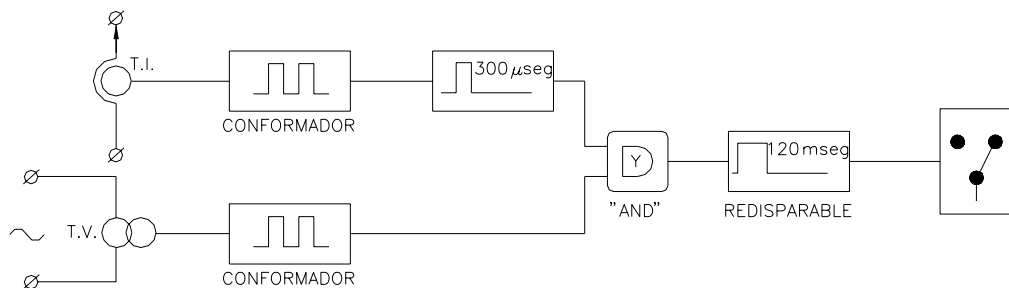


Fig.15

A las salidas de los conformadores de señal, de corriente y de tensión, se obtienen ondas cuadradas proporcionales; una angosta y otra ancha respectivamente, las que sumadas disparan el monoestable de 120 mseg.

11.6 Modo de Operación

El bloque conformador de tensión entrega a su salida una onda cuadrada proporcional a la onda sinusoidal de entrada, obtenida de un amplificador operacional en configuración no inversor, con una ganancia alta del orden de 10000, de forma de obtener una onda cuadrada prácticamente con el cruce por cero de la primera onda (fig.16). De la misma manera que actúa el conformador de tensión lo hace el de corriente, pero a su salida existe un monoestable por un período de 300 μ seg, por lo que se obtiene un pulso de este ancho y coincidente con el cruce por cero de la corriente.

La unidad comparadora está constituida por una compuerta "AND", a la que llega la muestra conformada de tensión y la muestra conformada de corriente, que en el caso de estar trabajando "en directa", el cero de corriente estará en retraso con respecto al cero de tensión y a la salida de la compuerta comparadora, se tendrá un pulso exactamente igual al pulso de corriente. En el caso de estar trabajando "en inversa", el punto de corriente se desfasa en 180° respecto al anterior y por lo tanto la salida del comparador se mantendrá en cero.

Trabajando en directa el pulso de salida de la compuerta "AND" mantiene alta la salida del monoestable de 120 mseg., que está formado por un circuito integrado monoestable

redispensible (1/2 CD4098), y cuando se trabaja en inversa, no habrá pulsos a la entrada del monoestable por lo que su salida se mantendrá bajo.

La salida del monoestable redispensible excita un transistor PNP cuando la señal sea cero y energiza un relevador que acciona el circuito de cierre del sistema.

11.7 El Circuito

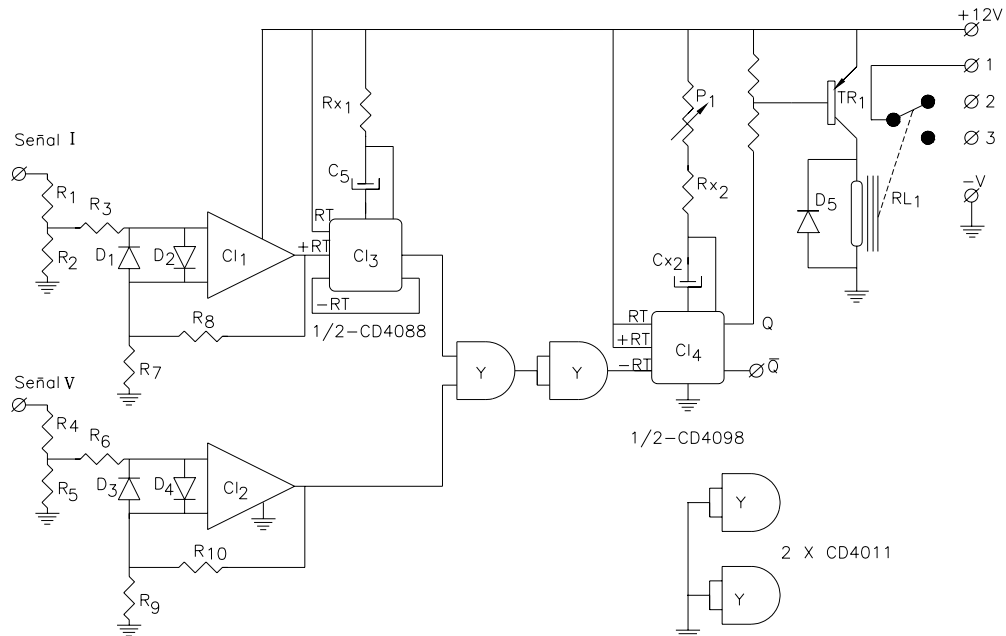


Fig.16

12.0 MODULO DE COMANDO

12.1 Diagramas Funcionales

12.1.1 Contactor de puesta en paralelo

Al llegar a la velocidad de sincronismo se cierra el contacto V1 (ver Fig.18). Si hay energía en las tres fases de la línea de gran potencia, T1 se encuentra cerrado por lo que permite llegar tensión a la bobina del contactor P, el cual permanece retenido por el contacto auxiliar P1. El contactor P (del paralelo), permanece activado hasta que T1 se libre por falta de tensión o se oprima el botón de parada (Fig. 18).

12.1.2 Circuito de potencia del servo motor:

Acciona en uno u otro sentido el servo motor de corriente continua que abre o cierra el alabe regulador de la turbina, indicando la maniobra los diodos luminosos (LED) LD5 y LD6 (ver Fig.19).

13.0 DIAGRAMA FUNCIONAL DE COMANDO

13.1 Sistema Automático

13.1.1 Operación de apertura

Cuando retorna la energía eléctrica luego de un eventual corte, se acciona T2 (ver Fig.20), enviando tensión continua al contacto I1 y al temporizador TM1, que retarda la actuación del “RISE”. El contacto I1 se encuentra en reposo ya que el sistema no llegó aún a la corriente de trabajo. También F1 se encuentra en reposo ya que no hay anomalía de funcionamiento. Cuando se dan las condiciones anteriores opera el relé de comando de apertura del alabe.

La operación de apertura culmina cuando se llega al valor consigna de la corriente generada o por el accionamiento del *switch* final de carrera de apertura (SFCA).

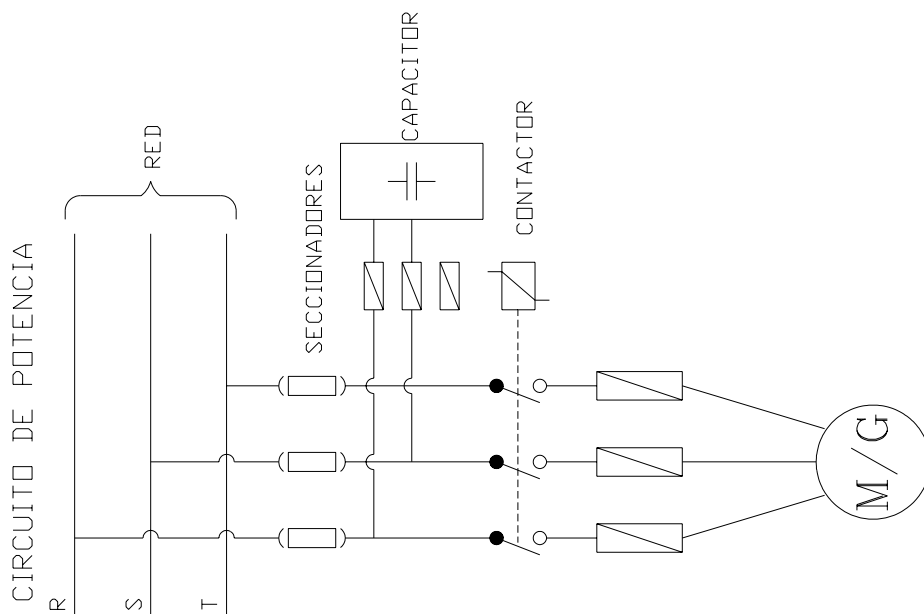


Fig. 17

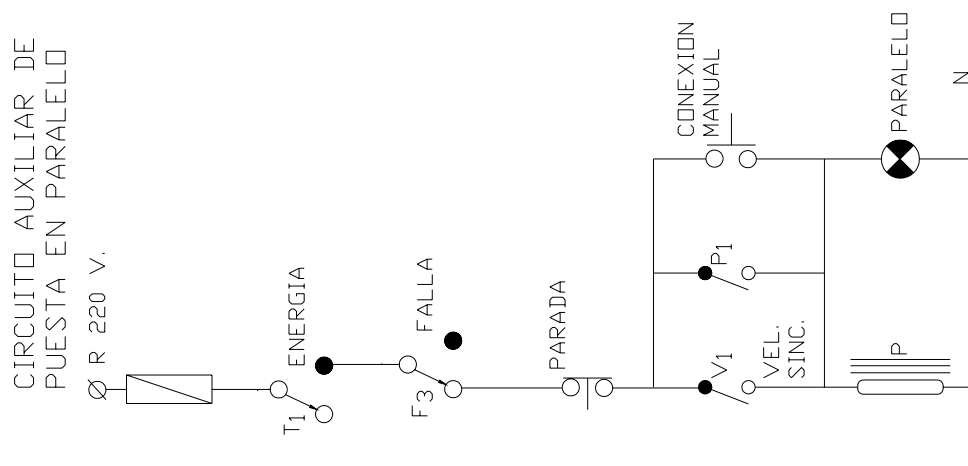


Fig. 18

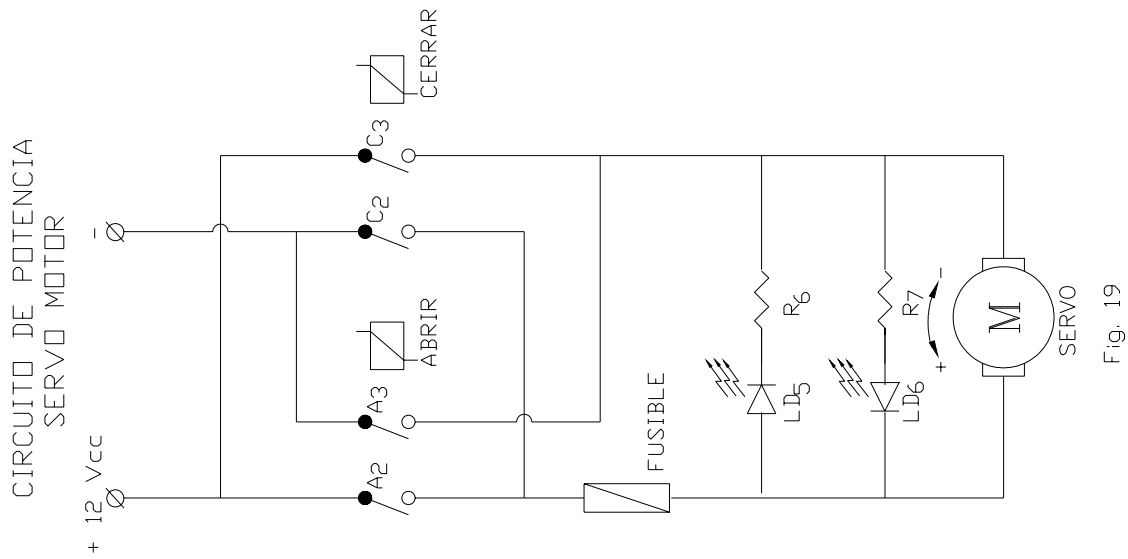


Fig. 19

13.1.2 Operación de Cierre

El cierre se puede dar por las siguientes condiciones:

a) Falta de una o más fases de la línea principal:

El contacto T2 pasa a la posición B que acciona vía D1 el relé de cierre del alabe regulador.

b) Sobrevelocidad:

Se dispara el tiristor TH2 (ver Fig.20) que energiza el relé “F” e ilumina LD2, interrumpiendo las posibles maniobras del relé “A” de apertura (vía el contacto F1), a la vez se acciona F2, que envía al cierre el alabe regulador, finalmente, por el contacto F3 se libera el contactor “P” y retira el sistema del paralelo (ver Fig.18).

c) Accionamiento del contacto de final de carrera de apertura, sin haber llegado a la corriente de consigna:

Por el contacto C-D del switch final de carrera de apertura (SFCA) se dispara el tiristor TH1 que sigue el mismo procedimiento que en los puntos b y c.

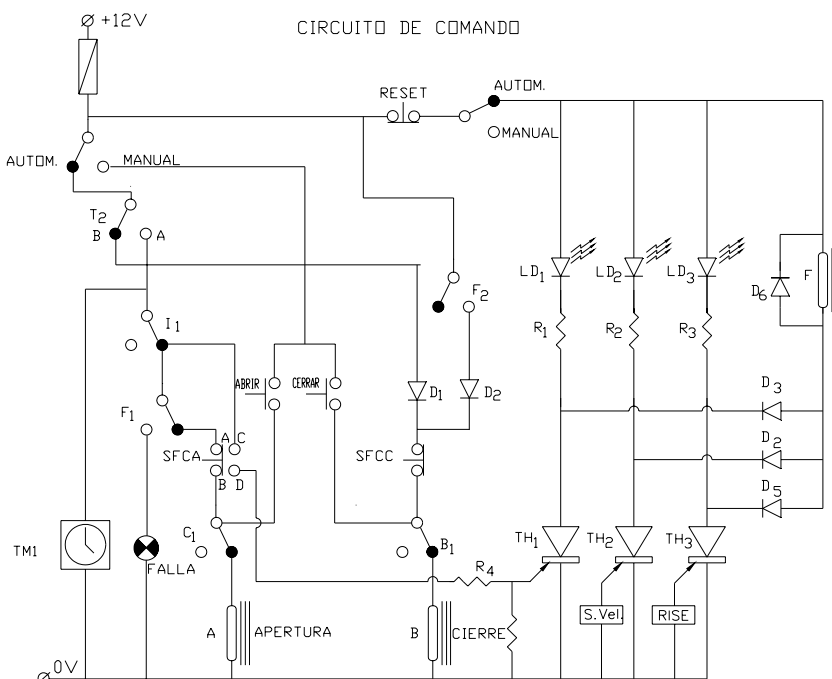
Los cierres que se efectúan según los puntos b, c y d, son permanentes, no así el cierre por a.

d) Cambio en el sentido de la energía:

Se dispara el tiristor TH3 que ilumina LD3 y acciona el relé “F” y envía al cierre el sistema.

13.1.3 Enclavamiento

Las operaciones de cierre y apertura se encuentran enclavadas para no permitir el accionamiento simultáneo de los dos relevadores y evitar así un cortocircuito en la línea de alimentación del servo motor.



I: Relé Monitor de Corriente.

T: Relé Monitor de Tensión.

F: Relé de Anomalía.

SFCA: Switch Final de Carrera de Apertura.

SFCC: Switch Final de Carrera de Cierre.

Fig.20

14.0 CONSIDERACIONES FINALES

14.1 Punto de Funcionamiento del grupo turbina-generador

Una vez concluida la operación de puesta en paralelo, la máquina deberá entregar a la red, una cantidad de energía proporcional al caudal turbinado. Dado que el caudal no es constante todo el año, se tendrá distintos puntos de funcionamiento para distintas épocas del año.

14.2 Punto de Trabajo

Como no siempre se posee los suficientes datos de aforamiento de las cuencas que integran el aprovechamiento, es menester buscar otro método de ubicación del punto de trabajo, que aquel que resulta de contrastar planillas de caudales con épocas del año y determinar el punto de trabajo.

14.3 *Método Práctico*

El método práctico propuesto es el siguiente:

Que la máquina funcione siempre a la potencia nominal (por lo tanto a la corriente nominal), no importando la época del año. En época de estiaje la máquina turbinará el caudal módulo hasta que se agote el fluido de reserva en el embalse, como en el sistema del “PARALELEX” es posible regular automáticamente el punto de trabajo, a medida que el caudal disminuye el sistema “PARALELEX” trata de mantener la corriente nominal de consigna, por consiguiente cuanto menor sea el caudal mayor será la apertura del alabe regulador, en estas condiciones se llegará a un punto en el que el alabe regulador llegue al final de su recorrido donde acciona el contacto de FINAL DE CARRERA DE APERTURA, produciéndose un cierre permanente.

14.3.1 Resumiendo

Con el “PARALELEX” entra acción, en época de estiaje, se turbinará el volumen del caudal del embalse una vez concluida la reserva de agua, el sistema sale del paralelo y los usuarios pasan a consumir energía de la red principal, mientras tanto se almacena más agua en la presa para una nueva generación.

14.4 Corrimiento del Punto de Trabajo

Según lo expresado anteriormente se tendría períodos generados y períodos no generados, estos últimos mayores.

Para evitar cortes frecuentes, es posible correr el punto de trabajo de la máquina, esto es: suponer un nuevo límite de corriente generada que puede ser, por ejemplo $\frac{3}{4}$ de la corriente nominal, en estas condiciones se podría generar más tiempo pero menos energía horaria.

14.4.1 Resumen

Se elige el punto de trabajo (porcentaje de la corriente nominal), en función de la época del año, y se hace trabajar la máquina a esa nueva corriente nominal. Cuando los desacoples sean muy frecuentes se corre el punto de trabajo más abajo.

14.5 Punto de Trabajo

La potencia entregada por el grupo Turbina-Generador se puede expresar como:

$$P = K_1 UI$$

U: Tensión generada.
I: Corriente generada.
K₁: Constante.

La potencia que entrega la máquina hidráulica en función del caudal tiene una ecuación del tipo:

$$P = RQH$$

R: Constante de proporcionalidad.
Q: Caudal turbinado.
H: Desnivel (altura).

Igualando ambas expresiones se tiene:

$$K_1 UI = RQH$$

Agrupando

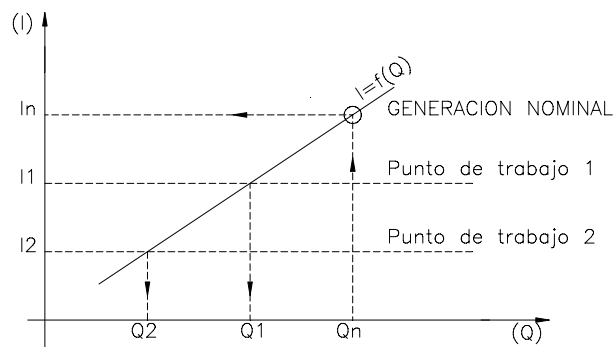
$$I = \frac{RH}{UK_1} Q$$

Como la altura generalmente es una constante y suponemos que la tensión permanezca constante, es posible encerrar el término $\frac{RH}{UK_1}$ en una nueva constante K, quedando

$$I = KQ$$

Donde la corriente generada es directamente proporcional al caudal turbinado.

Representando la función $I=f(Q)$ se tiene:



Para distintos puntos de trabajo menores que el nominal se tiene menores caudales que el nominal. El sistema "PARALELEX", tiende a mantener el punto de trabajo sobre la curva $I=f(Q)$. En la gráfica se observa otros posibles puntos de trabajo. En la práctica se elige el punto

de trabajo de generación nominal algo menor que el que se tendría para la máxima apertura del alabe regulador de la turbina.

15.0 BIBLIOGRAFIA

- MICROTURBINA EN MISIONES- E. Barney - FIO - UNaM.
- GENERACION ASINCRONICA- H. Muñoz - A. Gonzalez - FIO - UNaM.
- PAUTAS PARA GENERACION EN PARALELO CON GENERADORES ASINCRONICOS - Victor H. Kurtz - FIO - UNaM.
- PARALELOS - P. Santander - Victor H. Kurtz - FIO - UNaM.
- PARALELO DE GENERADORES ASINCRONICOS - J. Bycovich. Rev. Tec. e Industria (Bs. As.).
- REVISTA TECNICA MEGAVATIOS Nº 62 - Bs. As.
- INFORME C.E.D.E. 1982.
- MAQUINAS MOTRICES, GENERADORES DE ENERGIA ELECTRICA - CEAC.
- MANUAL TTL DATABOOK - Vol.2 - 1985 - Texas Inst.
- Manual Cmos - National - (Ed. Arg.).
- CMOS "INTEGRATED CIRCUITS" - RCA.
- Linear "DATABOOK" - National.
- ELECTRONICS LOAD CONTROL FOR MICRO HYDROPOWER PLANTS - Meir - Detti - SKAT - St. Gallen - Zwitterland.