



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESQUEMAS DE PROTECCIÓN CON RELEVADORES TIPO MF
Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS ELÉCTRICOS
INDUSTRIALES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:

ÁLVARO GODÍNEZ RODRÍGUEZ
MÓNICA NOEMÍ SÁNCHEZ AMARO

ASESOR: M.I. RODOLFO LORENZO BAUTISTA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A DIOS Y A SAN JUDAS TADEO.

A mis padres Noemí y Gonzalo, que por su infatigable esfuerzo e impulso que desde la infancia me han proporcionado, forjaron la persona que soy y la profesionista que seré, muchas gracias por todo su amor y apoyo.

A mi esposo Javier, que con su amor, comprensión y paciencia me ayudó a alcanzar otro más de mis objetivos, flaquito te amo.

A mis hermanos Susana, Gonzalo y Belem, por todo su apoyo y comprensión.

A mis hijas Valeria y Rebeca, ustedes son el principal motivo para superarme cada día más.

A mi tía Bárbara, gracias a tu apoyo y ayuda incondicional.

A mis amigos a los cuales considero mis hermanos, Toño y Carmen, gracias por todo su apoyo, impulso y comprensión.

A mi asesor, Ing. Rodolfo L. sin su apoyo no lo hubiera logrado.

A la Facultad de Ingeniería, centro de estudios en el cual adquirí los conocimientos para formarme como profesionista.

A todos mis maestros en diferentes materias y disciplinas, ustedes me han mostrado con su enseñanza no solo el conocimiento, también un camino en la vida.

Mónica Noemí Sánchez Amaro.

AGRADECIMIENTOS

Gracias... a Dios por la energía y fortaleza que hace brillar mi alma todos los días de mi vida y por darme la fe necesaria para concluir con éxito mis estudios profesionales.

Gracias... a mis padres Álvaro y Eulalia por todo su amor, apoyo y confianza que han hecho de mi una persona capaz de afrontar cualquier reto; por los valores que han formado en mi para ser un buen hijo, hermano, esposo y amigo; por sus ánimos y sacrificios que me han ayudado a ser un gran estudiante y profesionista.

Gracias... a mi hermana Perla que con su amor y apoyo ha sido parte esencial de mi vida, gracias por tu tiempo, tus ánimos, tu cariño, siempre estaré orgulloso de ti.

Gracias... a mi esposa Ivett, gracias por toda la dicha de que seas mi esposa, por tu amor, por darme confianza, la fuerza y el coraje que me mueven en todo momento para vencer cualquier obstáculo que se nos presente, gracias por toda tu luz que es la que ilumina mi camino, te amo.

Gracias... a todos mis amigos José Luis, Sandra, Jonathan, Tania, Alejandra, Jorge y Aída, que con su compañía me han hecho ver el gran valor de un buen amigo, gracias por su apoyo, sus ánimos y por permitirme ser parte de sus vidas.

Gracias... a la UNAM, a la Facultad de Ingeniería y a todos los profesores y catedráticos, en especial al Ing. Rodolfo Lorenzo Bautista que asentaron en mi los conocimientos y aptitudes necesarias para ser un buen profesionista, gracias por todo su esfuerzo, tiempo y dedicación que han hecho de mi un individuo capaz de buscar más retos y alcanzar más metas día a día, gracias.

Gracias... a mis suegros Gabriel y Leticia que sin todo el apoyo y confianza que me han entregado, este trabajo no hubiera podido llegar a lo que es hoy en día, gracias por brindarme su amor y adoptarme como un hijo.

Álvaro Godínez Rodríguez

TEMARIO

TEMA I.- Introducción.....	6
TEMA II.- Componentes de un sistema eléctrico industrial.....	9
II.1.- Generadores.....	10
II.2.- Transformadores.....	15
II.3.- Barras.....	20
II.4.- Alimentadores.....	21
II.5.- Motores.....	22
TEMA III.- Relevadores electromecánicos, de estado sólido y basados en microprocesadores.....	30
III.1.- Relevadores electromecánicos.....	34
III.2.- Relevadores de estado sólido.....	39
III.3.- Relevadores microprocesados.....	49
TEMA IV.- Relevadores multifunción.....	65
IV.1.- Relevador multifunción para generador (Beckwith) ..	67
IV.2.- Relevador multifunción para generador (Basler).....	79

IV.3.- Relevador multifunción para transformador.....	90
IV.4.- Relevador multifunción para alimentador.....	102
IV.5.- Relevador multifunción para motores de baja y media capacidad.....	113
IV.6.- Relevador multifunción para motores de media y alta capacidad.....	123
TEMA V.- Esquemas de protección.....	135
V.1.- Protección de Generadores.....	135
V.2.- Protección de Transformadores.....	151
V.3.- Protección de Barras.....	164
V.4.- Protección de Alimentadores.....	165
V.5.- Protección de Motores.....	166
TEMA VI.- Conclusiones.....	183
APÉNDICE.....	185
BIBLIOGRAFÍA.....	189

TEMARIO

Tema I. Introducción.....	6
Tema II.- Componentes de un sistema eléctrico industrial.....	9
II.1.- Generadores.....	10
II.2.- Transformadores.....	15
II.3.- Barras.....	20
II.4.- Alimentadores.....	21
II.5.- Motores.....	22
Tema III.- Relevadores electromecánicos, de estado sólido y basados en microprocesadores.....	30
III.1.- Relevadores electromecánicos.....	34
III.2.- Relevadores de estado sólido.....	39
III.3.- Relevadores microprocesados.....	49
Tema IV.- Relevadores multifunción.....	65
IV.1.- Relevador multifunción para generador (Beckwith).....	67
IV.2.- Relevador multifunción para generador (Basler).....	79
IV.3.- Relevador multifunción para transformador.....	90

IV.4.- Relevador multifunción para alimentador.....	102
IV.5.- Relevador multifunción para motores de baja y media capacidad.....	113
IV.6.- Relevador multifunción para motores de media y alta capacidad.....	123
Tema V.- Esquemas de protección.....	135
V.1- Protección de Generadores.....	135
V.2- Protección de Transformadores.....	151
V.3- Protección de Barras.....	164
V.4- Protección de Alimentadores.....	165
V.5- Protección de Motores.....	166
Tema V.I.- Conclusiones.....	183
APÉNDICE.....	185
BIBLIOGRAFÍA.....	189

TEMA I

INTRODUCCIÓN

Todos sabemos que cuando falla la energía eléctrica nos causa muchos trastornos, pero cuando se interrumpe el suministro de ésta en una industria, la producción se paraliza, y dependiendo del tipo de proceso, esta interrupción puede originar cuantiosas pérdidas tanto económicas como de tiempo; además de que si el sistema eléctrico se perdió por alguna falla, el equipo se puede encontrar en alto riesgo, ya que éste puede sufrir averías muy graves causando su pérdida total o un daño muy severo. Por esta razón, se recomienda implantar sistemas de protección, ya que con esto se puede aislar cualquier tipo de falla en el sistema eléctrico, que ayude í a tener un control y continuidad del mismo.

El objetivo básico de un sistema de protección consiste en aislar el área que presenta falla de manera rápida, para que el resto del sistema continúe en servicio. Este sistema de protección actúa después de una condición anormal o intolerable para el sistema eléctrico y con las suficientes indicaciones nos permite una operación correcta, aislando el equipo o área que presenta falla. Este tipo de protecciones también nos permiten minimizar la duración de las fallas y limitar las mismas.

Existen 5 facetas básicas de la aplicación de la protección con relevadores:

1. **Rehabilitación.** Asegurarse de que las protecciones funcionen correctamente, para que el sistema eléctrico entre en operación lo más pronto posible.
2. **Selectividad.** Lograr la continuidad máxima del servicio con desconexiones mínimas del sistema.
3. **Velocidad de operación.** Procurar la duración mínima de la falla reduciendo los daños del equipo.
4. **Simplicidad.** Ocupar el mínimo equipo de protección y circuitos asociados para el cumplimiento de los objetivos de protección.
5. **Economía.** Obtener la máxima protección con un costo mínimo.

El objetivo de este trabajo es analizar los esquemas de protección de los elementos que integran los **sistemas eléctricos industriales**.

En esta tesis se planteará la forma de cumplir este objetivo por medio de relevadores, haciendo una comparación entre los diferentes tipos de ellos, como lo son: *los relevadores electromecánicos, los de estado sólido, los basados en microprocesadores y los digitales*, que en este caso se conocen como **relevadores digitales multifunción**. En primer lugar, se debe tomar en cuenta que un relevador es un dispositivo eléctrico diseñado para interpretar condiciones de entrada –estas entradas normalmente son eléctricas, pero pueden ser mecánicas, térmicas, o de otras características- de una manera establecida previamente, después especificar las condiciones de respuesta que causan la operación de equipos auxiliares asociados con el circuito de control eléctrico, que ayuden a indicar una falla para prevenirla o detenerla, administrando señales de operación.

En los últimos 30 años, han habido numerosos avances en el área de la protección por medio de relevadores. Con la aparición del transistor en los años 70 y principios de los 80, algunos relevadores electromecánicos fueron reemplazados por

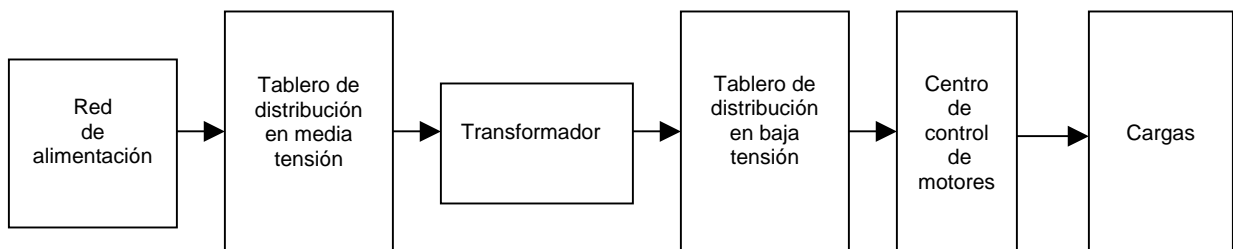
relevadores de estado sólido que duplicaron las funciones de los anteriores. Para los años 80 se introdujeron los relevadores basados en microprocesadores, mismo que tuvieron un gran auge. Otro gran avance en la ciencia de la protección con relevadores tuvo lugar en los 90's con los *relevadores digitales de alta velocidad*.

Los relevadores digitales ahora cuentan con funciones múltiples integradas en un solo equipo, además de ser eficientes, selectivos, veloces y confiables, lo cual es una gran ventaja. Para demostrar esto, se realizará una descripción de todos los tipos de relevadores, en la que se destacarán las ventajas y desventajas de los ***relevadores digitales multifunción***.

TEMA II

COMPONENTES DE UN SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL

La instalación eléctrica en una industria depende de las dimensiones de todo el sistema eléctrico, el cual se puede representar por medio de diagrama de bloque, como el que se muestra en el siguiente esquema.



Las unidades principales de una instalación eléctrica industrial son las siguientes:

- ❖ Potencia
- ❖ Voltaje y frecuencia
- ❖ Corrientes nominales y corrientes de cortocircuito
- ❖ Factor de potencia
- ❖ Tipo de servicios y características de la demanda

Un sistema eléctrico industrial dependerá del tipo y tamaño de la industria, esta puede ser relativamente pequeña, por lo tanto sólo se requiere de una distribución interna basada en alimentadores para tableros de alumbrado o centros de control de motores, o bien puede ser una industria de gran tamaño, en donde se requiere un sistema de distribución interno con varios niveles de voltaje.

II.1 GENERADORES

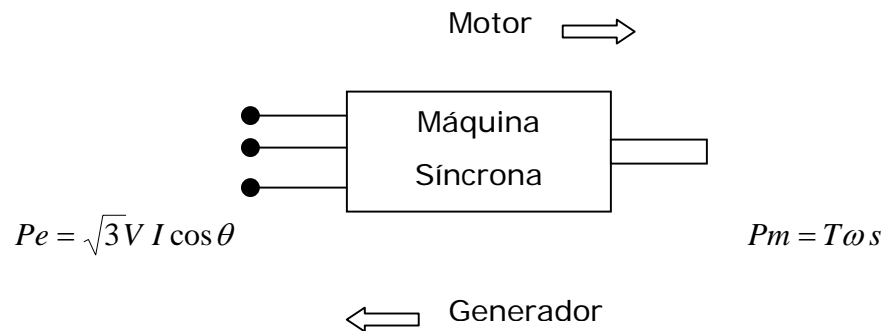
Las máquinas síncronas son dispositivos que transforman energía eléctrica (en la modalidad de corriente alterna) en energía mecánica, es decir, trabajan como motores (en la modalidad de movimiento rotatorio), o bien, transforman energía mecánica en eléctrica trabajando como generadores síncronos.

A partir de la definición anterior, se puede observar cierta semejanza con las máquinas de inducción, y aunque ciertamente la hay, también existen diferencias importantes como son:

- ❖ La máquina síncrona se usa típicamente en sus dos modalidades, es decir, como generador y como motor.

- ❖ El generador síncrono puede trabajar en forma aislada (como planta de emergencia) o integrarse a un sistema.
- ❖ La máquina síncrona no tiene deslizamiento y gira exactamente a la velocidad síncrona.

En la siguiente figura se representa una máquina síncrona, en forma de esquema.



Esquema de una máquina síncrona

Cuando la energía fluye de izquierda a derecha, la máquina trabaja como motor, y cuando el flujo es de derecha a izquierda, trabaja como generador.

ESTRUCTURA

Desde la perspectiva mecánica, la máquina síncrona consta, como todas las máquinas rotatorias, de dos conjuntos de piezas:

1. **Estator.** Abarca al grupo de partes estáticas, de donde toma su nombre:
 - a) Base
 - b) Coraza

- c) Tapas
- d) Núcleo de armadura
- e) Escobillas

2. **Rotor.** Abarca al grupo de partes rotatorias, de donde también toma su nombre:

- a) Núcleo polar
- b) Flecha
- c) Anillos deslizantes

Desde el punto de vista funcional, también se pueden considerar dos grupos de partes que son: circuito magnético y armadura.

Circuito magnético. Contiene todos los elementos del circuito magnético perfectamente definidos:

- ❖ *Fuente de fuerza magnetomotriz.* Es una bobina que se excita con corriente directa; en virtud de que el embobinado de la máquina es el que consume menos energía, se prefiere siempre montarlo en el rotor, ya que para alimentarlo requiere escobillas y anillos de menor tamaño. Este se divide en tantas partes como polos tiene la máquina.
- ❖ *Circuito ferromagnético.* Es el conjunto de trayectorias de material ferromagnético y de entrehierros, por las cuales corren las líneas de flujo magnético.

Armadura. Es el órgano de la máquina en la cual se inducen las fuerzas electromotrices. Sus elementos básicos son las bobinas que se alojan en las ranuras hechas en el núcleo del estator.

La armadura en el estator se conecta sólidamente con el sistema externo, reduciendo las pérdidas al mínimo. Si la armadura estuviera en el rotor, (y los polos en el estator) habría que recurrir a los anillos y escobillas para conectarla con el exterior, y debido a las corrientes elevadas que manejan estas máquinas, las pérdidas eléctricas serían muy grandes.

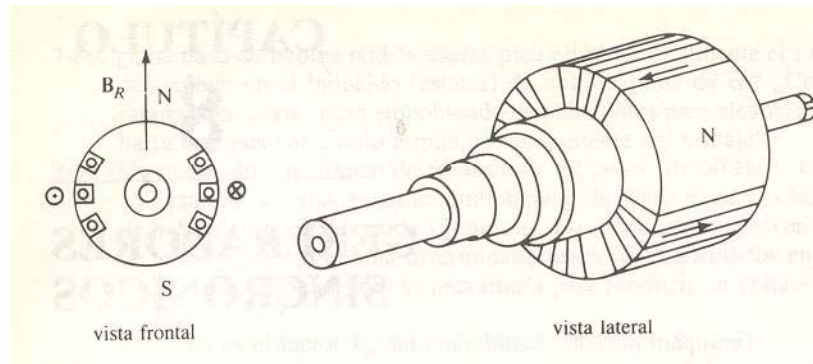


Figura 1. Rotor de dos polos no salientes en una máquina síncrona.

Existen ciertos consumidores de energía eléctrica, como hospitales, centros de convenciones, hoteles, etcétera, para los que es sumamente importante la continuidad del servicio. Ante cualquier interrupción, estos consumidores disponen de una planta de emergencia que arranca en ese momento y se encarga de continuar suministrando el servicio mientras dure la falla. Durante la operación del sistema es necesario acoplar y desacoplar generadores en determinados intervalos, debido a que la demanda de energía varía según las diferentes horas del día y también debido a otros factores, como disturbios, mantenimiento de las unidades, etc.

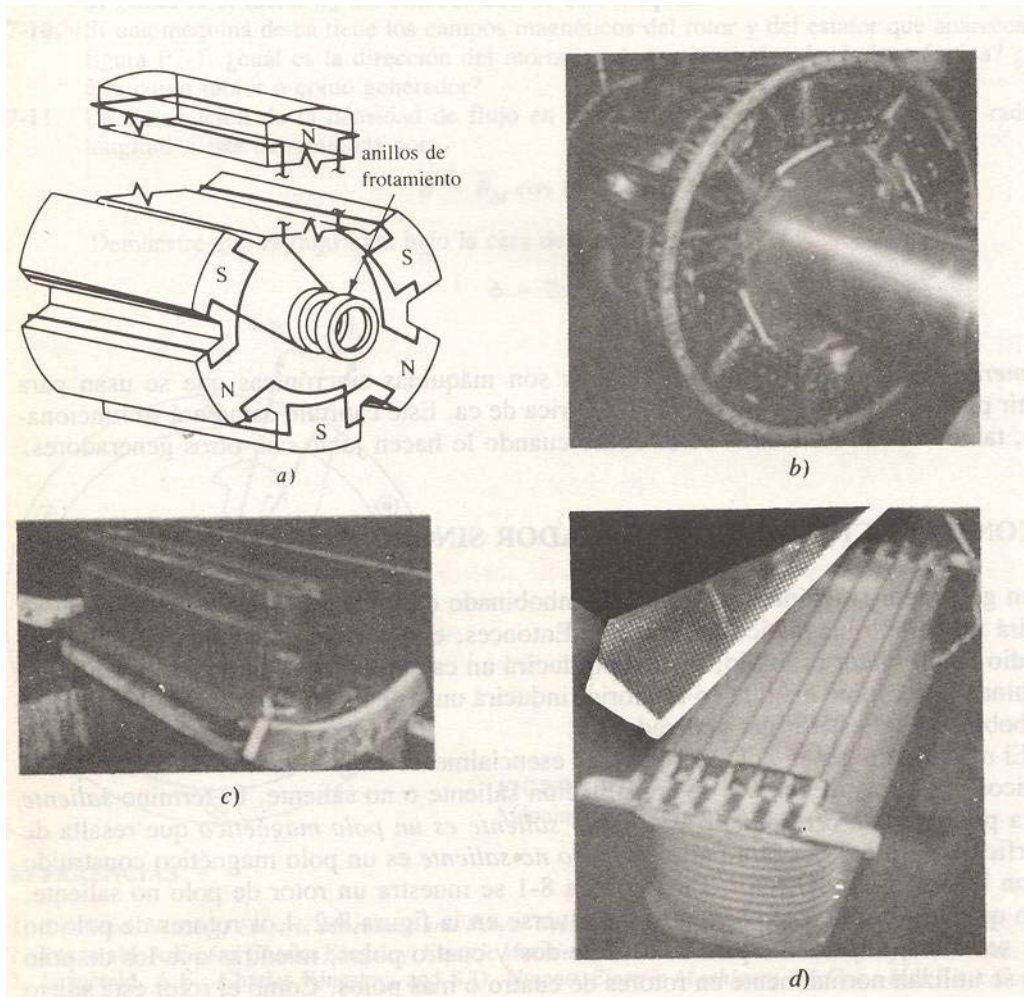


Figura 2. a) Un rotor de seis polos salientes para una máquina síncrona. b) Fotografía del rotor de una máquina síncrona de ocho polos salientes, que muestra los devanados de los polos individuales del rotor (cortesía de General Electric Company). c) Fotografía de un polo saliente sencillo de rotor, con los embobinados de campo aún sin colocarse (cortesía de General Electric Company). d) Polo saliente sencillo con los embobinados de campo instalados pero antes de montarse en el rotor (cortesía de General Electric Company).

II.2 TRANSFORMADORES

Un transformador es un dispositivo electromagnético transmisor de potencia eléctrica en la modalidad de corriente alterna. Usualmente, esta potencia la recibe como:

$$P = V_H I_H \cos \theta$$

para cambiarla (o transformarla, como lo indica su nombre) y entregarla como:

$$P = V_X I_X \cos \theta$$



Esquema del transformador ideal

En una transformación ideal, se supone que ni la potencia P ni el factor de potencia $\cos \theta$, se alteran, de modo que los valores de entrada y salida son los mismos. Sin embargo, una transformación real tiene pérdidas, por lo que los valores de salida difieren ligeramente de los de entrada.

Se acostumbra utilizar la letra H para referirse al lado de mayor voltaje, al que se denomina lado de alto voltaje o alta tensión, y la letra X para el lado de menor voltaje, denominado lado de bajo voltaje o de baja tensión.

En el esquema del transformador ideal, la dirección del flujo de energía puede ser de izquierda a derecha, en cuyo caso, el transformador trabaja como reductor de voltaje, así como también puede tener una dirección de derecha a izquierda para trabajar como elevador de voltaje.

ESTRUCTURA

Un transformador consta de un núcleo de material ferromagnético, en el cual se encuentran devanadas dos bobinas, generalmente de diferente número de vueltas. La bobina con mayor número de vueltas es la que trabaja con alta tensión, y la de menor número de vueltas con baja tensión.

En algunos casos, el número de vueltas de las dos bobinas es igual, ambas trabajan a la misma tensión y el objetivo del transformador será aislar eléctricamente los voltajes de uno y otro lado.

El núcleo más frecuente es el acorazado, el cual tiene cientos o miles de vueltas, en donde la bobina de baja tensión suele devanarse sobre las de alta tensión de manera que son concéntricas.

Se le llama bobina primaria, a aquella por la que se alimenta el transformador y la bobina secundaria es aquella por la que el transformador entrega la energía transformada. Estos son conceptos de operación (no de construcción), de modo que un transformador que no se encuentre conectado y operando en un sistema, no tiene bobina primaria ni secundaria, sino solamente alta y baja tensión.

Un transformador reductor trabaja con alta tensión como primario y baja tensión como secundario, mientras que un elevador trabaja con baja tensión como primario y alta tensión como secundario.

Para excitar la bobina primaria (ya sea alta o baja tensión), se hace lo siguiente: la bobina primaria, con un número de vueltas N_H y se conecta a una fuente de voltaje alterno.

$$V = V_{\max} \text{sen}2\pi ft$$

El voltaje alterno hace fluir en el circuito, una corriente I_{ex} alterna, la cual induce también un flujo alterno en el eje magnético de la bobina.

Independientemente del origen del flujo, este induce en la bobina una fuerza electromotriz ε_H de acuerdo con la ley de Faraday:

$$\varepsilon_H = -N_H \left(\frac{d\phi}{dt} \right)$$

El conjunto descrito hasta este momento, constituye una malla, de modo que aplicando la ley de Kirchoff correspondiente se obtiene:

$$V + \varepsilon_H = 0$$

y sustituyendo

$$V_{\max} \text{sen} 2\pi f t - N_H \left(\frac{d\phi}{dt} \right) = 0$$

al resolver la ecuación diferencial se obtiene:

$$\phi = \left(\frac{V_{\max}}{2\pi f N_H} \right) (-\cos 2\pi f t) + C$$

La constante de integración solamente tiene validez en los primeros ciclos después de cerrar el circuito, por lo que posteriormente en estado estable $C=0$. Por otra parte, en función del valor eficaz $V_{\max} = \sqrt{2}V$ y juntando las constantes

$\frac{2\pi}{\sqrt{2}} = 4.44$, la expresión del flujo se reduce a:

$$\phi = \left(\frac{V}{4.44 N_H f} \right) (-\cos 2\pi f t)$$

y la magnitud de la cosenoide es:

$$|\phi| = \frac{V}{4.44 N_H f}$$

Esto significa que el flujo en el núcleo es directamente proporcional al voltaje aplicado, e inversamente proporcional a la frecuencia. Para devanar la bobina, también se debe tomar en cuenta que mientras más vueltas contenga, es necesario menos flujo y viceversa.

La inducción de fuerza electromotriz en el secundario se lleva a cabo en circunstancias muy parecidas a la inducción en el primario. Esta se produce por el mismo flujo magnético y solamente difiere en el número de vueltas, de manera que, aplicando la ley de Faraday se obtiene:

$$\varepsilon_X = -N_X \left\{ \frac{d}{dt} \left(\frac{V_{\max}}{2\pi f N_H} \right) (-\cos 2\pi f t) \right.$$

lo que da como resultado

$$\varepsilon_X = \left(\frac{N_X}{N_H} \right) V_{\max} \text{sen} 2\pi f t$$

que es una onda cuya magnitud es proporcional a la de la fuerza electromotriz primaria y además se encuentra en fase con ella.

Es conveniente insistir en que, independientemente de la elección que se ha hecho en este rozamiento (alta tensión como primario), en la práctica, cualquiera de ellas puede ser la f.e.m. primaria y la otra, la secundaria.

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Considerando que:

$$-V_{\max} \text{sen} 2\pi f t$$

es la fuerza electromotriz inducida en el primario, se obtiene:

$$\mathcal{E}_X = \frac{N_X}{N_H} \mathcal{E}_H$$

es decir:

$$\frac{N_H}{N_X} = \frac{\mathcal{E}_H}{\mathcal{E}_X}$$

Las magnitudes de las fuerzas electromotrices conservan una relación constante igual a la relación entre los números de vueltas. A esto se le llama relación de transformación y se representa mediante la letra a .

$$\frac{N_H}{N_X} = \frac{\mathcal{E}_H}{\mathcal{E}_X} = a$$

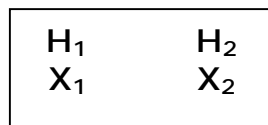
CONCEPTO DE POLARIDAD

Se dice que si dos fuerzas electromotrices están en fase, son nulas, o positivas o negativas, en cualquier instante, esto es que ambas fuerzas tienen la misma polaridad. Desde el punto de vista práctico, significa que siempre corresponderán en polaridad, una terminal del devanado de alta tensión y una del devanado de baja tensión. Es indispensable tener conocimiento de las terminales de misma polaridad para interconectar correctamente varios transformadores entre sí. Puede ser el caso de conexiones en serie o paralelo en sistemas monofásicos, y en delta o en estrella para sistemas trifásicos.

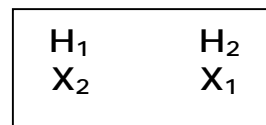
Es conveniente que las terminales del transformador tengan una localización organizada en un tablero, si el transformador se encuentra rodeado de aire; o en la tapa del tanque si se encuentra sumergido en aceite. Estas terminales se identifican

con letras y subíndices, siendo H_1 y H_2 las de alta tensión y X_1 y X_2 las de baja tensión, en donde H_1 y X_1 son de la misma polaridad.

Cuando H_1 y X_1 se localizan a la izquierda, se dice que es una organización de polaridad sustractiva, mientras que si H_1 se encuentra a la izquierda y X_1 a la derecha, se dice que es una polaridad aditiva.



Polaridad sustractiva



Polaridad aditiva

La capacidad de los transformadores depende de la carga o potencia instaladas, el factor de demanda (coeficiente de utilización) y un coeficiente o factor de simultaneidad. Por lo tanto, si es una industria con necesidad de un sistema eléctrico pequeño, la capacidad de los transformadores es pequeña; el coeficiente de utilización y el coeficiente o factor de simultaneidad son valores aleatorios y los dos se integran en uno solo y se le denomina en general factor de simultaneidad.

Se debe mencionar que el aceite que contienen algunos transformadores tienen dos funciones, una es aislante y otra refrigerante. Esta última evita que las pérdidas en el transformador lo calienten al grado de que sus aislamientos comiencen a degradarse, lo que provocaría que sufrieran un daño permanente.

II.3 BARRAS

Las barras juegan un papel importante en una instalación eléctrica, ya que a ellas están conectadas líneas y los elementos de un mismo nivel de tensión y permiten realizar múltiples maniobras y conexiones entre ellos.

Cada línea que se conecta a una barra, lo debe hacer a través de un interruptor y un seccionador del lado de las barras y otro del lado de la línea, es decir, uno a cada lado del interruptor. Por consiguiente se puede definir como zona de protección de barras al conjunto que forman las barras, interruptores y seccionadores que se encuentran del lado de las barras, así como los transformadores de media tensión asociados con los interruptores.

Las fallas en barras suelen ser poco frecuentes, pero cuando ocurren son más problemáticas que en otros elementos, como podrían ser generadores, líneas, transformadores, etc. Los problemas que se presentan son:

- a) Cuando se produce una falla en barras, se pueden quedar sin servicio varias líneas a la vez.
- b) En redes de alta tensión se dispone de potencias de cortocircuito muy elevadas en barras, por lo que los desperfectos en caso de falla suelen ser graves.
- c) Una falla en la protección local de las barras obliga a que se disparen las protecciones remotas de tiempo inverso, lo que supondría un tiempo de actuación elevado. Esta situación podría provocar una interrupción en el suministro de energía eléctrica.

II.4 ALIMENTADORES

Un alimentador es el elemento que está encargado de llevar energía a una subestación, un bus o a diferentes cargas. Existen diferentes configuraciones de estos alimentadores, aunque el más utilizado es el de forma radial.

La función de un alimentador es conectar la fuente de energía con el punto de carga y además puede proporcionar energía a otro punto de carga en algún otro lugar, sin la necesidad de realizar desconexiones o suprimir de energía en otro punto que esté alimentado. Los alimentadores de tipo radial son los más utilizados, ya que estos son los más simples, fáciles de proteger y de menor costo.

Se dice que son fáciles de proteger porque con un simple relevador de sobrecorriente se tiene la suficiente protección, que es el procedimiento que normalmente se efectúa en la mayoría de las industrias.

II.5 MOTORES

Existen dos tipos de motores diferentes, los *motores de inducción* y los *motores síncronos*.

MOTORES DE INDUCCIÓN

Los motores de inducción son dispositivos que transforman energía eléctrica (en la modalidad de corriente alterna), en energía mecánica (en modalidad de movimiento rotatorio).

La medición de la energía, suele hacerse con base en el concepto de potencia.

$$P_e = VI \cos \theta \quad \text{para una fase}$$

$$P_e = \sqrt{3}VI \cos \theta \quad \text{para tres fases}$$

ESTRUCTURA

Desde el punto de vista mecánico, el motor de inducción, como todas las máquinas rotatorias, se compone de dos grandes conjuntos de piezas:

1. **Estator.** Abarca todo el grupo de partes inmóviles:

- a) Base
- b) Coraza
- c) Núcleo de armadura
- d) Embobinado de armadura
- e) Tapas

2. **Rotor.** Abarca el grupo de partes giratorias:

- a) Flecha
- b) Núcleo del rotor
- c) Embobinado del rotor
- d) Anillos de embobinado del rotor

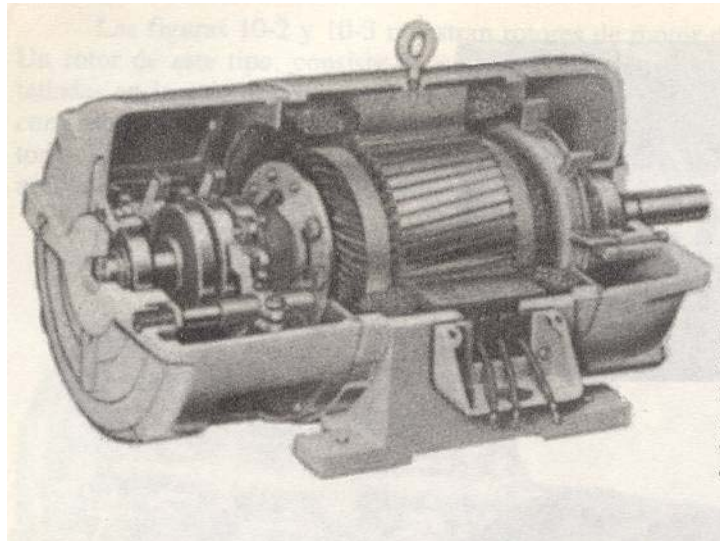


Figura 3. Corte de un motor de inducción de rotor devanado. Observe las escobillas y los anillos de rozamiento así como que los embobinados del rotor son sesgados para eliminar los armónicos de ranura.

ARMADURA

Se entiende por armadura, el órgano en que se inducen las fuerzas electromotrices (o fuerzas contra-electromotrices cuando trabaja en modalidad de motor), concretamente el embobinado de estator.

Consta de tres espiras, las cuales penetran en unas ranuras, separadas 120° eléctricos (con las tres espiras se formará un circuito trifásico, no importa si es delta o estrella); el objeto es completar el circuito magnético, de tal manera que el flujo generado pueda atravesar el eje magnético de cada espira (perpendicular al plano de la espira).

Al aplicarle un sistema trifásico de voltaje, se produce una circulación del sistema trifásico balanceado de corrientes, es decir, cuando la corriente I_a es positiva significa que penetra por la terminal a de la espira, y cuando es negativa penetra por a', la cual se encuentra en el otro extremo en forma perpendicular al estator.

ROTOR

La contraparte de la armadura es un sistema polar, y para esta máquina se localiza en el rotor. El embobinado del rotor se excita por inducción y los polos magnéticos no tienen un lugar fijo, sino que se van deslizando lentamente por la periferia de su núcleo. Por esta razón, los polos magnéticos no se pueden identificar fácilmente y para este conjunto se prefiere conservar el nombre de rotor.

Para que pueda seguir el flujo de estator en su movimiento giratorio, es necesario crear una atracción magnética entre ambos, esto se consigue mediante un flujo de rotor. A su vez, en todo circuito magnético, un flujo de esta naturaleza se produce por un embobinado de excitación. El embobinado más simple que se puede considerar, consiste en una espira cerrada, cuyos costados se alojan en ranuras diametralmente opuestas del núcleo del rotor.

Esta espira se encuentra inmóvil, mientras que el flujo gira a la velocidad síncrona N_s , (por ejemplo, en un sistema de 60Hz daría 60 vueltas en un segundo o

3600 vueltas en un minuto, rpm) por lo que hay un cruzamiento entre líneas de flujo y costados de espira. Esto, induce una fuerza electromotriz en ambos costados; aplicando la regla de la mano derecha, se puede deducir la polaridad de esta f.e.m. en cada costado.

Haciendo caso omiso de la reactancia de la espira, en el caso supuesto de que aparezca una corriente en fase con la f.e.m., que se identificará como corriente de rotor I_r , la que a su vez origina el flujo del rotor ϕ_r hacia la derecha (se deduce con la misma regla de la mano derecha) y a 90° atrás el flujo del estator ϕ_s . *La excitación de la bobina del rotor se ha efectuado por inducción, sin necesidad de conexiones del exterior.*

El lugar por el que sale el flujo desde el estator al entrehierro define el polo norte de estator y por donde entra nuevamente a su núcleo es el polo sur; de igual manera, el lugar por donde sale el flujo de rotor al entrehierro es el polo norte de rotor y por donde regresa el polo sur. Por la atracción entre el norte de rotor y el sur de estator y entre el norte de estator y el sur de rotor, se tienen las fuerzas que constituyen el par electromagnético que da origen al giro del rotor.

Todo esto sucede en un instante de corta duración, mientras el flujo corta los costados de la espira; cuando ya lo ha hecho, desaparece toda la cadena de fenómenos electromagnéticos, para repetirse un poco más de medio ciclo después, (sería medio ciclo exacto si la espira permaneciera inmóvil, pero no hay que olvidar que ya se ha iniciado el movimiento), esto significa que el par electromagnético es pulsante.

Para obtener un par continuo y de magnitud útil, se acomodan las espiras en toda la periferia del núcleo de rotor (como el embobinado de jaula de ardilla). Con esta configuración sucede que en dondequiera que el flujo del estator cruce el rotor, hay barras de la jaula con las que se forma una espira (o varias espiras en paralelo, ya que el flujo no es concentrado), induciéndose las fuerzas electromotrices de rotor, que producen las corrientes de rotor y el flujo polar o flujo de rotor.

De manera resumida, el motor de inducción funciona de la siguiente manera: al energizar la armadura, el estator produce un flujo magnético giratorio, de magnitud y

velocidad constantes. En el rotor se inducen polos magnéticos que siguen en su giro al flujo de estator.

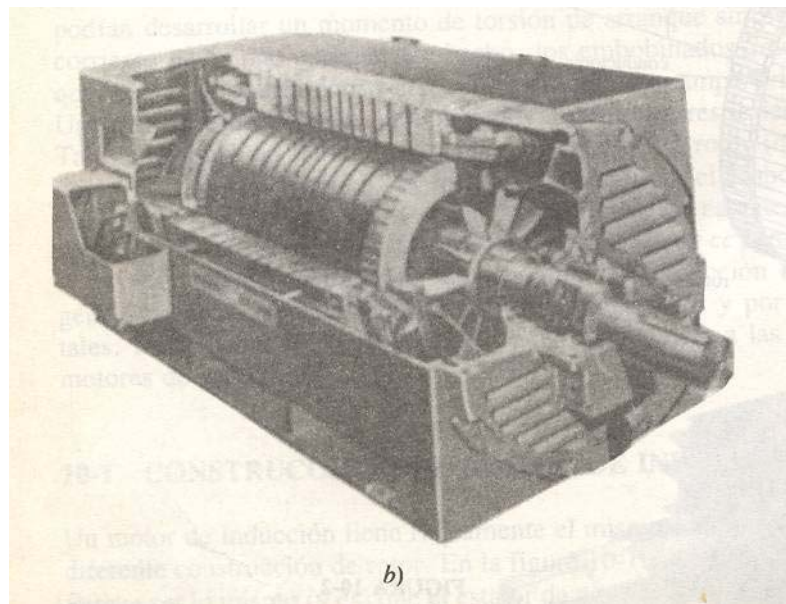
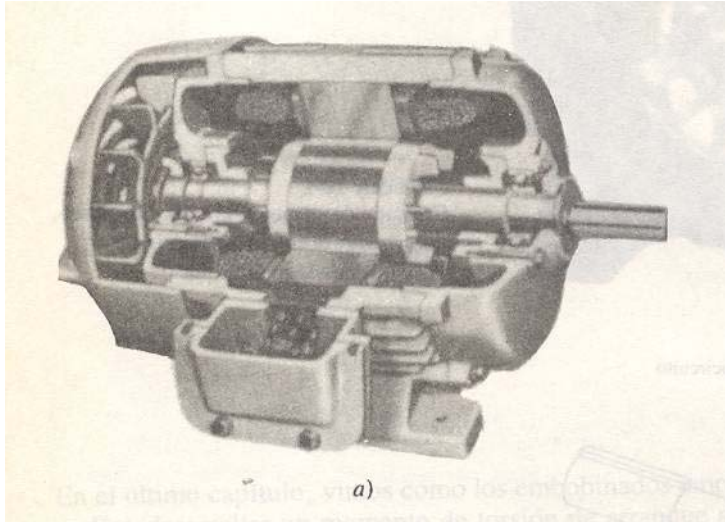


Figura 4. a) Corte de un típico motor de inducción pequeño, de jaula de ardilla (cortesía de Magne Tek, Inc.). b) Corte de un motor de inducción grande de jaula de ardilla. (Cortesía de General Electric Company).

MOTORES SÍNCRONOS

Los motores síncronos son máquinas síncronas que se usan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO

Para entender el concepto básico de un motor síncrono, es necesario observar la figura 5, que muestra un motor síncrono de dos polos. La corriente de campo I_F del motor produce un campo magnético B_R de estado estable. El sistema de voltajes trifásico se aplica al estator de la máquina, el cual producirá un flujo de corriente trifásica en los embobinados.

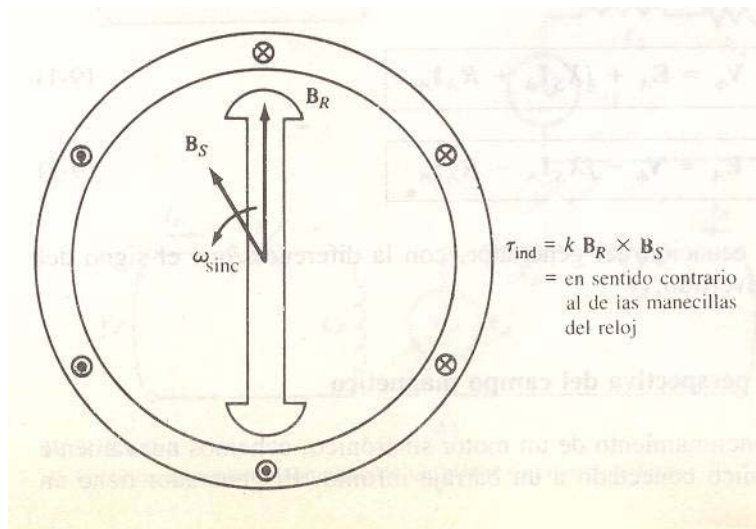


Figura 5. Motor síncrono de dos polos.

Un sistema de corrientes trifásicas en un embobinado de inducido produce un campo magnético rotatorio uniforme B_S . Por tanto, existen dos campos magnéticos en la máquina y el campo del rotor tenderá a alinearse con el campo del estator, de la misma manera que dos barras imantadas tratarán de alinearse si se encuentran una

cerca de la otra. Puesto que el campo magnético del estator está girando, el campo magnético del rotor (y el rotor mismo) tratarán constantemente de alcanzarlo. Cuanto más grande sea el ángulo entre los dos campos magnéticos (hasta un cierto máximo), mayor es el momento de torsión sobre el rotor de la máquina. El principio básico del funcionamiento de un motor síncrono es que el motor de la máquina "cace" al campo magnético giratorio del estator alrededor de un círculo, sin que lo llegue a alcanzar.

Como un motor síncrono es la misma máquina física que un generador síncrono, también se pueden aplicar todas las ecuaciones básicas de velocidad, potencia y momento de torsión a un motor síncrono.

Un motor síncrono es lo mismo que un generador síncrono en todos los aspectos, excepto en que la dirección del flujo de potencia tiene sentido contrario. Como la dirección de dicho flujo tiene sentido contrario, es previsible esperar que la dirección del flujo de corriente en el estator del motor también tenga sentido contrario. Por consiguiente, el circuito equivalente de un motor síncrono es exactamente el mismo que el circuito equivalente de un generador síncrono, excepto porque la dirección de referencia I_A se invierte.

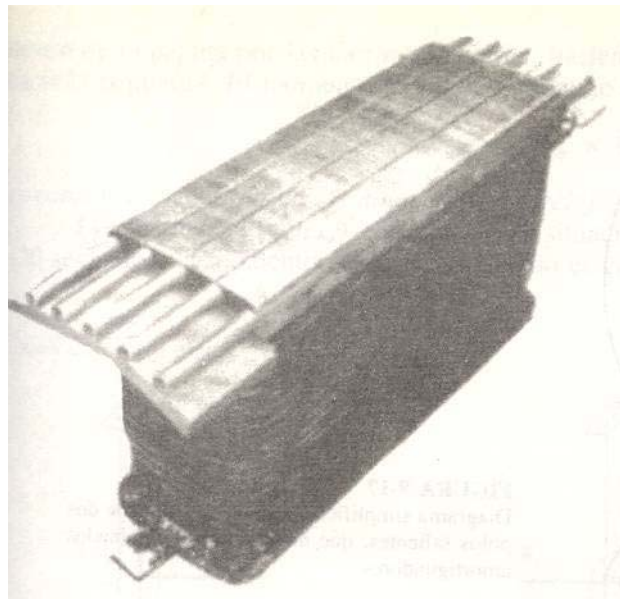


Figura 6. Masa polar del campo del rotor de una máquina síncrona que muestra los embobinados amortiguadores en la cara polar. (Cortesía de General Electric Company).

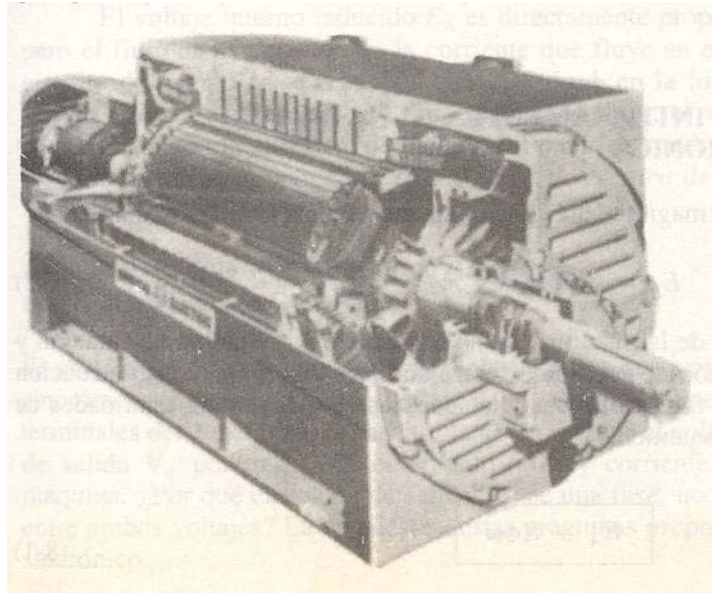


Figura 7. Diagrama de corte de una máquina síncrona grande. Obsérvese la construcción de polos salientes y la excitatriz sobre el eje. (Cortesía de General Electric Company).

TEMA III

RELEVADORES ELECTROMECA'NICOS, DE ESTADO SÓLIDO Y BASADOS EN MICROPROCESADORES

Existen relevadores analógicos, digitales y numéricos, los cuales están conectados a un sistema de potencia y detectan condiciones intolerables.

Los relevadores se pueden clasificar por sus entradas, su principio de operación o estructura y por su característica diferencial.

❖ Entradas

Corriente

Voltaje

Potencia

Presión

Frecuencia

Temperatura

Flujo

Vibración

❖ **Principio de operación o estructura**

Balanceo de corriente

Porcentaje

Producto

Estado sólido

Estáticos

Microprocesador

Electromecánicos

Térmicos

❖ **Característica diferencial**

Distancia

Direccional de sobrecorriente

Tiempo inverso

Tiempo definido

Bajo voltaje

Sobrevoltaje

Tierra y fase

Alta y baja velocidad

Piloto

Comparación de fase

Comparación direccional

Corriente diferencial

ANALÓGICOS

Los relevadores analógicos son aquellos en los que sus valores de entrada son convertidos en bajo voltaje, pero de la misma señal, los cuales son combinados o comparados con los valores de referencia, esto es para producir una señal de salida.

DIGITALES

Los relevadores digitales son aquellos en los cuales los valores de CA son manipulados en su forma analógica y subsecuentemente convertidos en formas de voltaje de onda cuadrática (binario). Los circuitos lógicos o microprocesados, comparan la relación de fase de las ondas cuadráticas para mandar una señal de salida.

NUMÉRICOS

Los relevadores numéricos son aquellos en los cuales los valores de CA son muestreados y convertidos en valores numéricos. Un microprocesador realiza operaciones matemáticas y/o lógicas con los datos para mandar una señal de salida.

La filosofía general de la aplicación de los relevadores consiste en dividir el sistema de potencia en zonas, las cuales puede proteger adecuadamente con el debido reconocimiento de la falla, haciendo las desconexiones mínimas del sistema en el menor tiempo posible.

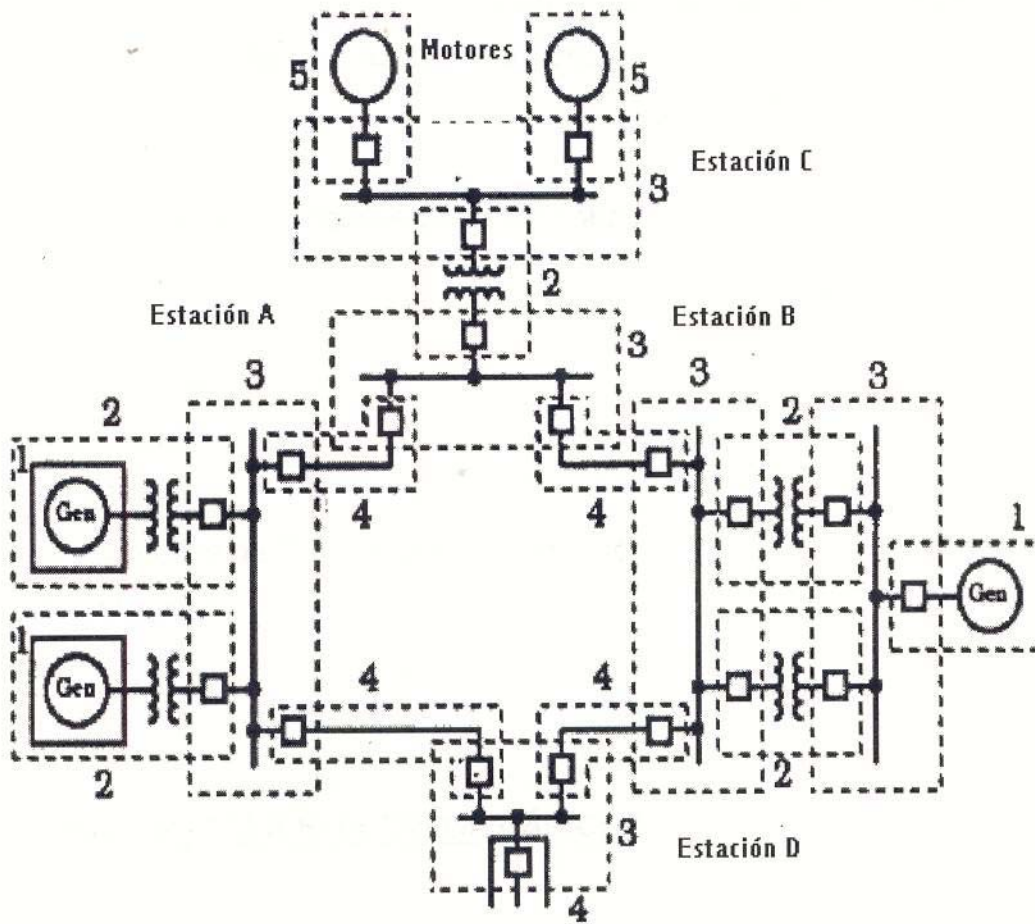


Figura 8. Sistema de potencia.

En la figura 8, se muestra un ejemplo de las diferentes zonas en las que se puede dividir un sistema de potencia, entre las que se pueden encontrar:

1. Generadores
2. Transformadores
3. Buses
4. Circuitos de transmisión y distribución
5. Motores

III.1.- RELEVADORES ELECTROMECAÑICOS

Todos los relevadores están montados en un chasis, en el cual se encuentran los circuitos de entrada y de control. Véase figura 9.

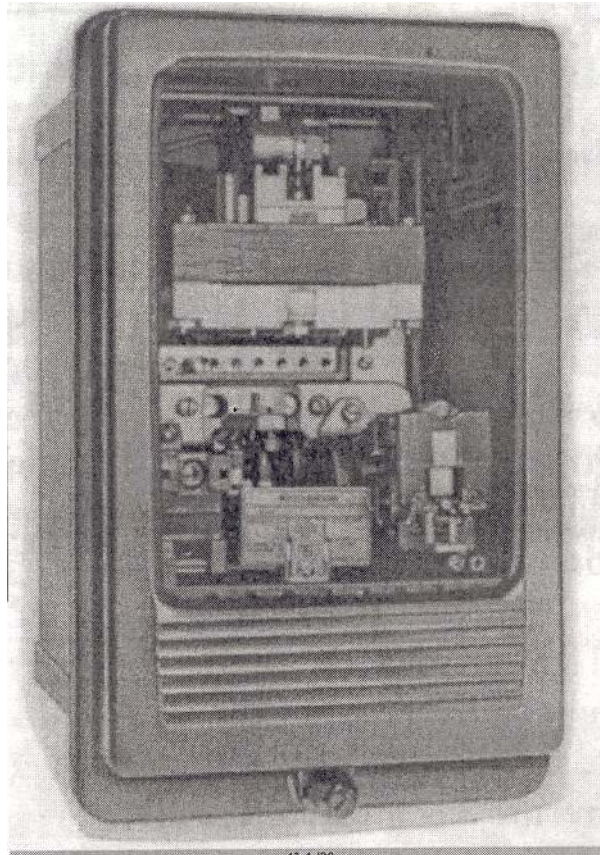


Figura 9. Chasis.

En la figura 10, se muestra el esquema interno que corresponde al chasis que se observa en la figura 9.

Los relevadores de protección son las herramientas del ingeniero de protección. Se considera que todos los relevadores funcionan en respuesta a una o más magnitudes eléctricas, ya sea para cerrar o para abrir contactos.

Los principios de funcionamiento son fundamentalmente:

1. Atracción electromagnética
2. Inducción electromagnética

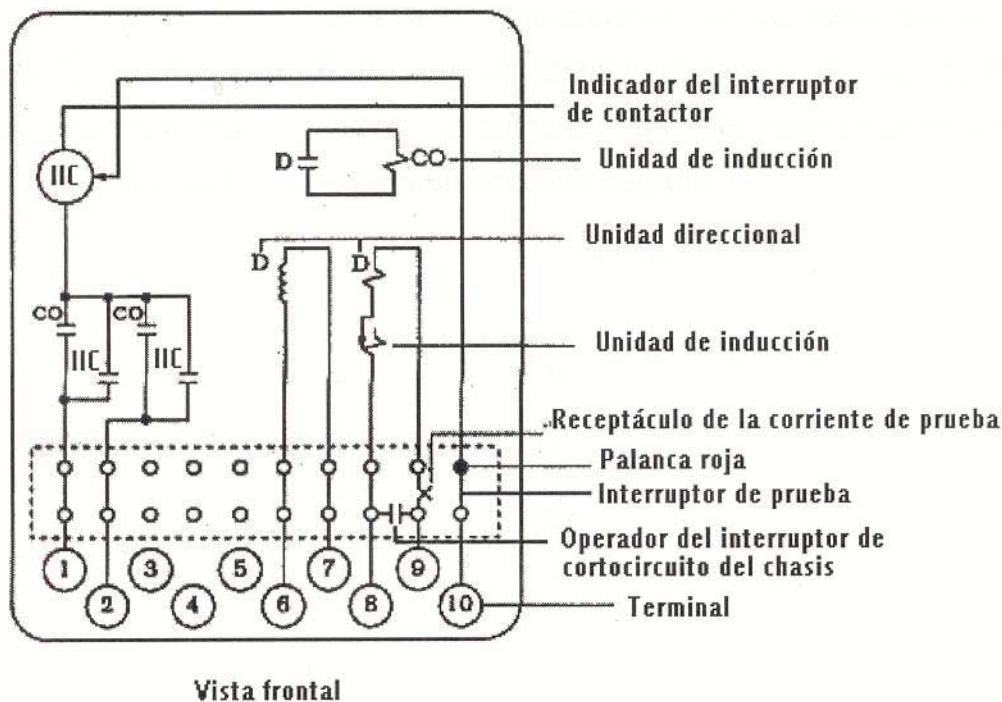


Figura 10. Chasis. Esquema interno.

Los de atracción electromagnética funcionan en virtud de un émbolo que es atraído dentro de un solenoide, o una armadura que es atraída por los polos de un electroimán. Estos relevadores pueden ser accionados por magnitudes de CD o CA. Los relevadores de inducción electromagnética utilizan el principio del motor de inducción por medio del cual, el par se desarrolla por inducción de un rotor; este principio de funcionamiento se aplica sólo a relevadores accionados por corriente alterna, a los cuales llamamos relevadores del tipo inducción.

El movimiento mecánico del mecanismo de accionamiento se proporciona a una estructura de contacto para cerrar y abrir contactos. Cuando se dice que un relevador funciona, se entiende que cierra y abre sus contactos, no importando la acción requerida. La mayoría de los relevadores tienen un resorte de control o están restringidos por la fuerza de gravedad, de tal manera que éstos asumen una posición determinada cuando están completamente sin alimentación; un contacto que se cierra bajo esta condición es conocido como un contacto cerrado y uno que se abre es conocido como un contacto abierto. La nomenclatura más usual es la designación a para un contacto abierto, y b para un contacto cerrado.



Cuando un relevador funciona para abrir un contacto b o cerrar un contacto a , decimos que se *"pone en trabajo"*. Al valor mínimo de la magnitud de influencia que originará tal funcionamiento, a medida que ésta se incrementa lentamente desde cero, se le conoce como valor de *"puesta en trabajo"*. Cuando el relevador funciona para cerrar un contacto b , o para mover hacia un tope, en lugar de hacia un contacto b , decimos que se repone. El valor máximo de la magnitud de influencia a la que esto ocurre, a medida que ésta disminuye lentamente desde arriba del valor de *"puesta en trabajo"*, se le conoce como el valor de reposición. Cuando un relevador funciona para abrir su contacto a , pero no se repone, decimos que éste pasa al reposo y el valor máximo de la magnitud de influencia a la que esto ocurre, es conocido como valor de paso al reposo.

En general, un relevador de protección está provisto de un indicador que muestra cuándo ha funcionado el relevador para disparar un interruptor. Dichos indicadores de funcionamiento o indicadores, son elementos que están coloreados de un modo característico y son accionados ya sea de manera mecánica por el movimiento del mecanismo de funcionamiento del relevador, o de manera eléctrica por el flujo de la corriente de contacto y surge cuando funciona el relevador. En este momento, están dispuestos para reponerse de manera manual después de que se ha notado su indicación y, por consiguiente, están listos para el siguiente funcionamiento.

Comúnmente, se prefieren los indicadores accionados eléctricamente, porque dan una seguridad definida de que hubo un flujo de corriente en el circuito de contacto. Los indicadores accionados de manera mecánica pueden utilizarse cuando el contacto de cierre del relevador completa siempre el circuito de disparo, en donde dicho disparo no depende del cierre de algún otro contacto en serie. Se puede utilizar un indicador mecánico con un circuito en serie que comprende contactos de otros relevadores, esto es, cuando se desea tener la indicación de que un relevador en particular ha funcionado, aunque el circuito puede no haberse completado por otros contactos.

Algunos relevadores están provistos de un mecanismo de retención que sirve para proteger los contactos contra el deterioro que resulta de un posible intento inadvertido para interrumpir el flujo de la corriente de la bobina de disparo, el cual consta de una pequeña bobina en serie con los contactos.

Esta bobina se encuentra sobre un pequeño electroimán que actúa sobre la pequeña armadura en el conjunto móvil del contacto, para retener los contactos herméticamente sellados, una vez que se halla establecido el flujo de corriente de la bobina de disparo, a la cual se le conoce como bobina de sello o bobina de retención. Otros relevadores utilizan un relevador auxiliar pequeño, cuyos contactos ponen en derivación los contactos del relevador de protección y sellan el circuito cerrado mientras fluye la corriente de disparo.

En cualquier caso, el circuito está dispuesto de tal manera que, una vez que empieza a fluir la corriente de la bobina de disparo, ésta puede ser interrumpida

únicamente por un contacto auxiliar del interruptor, que está conectado en serie con el circuito de la bobina de disparo y que abre al mismo tiempo que el interruptor.

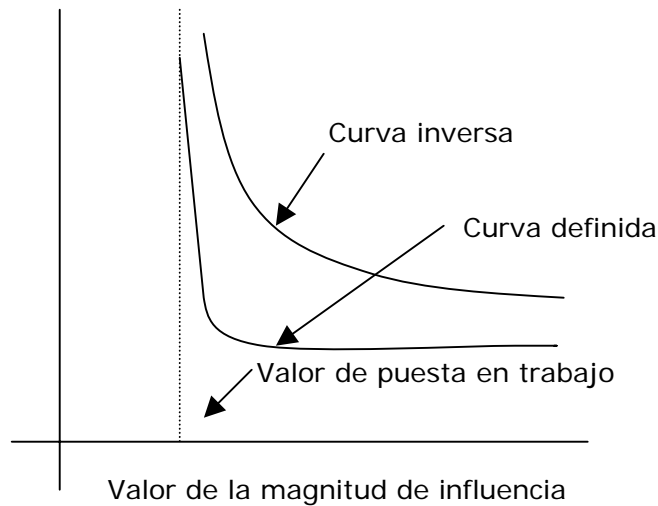
El ajuste de *"puesta en trabajo"* o de reposición, está provisto eléctricamente mediante bobinas con tomas de corriente o mediante transformadores de potencial auxiliares con tomas o resistencias; o el ajuste está provisto mecánicamente de un resorte de tensión ajustable o por variación del entrehierro inicial del elemento de maniobra con respecto a un solenoide o electroimán.

Algunos relevadores tienen acción retardada ajustable y otros son instantáneos o de alta velocidad. El término instantáneo se aplica a relevadores que funcionan en un tiempo mínimo de aproximadamente 0.1 segundos. El término alta velocidad, indica un funcionamiento en menos aproximadamente de 0.1 segundos y, por lo general, en 0.05 segundos o menos.

A veces puede utilizarse un relevador auxiliar suplementario que tiene acción retardada fija, cuando se requiere un cierto retardo que es completamente independiente del valor de la magnitud de influencia en el relevador de protección.

La acción retardada se obtiene en relevadores del tipo de inducción por un imán de arrastre, que es un imán permanente dispuesto de tal manera que el rotor del relevador corta el flujo entre los polos del mismo imán. Esto produce un efecto de retardo en el movimiento del rotor en cualquier dirección. En otros relevadores se han utilizado diversos dispositivos mecánicos que incluyen émbolos amortiguadores, fuelles y mecanismos de escape.

Una curva de tiempo inverso es aquella en la cual, el tiempo de funcionamiento se vuelve menor a medida que el valor de la magnitud de influencia se incrementa. Cuanto más pronunciado es el efecto, más inversa se dice que es la curva; éstas son más inversas cerca del valor de *"puesta en trabajo"* y son menos inversas a medida que se aumenta la magnitud de influencia. Una curva de tiempo definido es aquella en la cual, el tiempo de funcionamiento no es afectado por el valor de la magnitud de influencia, aunque en realidad, la terminología se aplica a una curva que se define un poco por encima del valor de *"puesta en trabajo"* del relevador.



III.2.- RELEVADORES DE ESTADO SÓLIDO

Estos relevadores utilizan múltiples componentes de baja potencia o semiconductores como son: diodos, transistores, tiristores, resistores y capacitores. Estos componentes son utilizados y manejados para generar unidades lógicas.

UNIDAD LÓGICA DE LOS RELEVADORES DE ESTADO SÓLIDO

- ❖ **Principio básico.** La unidad lógica está establecida para la combinación de los componentes de baja potencia o semiconductores para formar funciones lógicas. La unidad lógica tiene sólo dos estados: no-salida, la cual está representada por un "0" (cero) y salida representada por un "1" (uno).
- ❖ **Comparación de magnitud.** Existen dos tipos básicos de comparación de magnitud en las unidades lógicas: la referencia mezclada y la referencia variable.

- ✓ **Referencia Mezclada.** Los circuitos lógicos utilizados para las unidades de sobrecorriente instantánea (figura 11) son básicamente detectores de nivel de CD. La entrada de la corriente al transformador secundario es transformada a un voltaje de corriente derivada en la entrada del secundario del transformador. Este voltaje es limitado por un rectificador zener Z_1 y un resistor R_2 . Para una entrada baja de corriente el voltaje es proporcional a la corriente y es determinada por R_1 y R_3 . El muestreo mínimo está dado por el ajuste de R_1 . Para un valor de R_1 bajo, se divide la corriente de tal manera que pasa más corriente por R_1 y R_3 , y menos por el rectificador de fase.

El rectificador de fase consiste de una red resistiva-capacitiva, un transformador y un puente rectificador. La salida de voltaje del rectificador de fase se muestra en la parte superior de la figura 11. Cuando este voltaje iguala al voltaje zener Z_2 , Z_2 conducirá, proporcionando la corriente de base que encenderá a Q_1 . Entonces, Q_1 enciende a Q_2 , dando una salida de corriente a través de D_2 y R_9 . Q_2 provee una realimentación positiva a través de R_7 y D_1 , mezclando el efecto de un detector de nivel.

La corriente disminuida puede ser ajustada por la resistencia R_7 , normalmente establecida para un disparo/recuperación con una proporción de 0.97. La realimentación positiva proporciona una acción de cierre y el 3% del ancho de banda evita que los diferentes valores de corriente cierren el muestreo mínimo. Este tipo de circuito, también puede ser utilizado para sobrevoltaje.

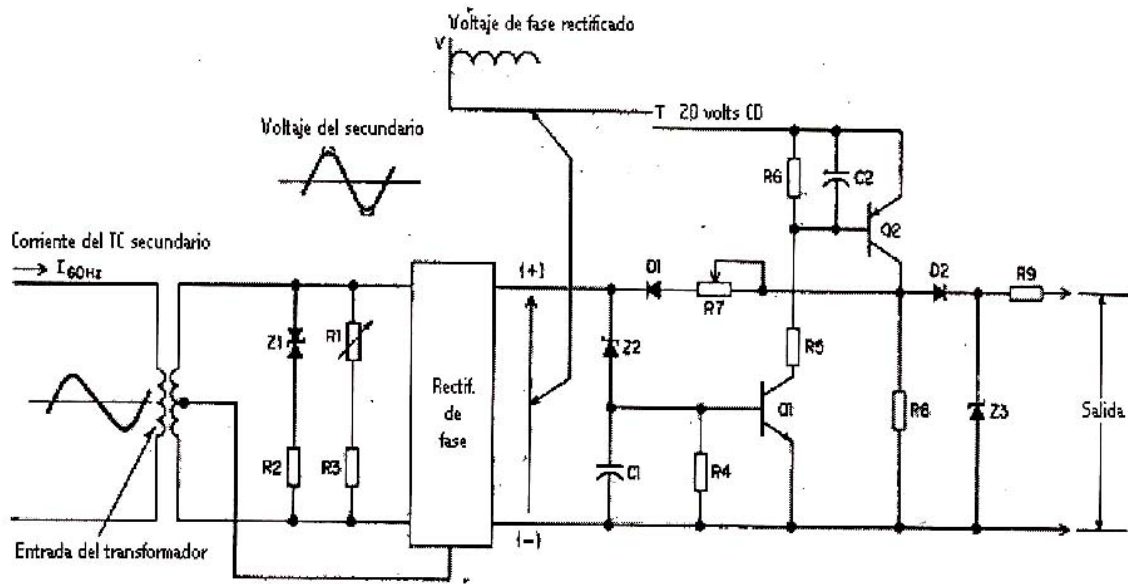


Figura 11. Referencia mezclada. Detector de nivel de CD.

- ✓ **Referencia variable.** Esta unidad lógica distingue entre el valor de voltaje de operación y los tres voltajes más pequeños restantes. Como se muestra en la figura 12, este tipo de circuito forma el elemento de la decisión lógica para el relevador SDG de distancia a tierra. Los voltajes restantes (V_x , V_y y V_z) y el operador de voltaje están conectados en oposición a través de un túnel de diodo TD₁ y los diodos D₂₅, D₂₆ y D₂₇.

Cuando el voltaje de operación es más grande que cualquiera de los otros tres voltajes restantes, la corriente fluirá a través de TD₁. Una corriente pequeña producida por el alto voltaje a través de TD₁, encenderá a Q₁ y producirá un voltaje a través de la terminal de salida. Por medio de las características de lo que se podría llamar túnel de diodo se obtiene un punto de encendido, el cual sirve como una acción de disparo efectiva.

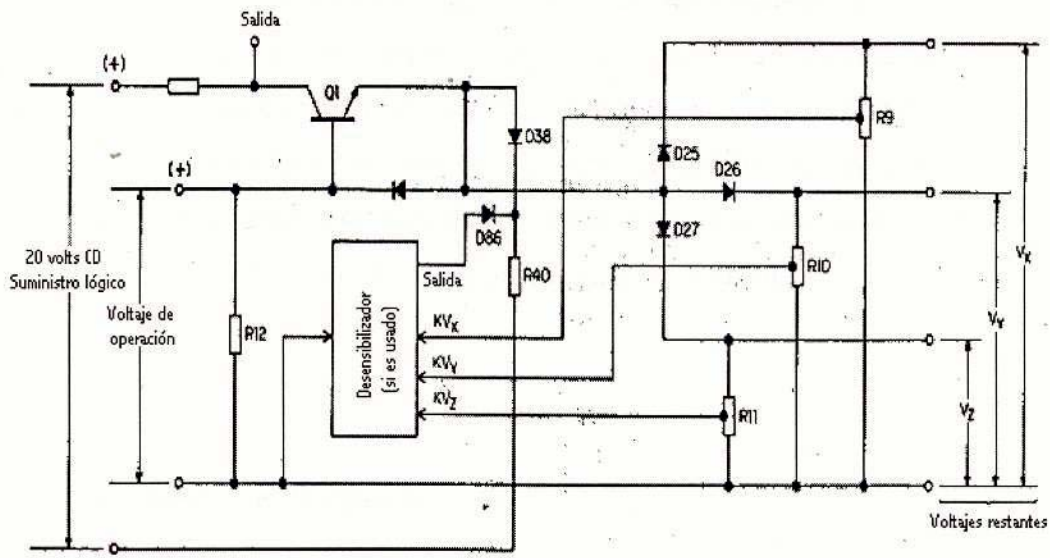


Figura 12. Referencia variable. Circuito lógico para el relevador SDG de distancia a tierra.

Puesto que una falla de doble fase a tierra puede causar una sobrecarga del relevador de distancia a tierra, se incluye un circuito desensibilizador. Este circuito consiste de tres redes de voltajes mínimos. La porción k de cada uno de los voltajes restantes está puesta en el circuito desensibilizador. Cuando una combinación de cualquiera de dos voltajes es menor que la del tercero restante, la salida produce una acción de bloqueo a través de D_{86} , evitando que Q_1 se encienda. Cuando el voltaje de operación es mayor que el voltaje más grande restante, D_{86} se activa en inversa y a través de D_{38} Q_1 se enciende.

- ❖ **Comparador de bloque a bloque.** El comparador de ángulo de fase de tipo bloque a bloque utiliza un detector de cruce por cero, principalmente para generar ondas cuadradas. Adicionalmente el circuito lógico proporciona una salida si la cantidad de operación es la primera cantidad de polarización. Las relaciones de fase para la condición de operación están mostradas en la figura

13. Se obtiene una salida si la entrada de operación es la primera entrada de polarización de 0 a 180°. De manera recíproca, no ocurre una salida (limitación) si la entrada de operación retrasa la entrada de polarización de 0 a 180°. La relación de fase por la condición de limitación está mostrada en la figura 14.

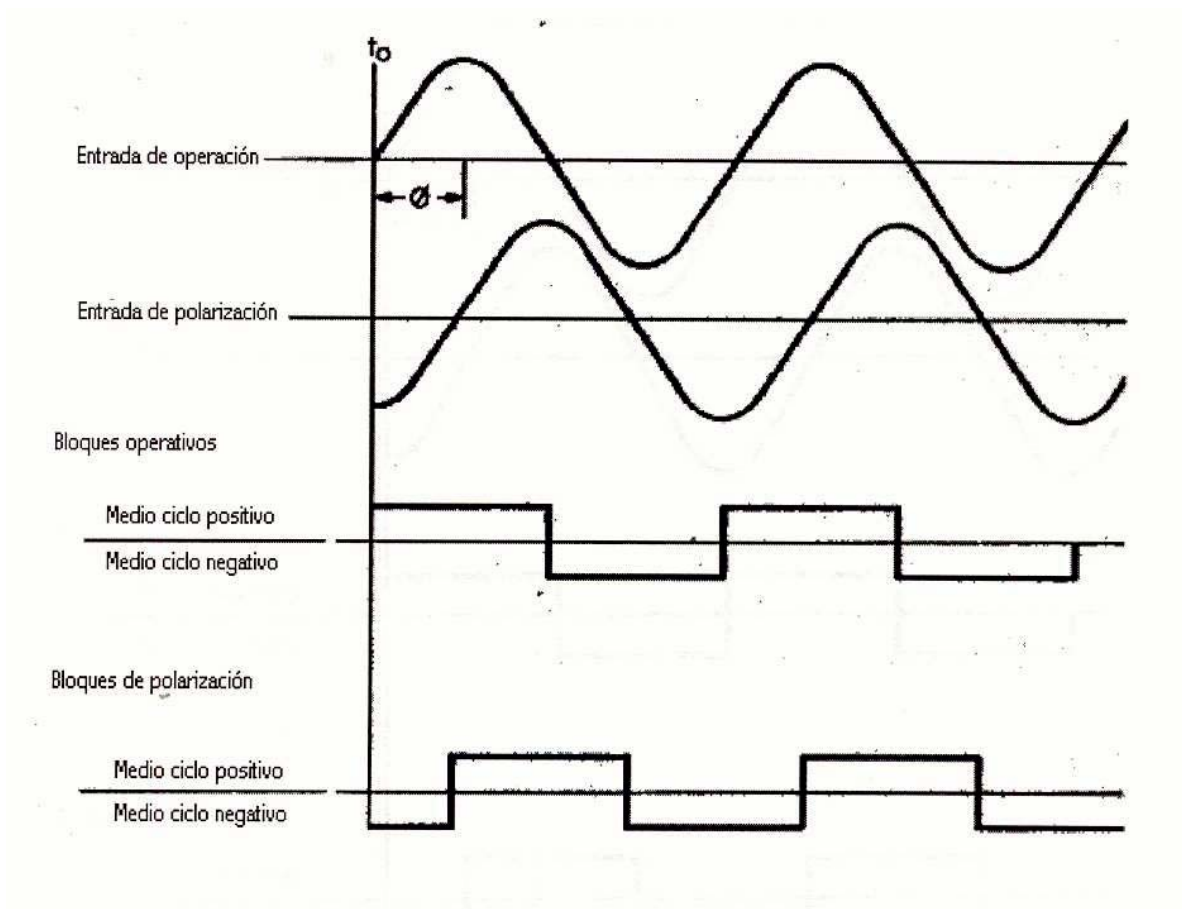


Figura 13. Comparador de bloque a bloque.

Las ondas cuadradas de medio ciclo son generadas en cada cruce por cero por sus respectivas cantidades de entrada. La polaridad de las ondas cuadradas es la misma que la cantidad generada durante el medio ciclo correspondiente.

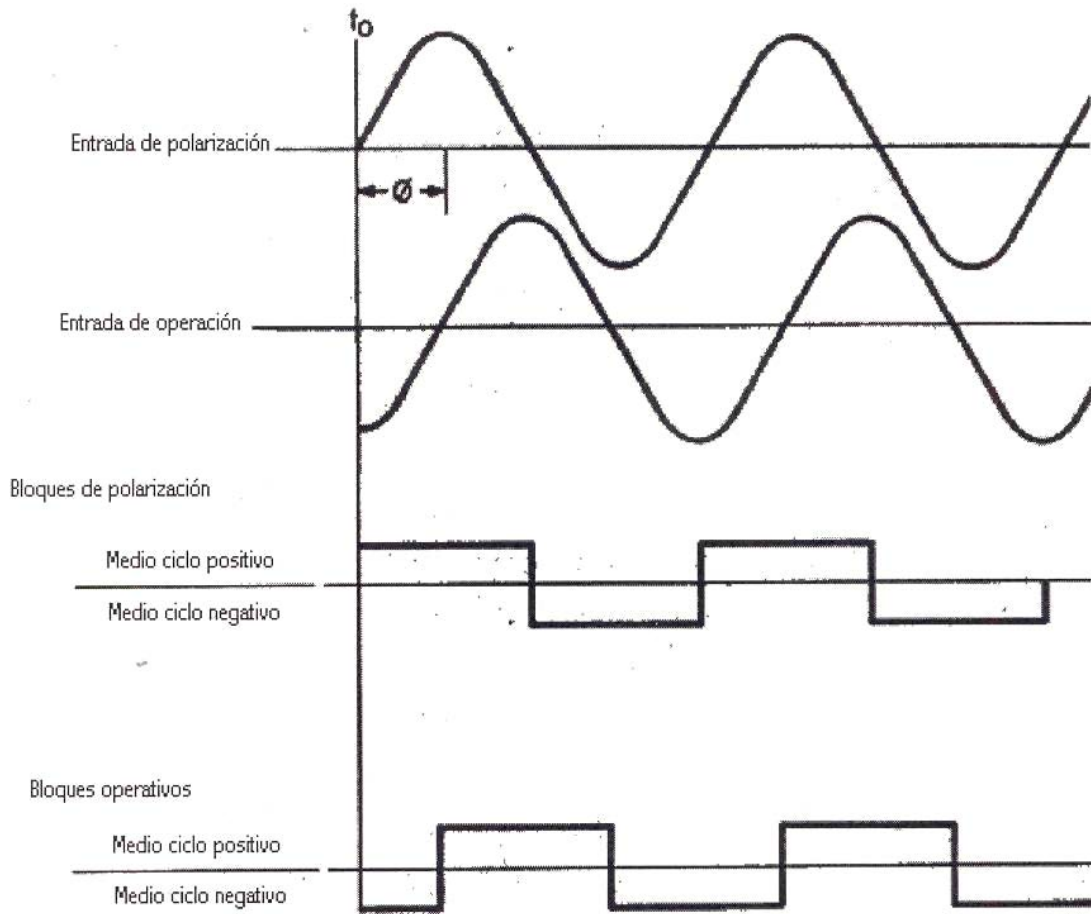


Figura 14. Relación de fase por la condición de limitación.

Una mitad del circuito comparador de tipo bloque a bloque (figura 15), hace una comparación durante el medio ciclo positivo. Los diodos de entrada formados por D_A y D_B , limitan el voltaje de entrada a 1.5 V y la salida de los transformadores T_1 y T_2 a 12 V.

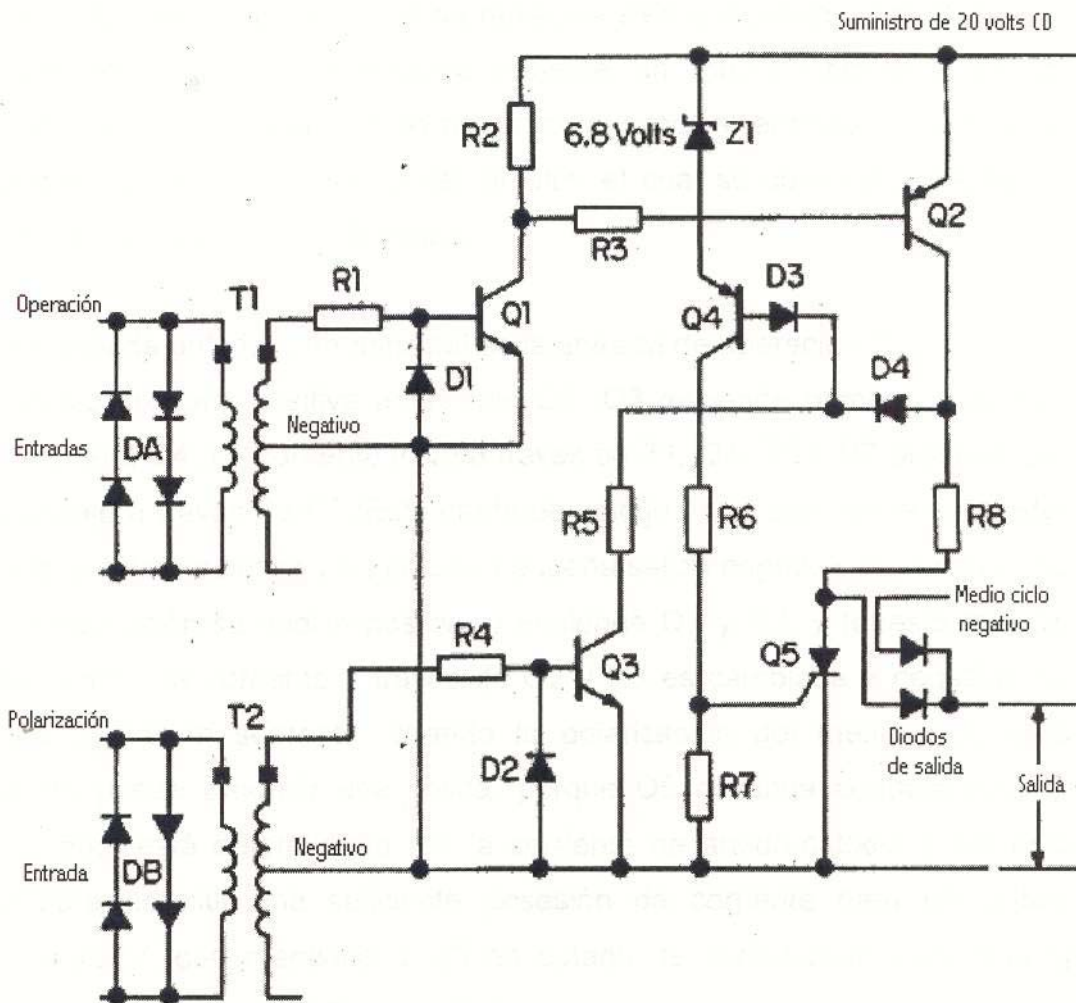


Figura 15. Circuito comparador de tipo bloque a bloque.

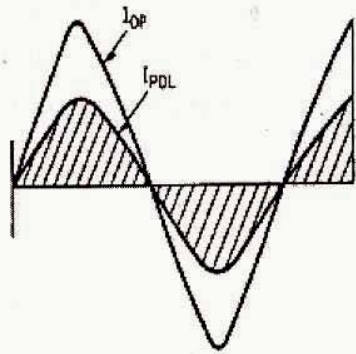
Para las condiciones de operación mostradas en la figura 13, la entrada principal de operación hace positiva la base de Q_1 , antes de que la entrada de polarización pueda hacer positiva la base de Q_3 . Entonces, Q_1 se enciende primero y por lo tanto se enciende Q_2 . Puesto que Q_5 no ha sido activado, ya que esto se realiza en el estado de bloqueo, permite una salida a través de Q_2 , R_8 y los diodos de salida. Cuando Q_2 se enciende, D_3 está nuevamente en inversa a través de D_4 para un voltaje aplicado de 20 V. Esto impide que fluya la corriente a la base para encender Q_4 , de otra manera podría suceder que la entrada de polarización se retrasara siendo positiva, encendiendo a Q_3 . Debido

a que Q_4 no puede ser encendido, aparece un medio ciclo a la salida. De manera similar, durante el medio ciclo negativo, la entrada principal de operación proporciona una salida en la otra mitad del circuito, el cual se conecta a través del diodo de medio ciclo negativo a la salida.

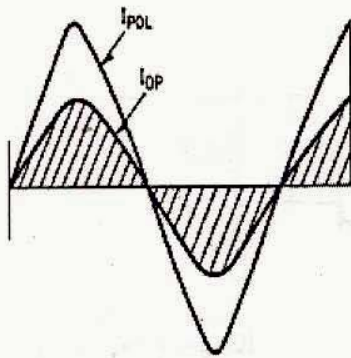
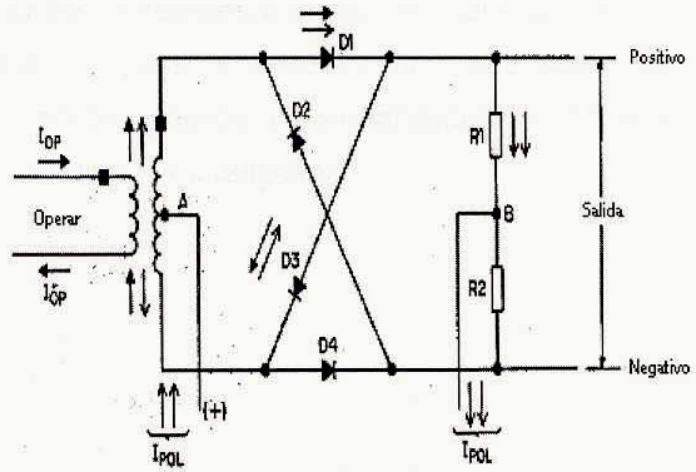
Si la entrada de polarización principal es la entrada de operación (figura 14), la base de Q_3 se hace positiva antes que Q_1 . Q_3 enciende primero y, de esa forma, enciende a Q_4 . La corriente que fluye a través de Z_1 , Q_4 , R_6 y R_7 produce una caída de voltaje a través de R_7 . Esta caída de voltaje en la compuerta del tiristor Q_5 provoca que éste conduzca y tenga una pequeña salida negativa. Así, la principal entrada de operación se vuelve positiva y enciende a Q_1 y a Q_2 , y (puesto que Q_5 está conduciendo) la corriente a través de Q_2 y R_8 es cambiada a negativa. La entrada de operación sobrante, cuando la polarización del medio ciclo está completa, no puede producir una salida, porque Q_5 continúa conduciendo. El reestablecimiento está determinado por la corriente de ánodo-cátodo, y R_8 está asignada para permitir una posesión suficiente de corriente para un voltaje aplicado de 20 V, que mantiene a Q_5 en estado de conducción hasta que la cantidad de operación sea prácticamente cero.

- ❖ **Comparación de tiempo coincidente.** Este funciona como un puente rectificador, el comparador de ángulo de fase del tipo modulador de anillo, produce una salida cuando los valores de operación conducen la cantidad principal de polarización por 90° o menos. Esta característica permite que el modulador de anillo se aplique como una unidad sensora adicional.

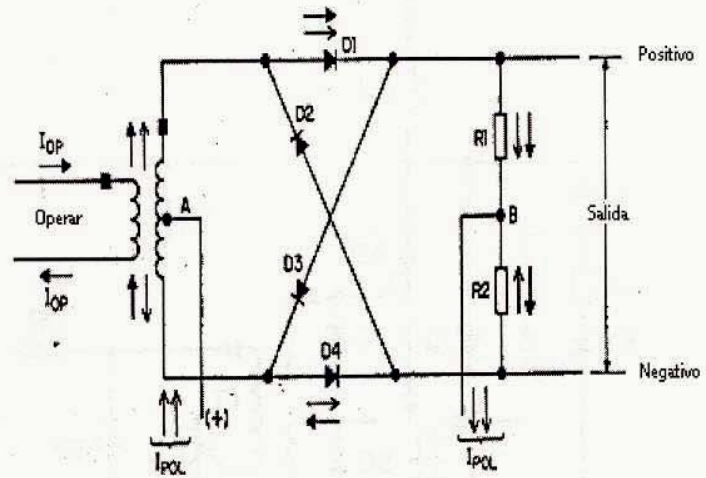
En la figura 16, se muestran los principales puentes de operación bajo condiciones de entrada diferentes. Las cantidades de operación están representadas por las flechas cerradas o gruesas, y las cantidades de polarización por las flechas abiertas o delgadas.



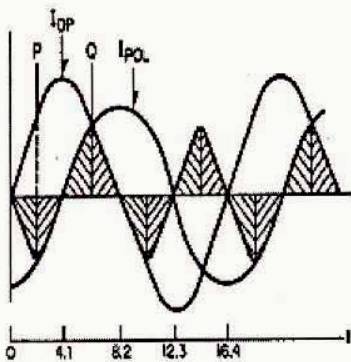
Relación de fases $I_{OP} > I_{POL}$



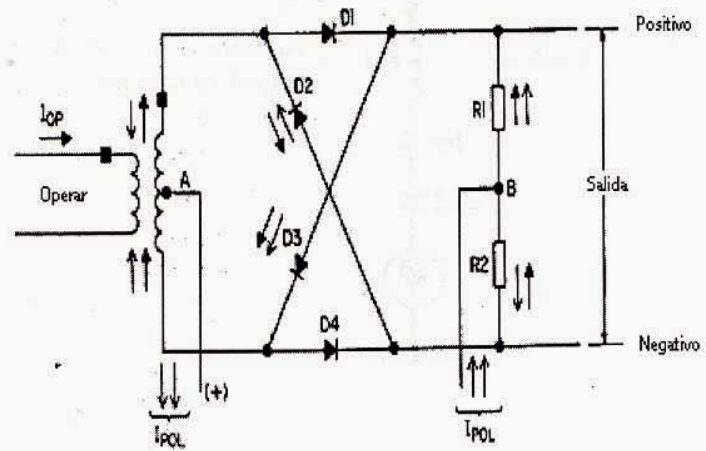
Relación de fases $I_{POL} > I_{OP}$



a) Operación para condición de fase de cantidades de operación y polarización.



Relación de 90° $I_{OP} > I_{POL}$



Nota: Las corrientes mostradas como (+) del tiempo de O a P.

b) Operación para condición de 90° entre cantidades de operación y polarización.

Figura 16. Comparación de tiempo coincidente.

Además de las unidades mencionadas anteriormente, también cuenta con una unidad de amplificación y unidades auxiliares. La primera de éstas es la que amplifica las corrientes y voltajes pequeños, así como los trenes de impulso hacia los embobinados del transformador, para mandarlo al interruptor y de esta forma mandar el disparo cuando sea necesario, esta unidad de amplificación se muestra en la figura 17. La unidad auxiliar es aquella que nos indica o señala cuando existe una falla o una avería en el sistema por medio de una alarma, la cual está integrada por una señal visual y otra de sonido.

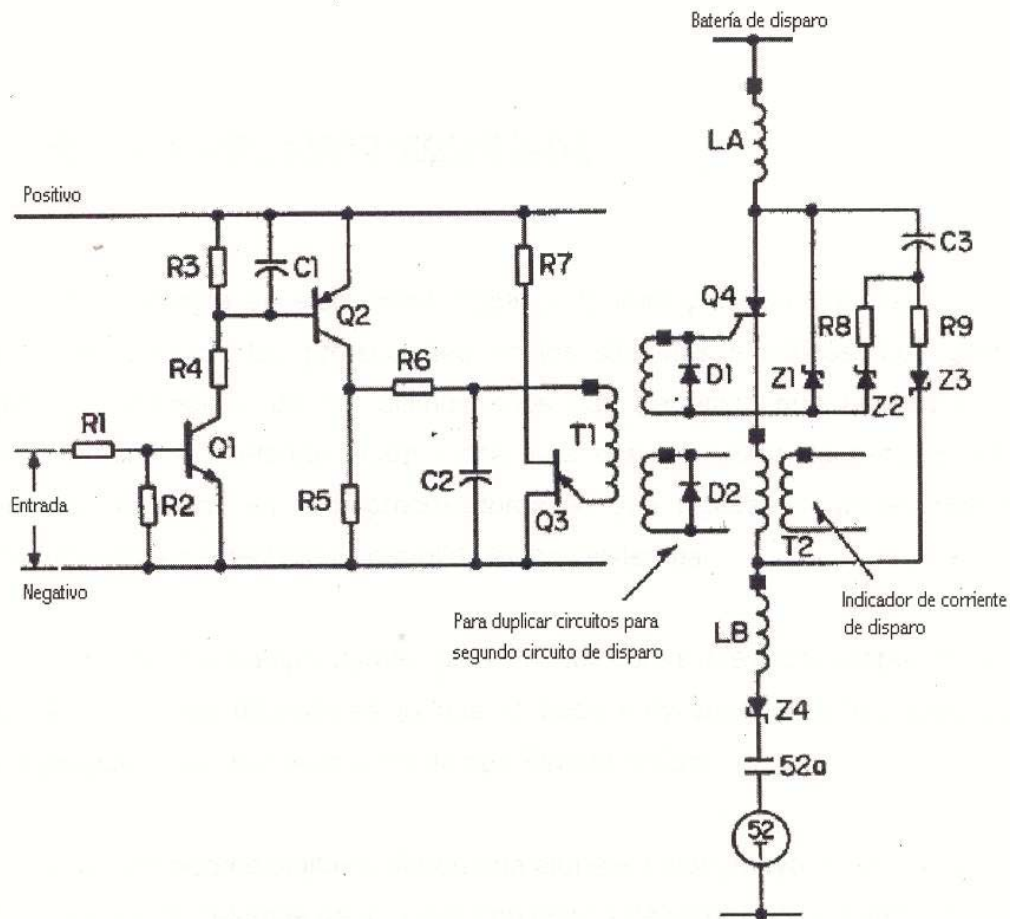


Figura 17. Unidad de amplificación.

III.3.- RELEVADORES MICROPROCESADOS

La tecnología en electrónica digital y microprocesadores ha llegado a abarcar el área de las protecciones de los sistemas eléctricos. Los grandes avances tecnológicos de los últimos años han permitido que actualmente se encuentren en el mercado internacional una gran variedad de relevadores de protección basados en microprocesadores, lo que representa un avance muy importante en la protección y control de dichos sistemas.

Este tipo de equipo aparte de funcionar como relevador, proporciona una serie de funciones adicionales, condición que lo hace muy superior a los relevadores electromecánicos e inclusive a los de estado sólido.

Los relevadores digitales tienen una alta capacidad de ejecución, mayor confiabilidad y son más económicos, además de que reducen costos de instalación y el trabajo de mantenimiento. Estos también proporcionan al sistema amplia información para la operación de aparatos y sistemas eléctricos de potencia. La localización de fallas y los reportes de eventos, también son algunas de las operaciones que realizan los relevadores digitales.

FUNCIONES BÁSICAS

Las principales funciones que nos proporciona el relevador digital microprocesado son:

- ❖ Protección de distancia para fallas entre fases y a tierra
- ❖ Localización de fallas en las líneas de transmisión
- ❖ Salida de disparo monopolar
- ❖ Recierre
- ❖ Telecontrol sobre el interruptor de potencia
- ❖ Auto verificación automática
- ❖ Reporte de fallas con datos de falla y de prefalla

- ❖ Medición de voltajes, corrientes y potencias real y reactiva
- ❖ Acceso local y a distancia
- ❖ Indicación para pruebas y fallas

CARACTERÍSTICAS GENERALES

En general los relevadores microprocesados proporcionan, con una precisión bastante aceptable, 3 zonas de operación con características circulares MHO de protección de distancia para todo tipo de fallas incluyendo su localización.

La sencillez de construcción y bajo *burden* en conjunto con una cuidadosa aplicación de la tecnología de microprocesadores, y el uso de un eficiente procesamiento de señales digitales, dan como resultado una gran confiabilidad y seguridad de operación como dispositivo de protección.

La opción de comunicación proporciona la posibilidad de acceder al equipo en forma local mediante una terminal de cómputo y, en forma remota, con el enlace de comunicación adecuada. La localización de fallas se determina empleando como datos los tipos de falla.

Para tener información gráfica de la falla, el relevador proporciona mediante una impresora o terminal de cómputo, un reporte de la misma, en la cual se pueden apreciar con magnitudes, las condiciones de la prefalla, falla y postfalla y una serie de elementos de supervisión. Con la información reportada se pueden construir los diagramas fasoriales de voltaje y corriente en condiciones normales y de falla.

COMPONENTES DE UN RELEVADOR DIGITAL

La protección digital trabaja a partir de ondas de corriente y voltaje recolectados a partir de fuentes analógicas y de circuitos de control y monitoreo.

El microprocesador y su subsistema de adquisición de datos es el corazón de cualquier relevador microprocesado. Sus componentes principales son:

- ❖ 1 microprocesador de 8 bits con capacidad aproximada de 40kB de memoria para la memoria (PROM)
- ❖ 16kB de memoria no volátil (EEPROM), aproximadamente
- ❖ 2 puertos de comunicación serie
- ❖ 1 cronómetro programable
- ❖ 3 puertos paralelos duales

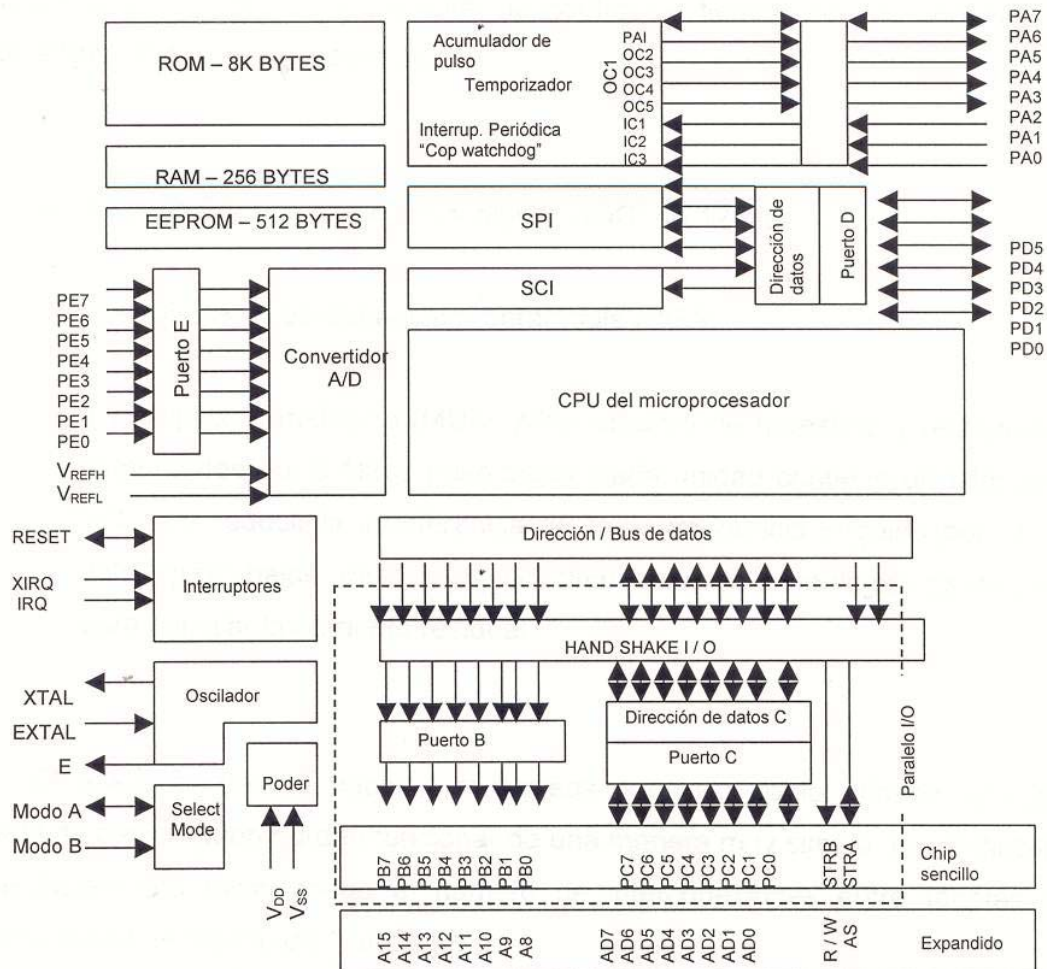


Figura 18. Diagrama interno de un microprocesador.

Los puertos paralelos y la sección de control de tiempo para la conversión de analógico a digital, consisten de:

- ❖ 1 convertidor de analógico a digital "ADC" de 12 bits
- ❖ 1 amplificador de ganancia programable (PGA)
- ❖ 1 multiplexor analógico (MUX) y los circuitos de muestreo y retención son alimentados por 8 filtros paso bajas, cada unidad contiene un filtro pasivo RC para reducir la interferencia de radio frecuencia seguido por un filtro activo paso bajas de dos polos. Se emplea un circuito sumador analógico para calcular la corriente residual.

El relevador deberá hacer 4 muestreos por ciclo como mínimo, lo cual le permite con un buen *burden* funcionar de manera muy simple. La confiabilidad se incrementa minimizando el número de interconexiones entre tarjetas y la simplicidad de diseño de "hardware".

Los bloques elementales de un relevador digital son los siguientes:

- ❖ Interfaz de entradas analógicas
- ❖ Circuito de procesamiento central
- ❖ Puertos de comunicación y generador de velocidad de transmisión ("baud-rate")
- ❖ Panel
- ❖ Entradas lógicas
- ❖ Salidas lógicas
- ❖ Fuente

INTERFAZ DE ENTRADAS ANALÓGICAS

- ❖ **Transformadores de acoplamiento.** Internamente se utilizan 3 transformadores de corriente y 3 transformadores de potencial para la toma de señales analógicas. Como protección adicional al instrumento, se usan

varistores con el objeto de suprimir transitorios que puedan dañar la electrónica interna.

- ❖ **Filtro paso bajas.** Es necesario que las corrientes y los voltajes sean filtrados por medio de un filtro paso bajas (LPF) antes de procesarse digitalmente, para evitar que las señales a muestrear contengan algún componente indeseable que el microprocesador pudiera interpretar como una falla. Existen dos maneras de filtrado, a través de filtros analógicos y de filtros digitales.
- ❖ **Circuitos de muestreo y retención.** El circuito de muestreo y retención (*"sample and hold"*) no entrega ninguna salida mientras esté habilitado como rastreo. En el momento en que se habilita como retención, éste memoriza el valor que existe a la entrada en ese instante y lo entrega a la salida durante todo el tiempo que esté habilitado de esta forma. La retención de la señal dependerá del número de veces que el instrumento necesite hacer un muestreo de las entradas. La frecuencia de muestreo se realiza con un periférico de conteo y temporización. El temporizador permite dar la señal de disparo según el número de veces que se desea muestrear la señal por ciclo.
- ❖ **Temporizador de muestreo.** Los circuitos de muestreo necesitan una señal que les indique en que momento tomar una muestra. Estas señales tienen un período definido según el número de muestras por ciclo que se requieran; para lograrlo se utiliza un multivibrador estable.
- ❖ **Multiplexor.** El multiplexor se utiliza únicamente para seleccionar una salida de los datos muestreados. Este consta de interruptores analógicos y algunas veces utiliza lógica de control digital. El multiplexor analógico puede ser de 8 a 1 o de 16 a 1. Además se tiene la posibilidad de acondicionar la señal antes de enviarla, mediante un amplificador de ganancia programable, al convertidor analógico digital.
- ❖ **Amplificador de ganancia programable (PGA).** Permite al microprocesador optimizar el escalado de ganancia de los canales analógicos antes de que los datos sean convertidos en cantidades digitales. El PGA tiene la función de

atenuar o amplificar la señal analógica de entrada; el control de ganancia está determinado por una palabra digital proporcionada por el microprocesador.

- ❖ **Convertidor analógico/digital (ADC).** El filtrado, muestreo, selección y escalado son pasos necesarios, que una vez realizados, permiten que las señales analógicas sean convertidas en números, con el fin de que puedan ser aceptados por el microprocesador, para ello se emplea un circuito LSI.

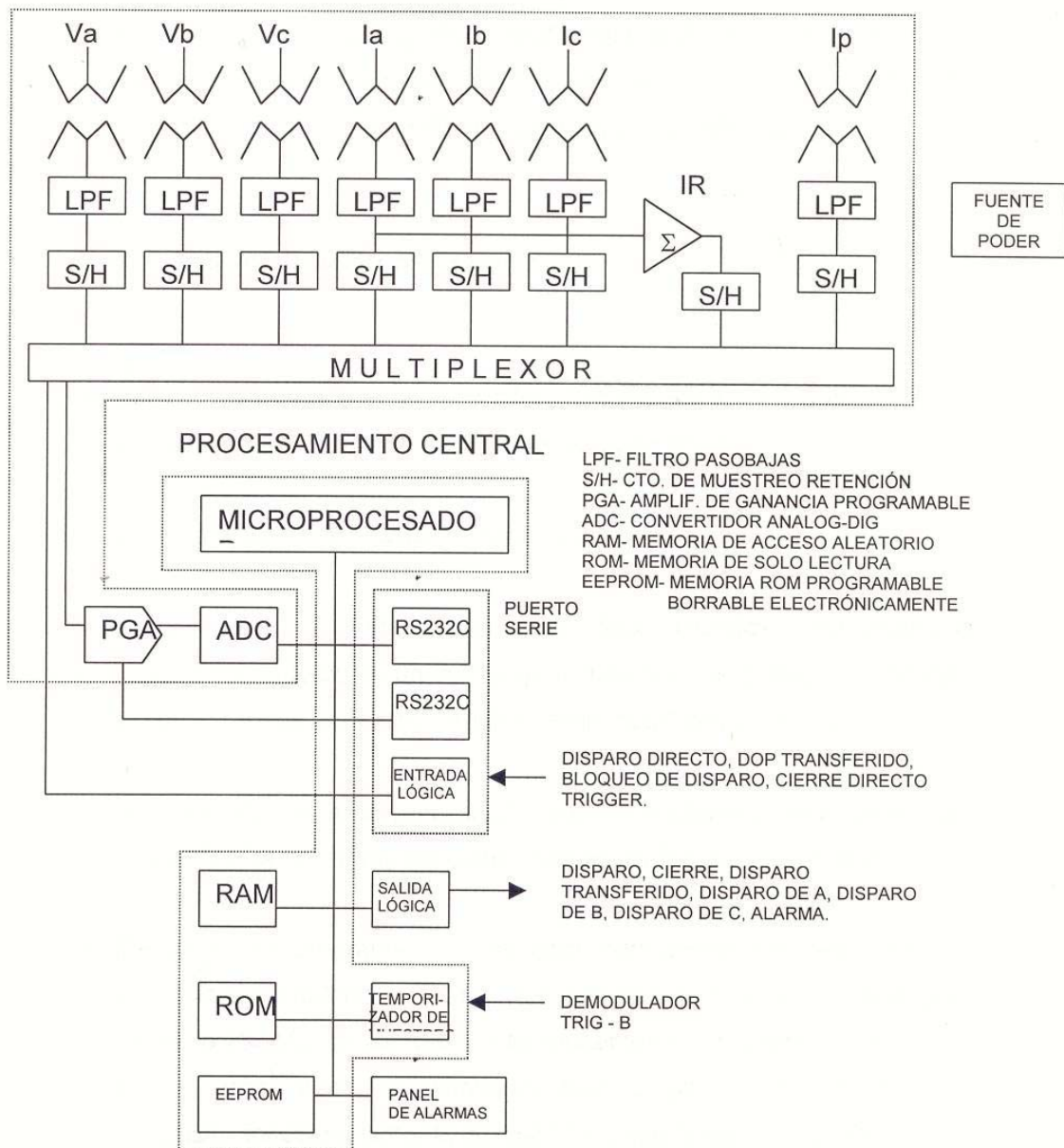


Figura 19. Diagrama de un relevador digital.

CIRCUITO DE PROCESAMIENTO CENTRAL

La tarea del microprocesador es ejecutar las funciones de protección y otras instrucciones definidas en programas almacenados de manera permanente en su memoria. Para que el microprocesador sepa la dirección a seguir, debe obtener la primera instrucción en su memoria almacenándola en un registro y ejecutándola posteriormente en la unidad de lógica aritmética. Cuando las instrucciones se completan el contador del programa da la siguiente dirección y continúa el proceso.

Características del microprocesador

- ❖ **Buses.** Para controlar al relevador microprocesado es suficiente una arquitectura de 8 bits con direccionamiento de 64kB.
- ❖ **Velocidad.** Se utilizan altas velocidades.
- ❖ **Arquitecturas.** Estas son del tipo de circuitos, denominados microcomputadoras en un solo chip, que incorporan al microprocesador, algunos puertos paralelos, seriales, temporizadores y contadores.
- ❖ **Disponibilidad.** El microprocesador tiene un amplio soporte mundial, lo cual facilita conseguir los componentes y refacciones necesarios.
- ❖ **Memorias.** El programa del relevador permanece almacenado en la memoria de sólo lectura (ROM), mientras que en la memoria de acceso aleatorio (RAM), se almacenan temporalmente los datos de las fallas. No se utilizan memorias dinámicas porque los circuitos de refresco complican innecesariamente el diseño y capacidad de las RAM, por lo que se sustituyen por RAM estáticas. En cuanto a las memorias ROM, se utilizan elementos de la familia EEPROM; la información importante se almacena en las memorias programables de solo lectura que se pueden borrar en forma electrónica (EEPROM).

PUERTOS DE COMUNICACIÓN Y GENERADOR DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (Baud rate)

El instrumento tiene una interfaz hombre-máquina para ordenarle tareas tales como:

- ✓ Solicitud de reportes impresos
- ✓ Solicitud de auto prueba para aumentar la confiabilidad del equipo
- ✓ Solicitud del estatus de operación del equipo
- ✓ Control del interruptor manual
- ✓ Solicitud de cambio de parámetros temporales
- ✓ Solicitud de la medición eléctrica

Los tres estándares más utilizados para comunicación con periféricos son:

- ✓ Conexión en paralelo
- ✓ IEEE488
- ✓ Interfaz asíncrona serial

Además se incluyen generadores de velocidades de transmisión ("baud-rate"), flexibles y programables.

PANEL

Los puertos serie nos proporcionan la forma idónea de obtener toda la información, pero se incluye un panel que nos da la información elemental, además de una alarma audible para indicarnos, ya sea un mal funcionamiento del equipo, o una operación del relevador por falla. También se incluye un botón de reestablecimiento ("reset").

El panel puede informar el tipo de falla por medio de leds indicadores, o el panel se puede controlar a través de un puerto paralelo de entrada y salida.

El botón de reestablecimiento está directamente conectado a la terminal de reestablecimiento del microprocesador, de manera que se ubica en la primera localidad de memoria para volver a empezar toda la rutina.

ENTRADAS LÓGICAS

Por el puerto de entrada se puede observar si los interruptores se abrieron o si el interruptor perteneciente a otro extremo se disparó, además de recibir información de otros relevadores.

SALIDAS LÓGICAS

El relevador microprocesado abre y cierra los interruptores, función que es indispensable en todo relevador. Éste tiene por lo menos tiene una salida que abre los interruptores de las tres fases. Adicionalmente, el relevador tiene salidas para función de alarma, de comunicaciones, etc.

Al igual que para las entradas, la manera de producir las señales es mediante un puerto paralelo. Éstas accionan unos interruptores de mediana potencia de tipo Darlington, los cuales a su vez, al entrar en saturación energizan las bobinas de unos relevadores cuyos contactores sirven como salida; se cuenta con un diodo de protección, el cual abre un camino para la descarga de la bobina y protege al transistor, evitando que el valor del voltaje inducido en la bobina sobrepase los 0.6 volts de corriente directa.

FUENTE

Se deben tomar en cuenta las siguientes especificaciones de funcionamiento.

Voltaje que suministra:

- a) En primer lugar, es necesario un voltaje regulado de +5 volts ± 0.25 volts para alimentar la lógica TTL.
- b) Voltaje regulado de +15 y -15 volts, los cuales sirven para alimentar los acondicionadores de señal de los puertos serie, así como también sirven de referencia para el convertidor analógico-digital.
- c) Voltajes de +15 volts para los transistores Darlington y en los relevadores de salida.

Corrientes que suministra:

- a) Para los +5 V regulados se utiliza una corriente máxima de 2 amperes.
- b) En los voltajes regulados de +15 y -15 V se utiliza una corriente no mayor a 0.25 amperes.
- c) En el caso de la fuente no regulada de +15 V, se utiliza una corriente de 10 amperes.

Voltajes de suministro:

Es indispensable el uso de una fuente conmutada, controlada por una modulación de ancho de pulso (PWM), la cual se alimenta de un banco de baterías de 125 o 250 V. Esto último garantiza que al ocurrir una falla, el relevador no tendrá ningún problema debido a la alimentación.

ARQUITECTURA JERÁRQUICA DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DIGITAL

TEORÍA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

Cada módulo de protección envía para el muestreo un mensaje preciso a su unidad de adquisición de datos (DAU) sincronizándose así, el muestreo en las diferentes unidades de adquisición de datos de todo el sistema. Estas unidades hacen un muestreo de las señales analógicas en forma instantánea, enviándolas después a los módulos de protección. La información generada se almacena en una memoria común y posteriormente es procesada por los programas de protección.

Si se localiza una falla en una zona de protección, los programas de protección enviarán señales de control para mandar el comando de apertura de los interruptores apropiados.

- ✓ Mensajes de eventos
- ✓ Datos oscilográficos recolectados durante la falla
- ✓ Actualización periódica de la base de datos

UNIDAD DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Esta unidad recibe y envía datos por los enlaces serie y además controla el flujo de señales analógicas del equipo de potencia. Sus funciones son:

- ✓ Hacer un muestreo de las señales analógicas y convertirlas a forma digital.
- ✓ Envía datos secuencialmente a los módulos de protección.

Cada unidad de adquisición de datos contiene además los siguientes subsistemas:

- ✓ Controlador de comunicaciones
- ✓ Interfase analógica de entrada de alta velocidad
- ✓ Interfase de salida de contacto (estado sólido)
- ✓ Interfase eléctrica/óptica (optoacopladores) adicional (E/O)

ENLACES SERIE DE DATOS

Estos enlaces proporcionan el medio de comunicación entre las unidades de adquisición de datos y los módulos de protección.

MÓDULOS DE PROTECCIÓN

Por lo general, los módulos de protección constan de microprocesadores de 16 bits de memoria y controladores de comunicaciones. Un elemento de este tipo realiza las siguientes funciones:

- ✓ Inicia las secuencias de muestreo de las DAU's
- ✓ Recibe valores muestreados enviados por la DAU
- ✓ Ejecuta los cálculos de localización de fallas
- ✓ Monitorea y controla el estado de los interruptores
- ✓ Genera secuencias de eventos y mensajes de alarma
- ✓ Registra valores instantáneos de falla para los oscilógrafos
- ✓ Calcula periódicamente valores RMS y potencias real y reactiva
- ✓ Recibe señales de control de la computadora de estación

ENLACE TRONCAL DE DATOS

Este enlace permite transmitir los datos entre los módulos de protección y la computadora de estación. Consta de cables coaxiales con módems en cada nodo y

puede actuar como medio de comunicación entre los módulos de protección para realiza funciones de respaldo.

COMPUTADORA DE ESTACIÓN

Actualiza la base de datos del sistema central y sirve como interfase a los operadores de estación, los operadores del sistema de control central y a los ingenieros de protección.

Realiza las siguientes funciones:

- ✓ Recibe información de los módulos de protección
- ✓ Coordina acciones de control
- ✓ Almacena y despliega eventos oscilográficos
- ✓ Verifica condiciones de sincronismo
- ✓ Proporciona medios al operador para controlar los dispositivos de la subestación
- ✓ Prepara y envía información al control de supervisión y de adquisición de datos (SCADA) y otras consolas

CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE RELEVADORES DIGITALES

VELOCIDAD. (Tiempo de algoritmo y tiempo total de cálculo)

Esta característica se relaciona con la velocidad de operación de un relevador, basado en una computadora digital. La velocidad de un relevador está ligada estrechamente con la exactitud del mismo relevador. La velocidad del relevador para cada función depende de los diferentes requerimientos de exactitud para cada función. Su tiempo de operación sigue los siguientes eventos:

Evento No. 1. Momento en que ocurre la falla en una línea de transmisión.

Evento No. 2. Aparición de las ondas de falla a la entrada de los dispositivos de muestreo, conversión analógica/digital y filtrado digital si es el caso.

Evento No. 3. Conversión de la última muestra de datos.

Evento No. 4. Ejecución total del programa de protección y obtención de una señal de salida.

SELECTIVIDAD. (Detección, tipo y localización de falla)

La selectividad se refiere a la capacidad de los algoritmos para determinar correctamente el momento en que ocurre una falla, su tipo y localización. Un relevador debe ser capaz de identificar condiciones de falla en la línea, de otras condiciones anormales. Debe tener la capacidad de determinar que tipo de falla ocurrió (monofásica, de dos fases, de dos fases a tierra o trifásica), así como las fases falladas. Una medida con exactitud con que se determina la distancia que hay del relevador a la falla.

CONFIABILIDAD

Encontrar la mejor combinación entre redundancia (incluyendo inmunidad al ruido, dispersión funcional y varios circuitos de chequeo de errores) y simplicidad para reducir costos de programación y de dispositivos físicos.

El parámetro principal es que este instrumento sea lo más confiable y libre de fallas posible, dejando a un lado consideraciones tales como: costo, dimensiones, peso, etc.

El consumo de energía se incrementa en la protección de la velocidad de operación. En cuanto a los relevadores digitales, se ha logrado reducir su consumo de energía empleando dispositivos estáticos LS-TTL y CMOS, así como, materiales disipadores de calor.

El autodiagnóstico se emplea, no únicamente para detectar una falla en los dispositivos, sino también un deterioro en el propio relevador.

OPERACIÓN Y DISEÑO UTILIZANDO RELEVADORES DIGITALES

- ❖ **Elementos de reportes para la comprensión y mejoramiento del sistema.** Los reportes de eventos se pueden recuperar rápidamente en este tipo de relevadores, ya sea por teléfono, mediante un módem o por las computadoras de unidad. En estos reportes se pueden descubrir ciertos problemas como:
 - ✓ Errores de coordinación de esquemas de bloqueo
 - ✓ Errores de polaridad y de relación de transformación de TP's y TC's
 - ✓ Fallas en los transformadores de instrumento
 - ✓ Análisis de falla de alta resistencia
 - ✓ Fracasos repetidos para sincronizar un generador
 - ✓ Error de conexión de chequeo y sincronización del relevador

- ❖ **Comunicaciones.** Los relevadores digitales incluyen sistemas de comunicación de datos que sirven para determinar rápidamente la localización de la falla y los datos del reporte del evento. Para verificar que esté funcionando correctamente, se puede establecer comunicación con el relevador desde una estación remota.

- ❖ **Pruebas de disponibilidad y diseños más confiables.** Los relevadores digitales usan menos componentes que los electromecánicos o los de estado sólido, la función de auto verificación puede detectar el problema y enviar una señal de alarma a los operadores.

Los esquemas lógicos de la línea cambiarán de acuerdo con el crecimiento de los sistemas. La lógica programable de los relevadores digitales reemplaza mucho cableado lógico tradicional, usando cambios de ajustes lógicos (programación) en lugar de cambios de conexiones.

NUEVOS ESQUEMAS

La ventaja principal de los relevadores digitales, es el precio inicial menor, lo que permite tener más recursos para mejorar los esquemas de protección. Esta ventaja en cuanto al precio permite reducir el presupuesto de protección, desarrollando esquemas más confiables y seguros.

Otra ventaja en cuanto al precio, es también un costo bajo de instalación con mayor eficiencia, lo que proporciona una fuerte justificación para el reemplazo de relevadores electromecánicos por relevadores microprocesados.

TEMA IV

RELEVADORES MULTIFUNCIÓN

Los relevadores multifunción son del tipo de relevadores que trabajan con ayuda de microprocesadores, compuertas lógicas y circuitos digitales, los cuales sirven para obtener las funciones de varios relevadores a la vez en un solo panel.

Las funciones de cada relevador multifunción dependerá del fabricante y del equipo a proteger. Existen para generadores, transformadores, alimentadores, líneas. En cada relevador multifunción puede haber más de 10 funciones, o en otras palabras, más de 10 relevadores en uno. Estos pueden ser de sobrecorriente, sobrevoltaje, de secuencia negativa, de sobrecorriente a tierra, etc. En este capítulo se describirán aquellos que se necesitan para cada equipo.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del relevador para protección multifunción de transformadores ABB Transformer Protection Unit 2000R:

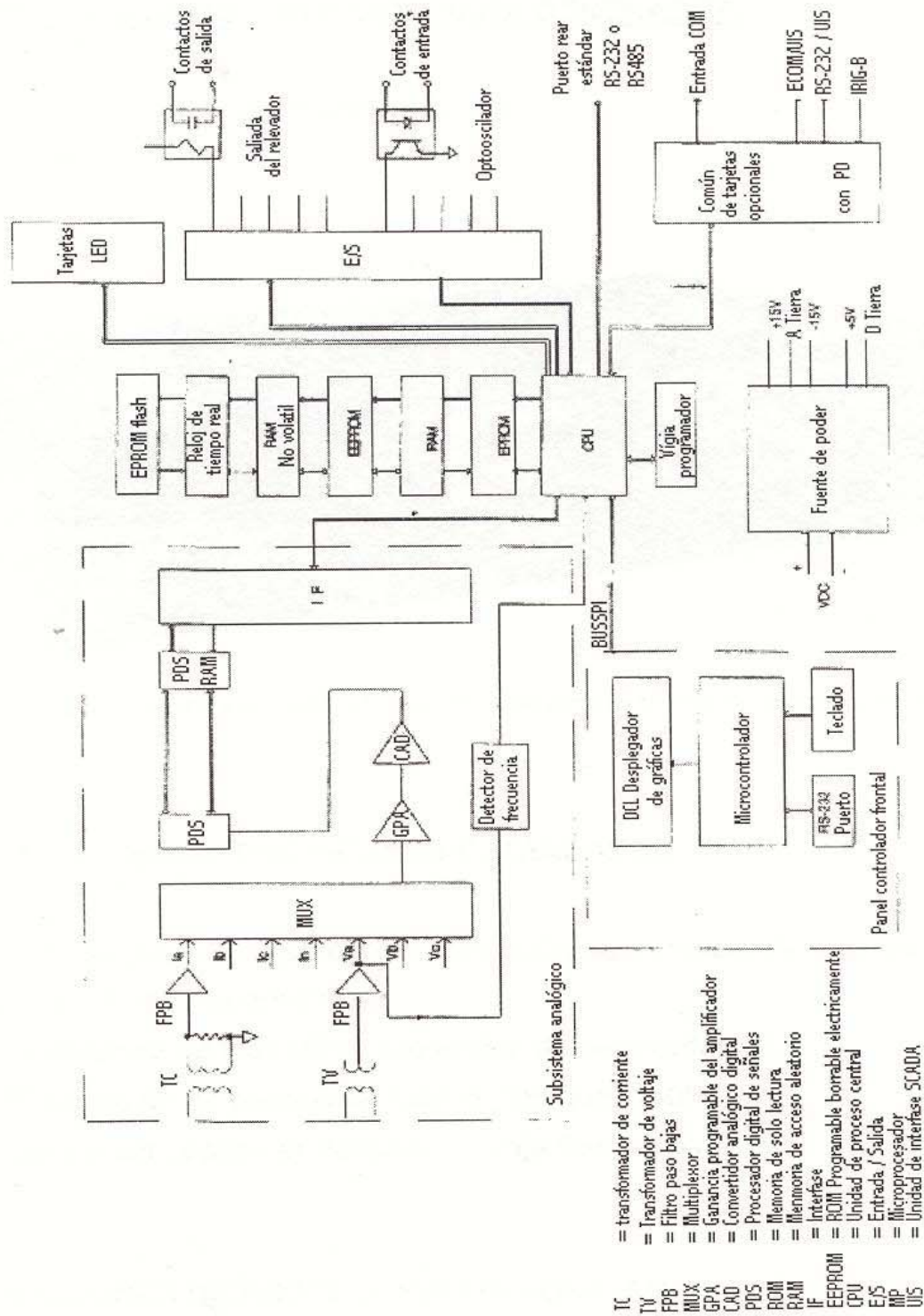


Figura 20. Diagrama de bloques del TPU-2000R.

IV.1.- RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA GENERADOR

Fabricante: Beckwith Electric Co., Inc.

Modelo: M-3420



Figura 21. Relevador multifunción para generadores de cualquier tamaño.

FUNCIONES DE PROTECCIÓN ESTÁNDAR

- ❖ Punto sensible de ajuste dual, detección de potencia de inversa apta para secuencia de disparo (32)
- ❖ Sobrevoltaje de fase (59) y protección de bajo voltaje (27)
- ❖ TP detección de pérdida de fusible y bloqueo (60FL)
- ❖ Protección de baja frecuencia (81)

FUNCIONES DE PROTECCIÓN OPCIONALES

- ❖ Protección contra sobre excitación (V/Hz) (24)
- ❖ Zona dual, protección contra pérdida de campo offset-mho (40)
- ❖ Protección sensible a sobrecorriente de secuencia negativa y alarma (46)
- ❖ Protección contra la energización accidental del generador (50/27)

- ❖ Protección contra falla del interruptor del generador (50BF)
- ❖ Protección contra sobrecorriente de tiempo inverso del neutro (51N) y sobrecorriente instantánea (50N)
- ❖ Protección contra sobrecorriente de tiempo inverso trifásica (51V) y sobrecorriente instantánea (50)
- ❖ Protección contra falla a tierra del generador (59N)
- ❖ Protección contra diferencial de fase al generador (87) y diferencial de tierra (87GD)

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- ❖ Ocho salidas y seis entradas programables
- ❖ Oscilógrafo registrador
- ❖ 32 tarjetas de almacenamiento
- ❖ Medición de todos los parámetros limitados
- ❖ Dos RS-232C y un RS-485 puertos de comunicación
- ❖ Diseño estándar de gabinete montable de 19"
- ❖ Tarjeta de circuito impreso removible y suministro de poder
- ❖ Disponible en modelos de 50 y 60 Hz
- ❖ Disponible en entradas TC de 1-5 A
- ❖ Entradas adicionales para diseños de conexión externa
- ❖ Software M3800 IPScm Communications
- ❖ Tiempo de sincronización IRIG-B
- ❖ Incluye Modbus y protocolos BECO2200

CARACTERÍSTICAS OPCIONALES

- ❖ Fuente de poder redundante
- ❖ Módulo con tarjeta M-3920
- ❖ Módulo M-3931 MMI
- ❖ Software de análisis del oscilógrafo M-3801 IPSplot

FUNCIONES DE PROTECCIÓN ESTÁNDAR

Número del relevador	Función	Rangos de Ajuste	Incrementos	Precisión
27	Bajo voltaje RMS			
3 ϕ	Captación #1, #2	5 a 200 V	1 V	± 0.5 V o $\pm 0.5\%$
	Tiempo de retraso #1, #2	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	+20 ciclos o $\pm 1\%$
	Cuando el RMS (forma de onda total) es seleccionado, la medida de tiempo de precisión es +20 o de $\pm 1\%$; cuando DFT (RMS fundamental) es seleccionado, la precisión es de -1 a +3 ciclos o de $\pm 1\%$.			
32	Potencia direccional			
3 ϕ	Captación #1, #2	-3.0 a +3.0 p.u.	0.001 p.u.	± 0.002 p.u. o $\pm 2\%$
	Tiempo de retraso #1, #2	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	+16 ciclos o $\pm 1\%$
	La base del sistema en por unidad es escogida sobre el TP nominal del voltaje secundario y el TC de la corriente secundaria.			
59	Sobre voltaje RMS			
3 ϕ	Captación #1, #2	5 a 200 V	1 V	± 0.5 V o $\pm 0.5\%$
	Tiempo de retraso #1, #2	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	+20 ciclos o $\pm 1\%$
	La precisión se aplica a valores bajo los 180 V escogidos. Cuando el RMS (forma de onda total) es seleccionado, la medida de tiempo de precisión es +20 o de $\pm 1\%$; cuando DFT (RMS fundamental) es seleccionado, la precisión es de -1 a +3 ciclos o de $\pm 1\%$.			
81	Frecuencia			
	Captación #1, #2, #3, #4	50 a 67 Hz 40 a 57 Hz	0.01 Hz	± 0.02 Hz
	Tiempo de retraso #1, #2, #3, #4	2 a 65500 ciclos	1 ciclo	-2 a +3 ciclos o $\pm 1\%$
	La precisión a escoger se aplica a modelos de 60 Hz un rango de 57 a 63 Hz, y a modelos de 50 Hz un rango de 47 a 53 Hz. Fuera de estos rangos la precisión es de ± 0.1 Hz.			
60FL	TP Detección de pérdida de fusible			
	La condición de TP y pérdida de fusible es detectada por el uso de las componentes de secuencia positiva y negativa de los voltajes y las corrientes. La pérdida de fusible en el TP puede ser iniciada internamente desde un generador lógico o desde los contactos de entrada.			
	Tiempo de retraso	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a +3 ciclos o $\pm 1\%$

EXT Funciones externas

Dos funciones son proporcionadas de manera externa por diseños conectados a través del M-3420 para proveer una tarjeta de información y lógica adicional. Uno o más de los contactos de entrada (entre INPUT1 a INPUT6 pueden ser programas para activar los contactos de salida designados después del tiempo de retraso seleccionado).

Tiempo de retraso #1, #2 1 a 8160 ciclos 1 ciclo -1 a +3 ciclos o $\pm 1\%$

FUNCIONES DE PROTECCIÓN OPCIONALES

Número del relevador	Función	Rangos de Ajuste	Incrementos	Precisión
24	Volts / Hz			
3 ϕ	Tiempo positivo			
	Captación #1, #2	100 a 200%	1 %	$\pm 1 \%$
	Tiempo de retraso #1, #2	30 a 8160 ciclos	1 ciclo	+25 ciclos
	Tiempo negativo			
	Curvas características	T. neg. #1- #4	-----	-----
	Captación	100 a 200%	1 %	$\pm 1 \%$
	Tiempo indicador: curva #1	1 - 100	1	-----
	curvas #2 - #4	0 - 9	0.1	-----
	Velocidad de reiniciación	1 a 999 seg.	1 seg.	± 3 ciclos 0 1%

El porcentaje de captación es basado en el voltaje nominal del secundario del TP y el sistema de frecuencia nominal. La elección del estado de precisión es aplicable únicamente para 10-80 Hz, 0-180V y 100-150% V/Hz.

40 Pérdida de campo (características zona dual y offset-mho)

3 ϕ	Captación #1, #2	-3.0 a +3.0 p.u.	0.001 p.u.	± 0.002 p.u. o $\pm 2\%$
	Tiempo de retraso #1, #2	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	+16 ciclos o $\pm 1\%$

La base del sistema en por unidad es escogida sobre el TP nominal del voltaje secundario y el TC de la corriente secundaria.

59 Sobre voltaje RMS

3 ϕ	Diámetro del círculo #1, #2	0.1 a 100 Ω (0.5 a 500 Ω)	1 Ω	$\pm 0.1 \Omega$ o 5% ($\pm 0.5 \Omega$ o 5%)
----------	-----------------------------	---	------------	---

Offset #1, #2	-50 a 50 Ω (-250 a 250 Ω)	1 Ω	$\pm 0.1 \Omega$ o 5% ($\pm 0.5 \Omega$ o 5%)
Tiempo de retraso #1, #2	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a +3 ciclos o $\pm 1\%$
Control de voltaje (secuencia positiva)	5 a 200 V	1 ciclo	± 0.5 V o $\pm 0.5\%$
Elemento direccional	Mezclado a -13°	-----	-----

El control del voltaje para cada zona puede ser armado individualmente.

46 Sobrecorriente de secuencia negativa

Tiempo definitivo

Captación	3 a 100%	1 %	$\pm 0.5\%$ de 5 A ($\pm 0.5\%$ de 1 A)
Tiempo de retraso	1 a 8160	1 ciclo	-1 a +3 ciclos
Tiempo inverso			
Captación	3 a 100%	1 %	$\pm 0.5\%$ de 5 A ($\pm 0.5\%$ de 1 A)
Ajuste del tiempo de marcado ($K=I_2^2t$)	1 a 95	1	$\pm 3\%$
Tiempo máximo definido para disparo	600 a 65500 ciclos	1 ciclo	-1 a +3 ciclos o $\pm 1\%$
Tiempo de restauración	4 minutos	-----	-----

La captación está basada en la corriente nominal del secundario del TC.

50 Sobrecorriente instantánea

3 ϕ	Captación	1.0 a 240 A (0.2 a 48 A)	0.1 A	± 0.1 A o $\pm 3\%$ (± 0.02 o $\pm 3\%$)
	Tiempo de respuesta del disparo	2 ciclos	-----	± 2 ciclos

FUNCIONES DE PROTECCIÓN OPCIONALES

Número del relevador	Función	Rangos de Ajuste	Incrementos	Precisión
50N	Sobrecorriente instantánea del neutro			
3 ϕ	Captación	1 a 240 A (0.2 a 48 A)	1 A	± 0.1 A o $\pm 3\%$ (± 0.02 o $\pm 3\%$)
	Tiempo de respuesta de disparo	2 ciclos	-----	± 2 ciclos

51N	Sobrecorriente de tiempo inverso del neutro			
	Curva característica	Tiempo Definido / inverso Muy inverso / extremadamente inverso		-----
	Ajuste del tap	0.5 a 12 A (0.1 a 2.4 A)	0.01 A	-----
	Ajuste del tiempo de marcado	0.5 a 11	0.1	±3 ciclos o ±3%
51 V	Sobrecorriente de tiempo negativo, con control de voltaje o limitación de voltaje			
3φ	Curva característica	Tiempo Definido / inverso Muy inverso / extremadamente inverso		-----
	Ajuste del tap	0.5 a 12 A (0.1 a 2.4 A)	0.01 A	-----
	Ajuste del tiempo de marcado	0.5 a 11	0.1	±3 ciclos o ±3%
	Control de voltaje (VC) o limitación de voltaje (VR)	5 a 200 V limitación lineal	1 V	±0.5 V o ±0.5 % -----
50/27	Energización inadvertida			
	50 Sobrecorriente			
	Captación	0.5 a 15 A (0.1 a 3 A)	0.01 A	±0.1 A o ±2% (±0.02 A o ±2%)
	27 Bajo voltaje			
	Captación	40 a 130 V	1 V	±0.5 V
	Tiempo de retraso	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o ±1%
	Tiempo de retraso de la salida	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o ±1%
50BF	Falla del interruptor			
3φ	Captación	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o ±1%
	50BF-Ph Corriente de fase	0.1 a 10 A (0.02 a 2 A)	0.01 A	±0.1 A o ±2% (±0.02 A o ±2%)
	50BF-N Corriente del neutro	0.1 a 10 A (0.02 a 2 A)	0.01 A	±0.1 A o ±2% (±0.02 A o ±2%)
	Tiempo de retraso	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o ±1%
	El 50 BF puede ser inicializado desde los contactos de salida designados o entradas de estado.			
59N	Sobrecorriente instantánea del neutro			
	Captación #1, #2	5 a 200 V	0.1 V	±0.5 V o ±0.5 %
	Tiempo de retraso #1, #2	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o ±1%

87 Corriente diferencial de fase

3 ϕ	Mínima captación	0.2 A a 3 A	0.01 A	± 0.1 A o $\pm 5\%$ (± 0.02 A o $\pm 5\%$)
	Porcentaje de pendiente	1 a 100%	1%	$\pm 2\%$
	Tiempo de retraso	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o $\pm 1\%$

Cuando el tiempo de retraso de un ciclo es seleccionado, el tiempo de respuesta es menor que 1 ½ ciclos.

87GD Diferencial de tierra (secuencia cero)

	Captación #1, #2	0.2 a 10 A (0.04 a 0.6 A)	0.01 A	± 0.1 A o $\pm 5\%$ (± 0.02 A o $\pm 5\%$)
	Tiempo de retraso	1 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o $\pm 1\%$
	Corrección de proporción de TC (R_c)	0.1 a 7.99	0.01	

La función del 87GD está provista de una baja impedancia aterrizada a las aplicaciones del generador. Esta función opera como un diferencial direccional. Si el valor de $3I_0$ o I_n es extremadamente pequeño, el elemento direccional es desactivado.

Ajustes nominales

Voltaje nominal	60 a 140 V	1 V	-----
Corriente nominal	0.5 a 6 A	0.01 A	-----
Configuración del TP	Línea – línea Línea – tierra Línea – tierra a línea – línea *	-----	
Retraso de cierre-entrada	2 a 8160 ciclos	1 ciclo	-1 a + 3 ciclos o $\pm 1\%$

* Cuando la línea – tierra a línea – línea es seleccionada, el relevador internamente calcula el voltaje de línea a línea para los voltajes de línea a tierra para todas las funciones sensibles al voltaje. Esta selección de línea – línea a línea – tierra deberá ser utilizada únicamente para un TP con voltaje nominal del secundario de 69 V (no de 120V).

OPCIONES DE CONFIGURACIÓN

El M-3420 puede ser adquirido como un sistema de protección completamente configurado con todas las funciones de protección, o como un sistema base con

protecciones estándar y listo para que el usuario escoja las funciones de protección adicionales del menú de protecciones opcionales según sus necesidades.

MEDICIÓN

El M-3420 proporciona los voltajes de medición (de fase, neutro y cantidades de secuencia), corrientes (de fase, neutro y cantidades de secuencia), potencia real, potencia reactiva, factor de potencia y medición de impedancia.

MEDIDAS EXACTAS

Voltaje: $\pm 0.5 \text{ V}$ o $\pm 0.5\%$

Corriente: 5 A capacidad nominal, $\pm 0.1 \text{ A}$ o $\pm 3\%$

1 A capacidad nominal, $\pm 0.02 \text{ A}$ o $\pm 3\%$

Potencia (real y reactiva): $\pm 0.01 \text{ p.u.}$ o $\pm 2\%$

Frecuencia: $\pm 0.02 \text{ Hz}$ (de 57 a 63 Hz de modelos de 60 Hz, de 47 a 53 Hz para modelos de 50Hz).

OSCILÓGRAFO REGISTRADOR

El oscilógrafo registrador proporciona datos registrados, comprensibles para todas las formas de onda monitoreadas, guardando más de 170 ciclos de datos. La longitud total del registro puede ser configurada por el usuario para 1, 2, 3 o 4 particiones. La velocidad de muestra es de 16 tiempos de la frecuencia nominal del sistema de potencia (50 o 60Hz). Cuando se arma, el registrador está cargado con ambas vías de designación de estados de entrada y salidas de levantamiento, o por medio de la comunicación serial. Cuando está armado, pero no está todavía cargado, el registrador continúa almacenando datos en la memoria para que el usuario defina después de cargarlo el período de retraso.

TARJETAS DE ALMACENAMIENTO

Se puede almacenar un total de 32 tarjetas. La información incluirá la(s) función(es) de operación, funciones de recepción, estados de los contactos de entrada/salida, estado del temporizador y corrientes de fase y de neutro como el tiempo de disparo.

CÁLCULOS

Valores de la corriente y el voltaje RMS. Para extraer el fasor de frecuencia fundamental para los cálculos del M-3420, se utiliza el algoritmo de la transformada discreta de Fourier sobre una muestra de señales de voltaje y corriente (16 tiempos por ciclo). Los voltajes de fase RMS para las funciones 59 y 27 (cuando el total RMS es seleccionado), y la función 24 obtienen el tiempo aproximado de dominio para saber exactamente el ancho de banda sobre el cual se encuentra la frecuencia. Cuando la opción RMS es seleccionada, el cálculo de la magnitud es exacto dentro de un rango de frecuencia con un ancho de banda de 10 a 80 Hz. Cuando la opción DFT es seleccionada, el cálculo de la magnitud es exacto cerca de la frecuencia nominal (50 o 60 Hz).

OPCIONES DE POTENCIA DE ENTRADA

- ❖ Nominal 110/120/230/240 V ca, 50/60 Hz, o nominal 110/125/220/250V cd.
Opera correctamente para 85 V ca a 265 V ca y para 80 V cd a 288 V cd.
Soporta 300 V ca o 300 V cd por 1 segundo. Tiene un burden de 20 VA para 120 V ca / 125 V cd.
- ❖ Nominal 24/48 V cd Opera apropiadamente para 18 V cd a 56 V cd.
Soporta 65 V cd por 1 segundo. Tiene un burden de 25 VA para 24 V cd y 30 VA para 48 V cd.
- ❖ Un suministro de potencia extra es muy útil.

ENTRADAS DE SENSORES

Cuatro entradas de voltaje. La velocidad del voltaje nominal de 60 V ca a 140 V ca, 60Hz/50 Hz (opcional). Soportará 240 V de voltaje continuo y 360 V por 10 segundos. La fuente de voltaje puede ser conectada de línea a tierra o de línea a línea. La secuencia de fases se puede seleccionar ABC/ACB. El burden del transformador de voltaje es menor que 0.2 VA para 120 V.

Siete entradas de corriente. La velocidad de la corriente nominal (I_R) de 5 A o 1 A (opcional). Soportará $2I_R$ de corriente continua y $100I_R$ para 1 segundo. El burden del transformador de corriente es menor de 0.5 VA a 5 A (5 A es opcional), o 0.3 VA para 1 A (1 A es opcional).

ESTADOS DE LOS CONTACTOS DE ENTRADA

El estado de las entradas, desde la entrada 1 hasta la entrada 6, pueden ser programadas para cerrar cualquiera de las funciones del M-3420, para activar el oscilógrafo registrador, o para operar una o más salidas. El estado de las entradas debe ser de contactos secos y son conectados internamente a una fuente de poder de 24 V cd. Para proporcionar el estado del interruptor debe haber un led indicador en el frente del panel, el estado del contacto de la entrada 1 debe ser conectado a un interruptor 52b del contacto de estado.

CONTACTOS DE SALIDA

Los ocho contactos de salida programables (seis para 'a' y dos para 'c'), el contacto de salida de alarma para la fuente de poder (para 'b'), y el contacto de salida de alarma de autoexamen (para 'c') todos son de acuerdo con ANSI/IEEE C37.90-1989 para disminuirlo se puede convertir de 30 A a 0.2 segundos mediante un acarreo de 8 A, una ruptura de 6 A a 120 V cd, interrupción a 0.1 A a 125 V cd y un rompimiento inductivo a 0.1 A.

Cualquiera de las funciones del M-3420 puede ser programada de manera individual para activar uno o más de los ocho contactos de salida programables.

Diagrama de conexión típico

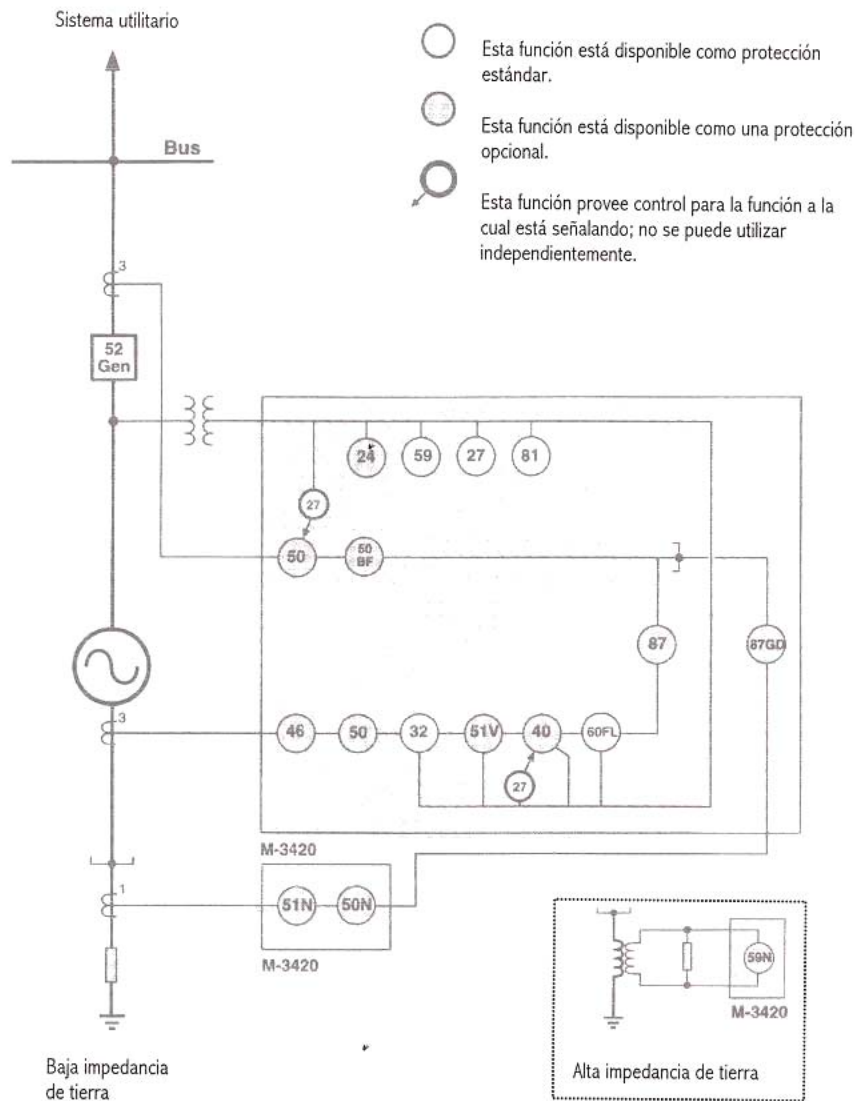


Figura 22. Diagrama de conexión típico.

Diagrama de conexión de tres líneas

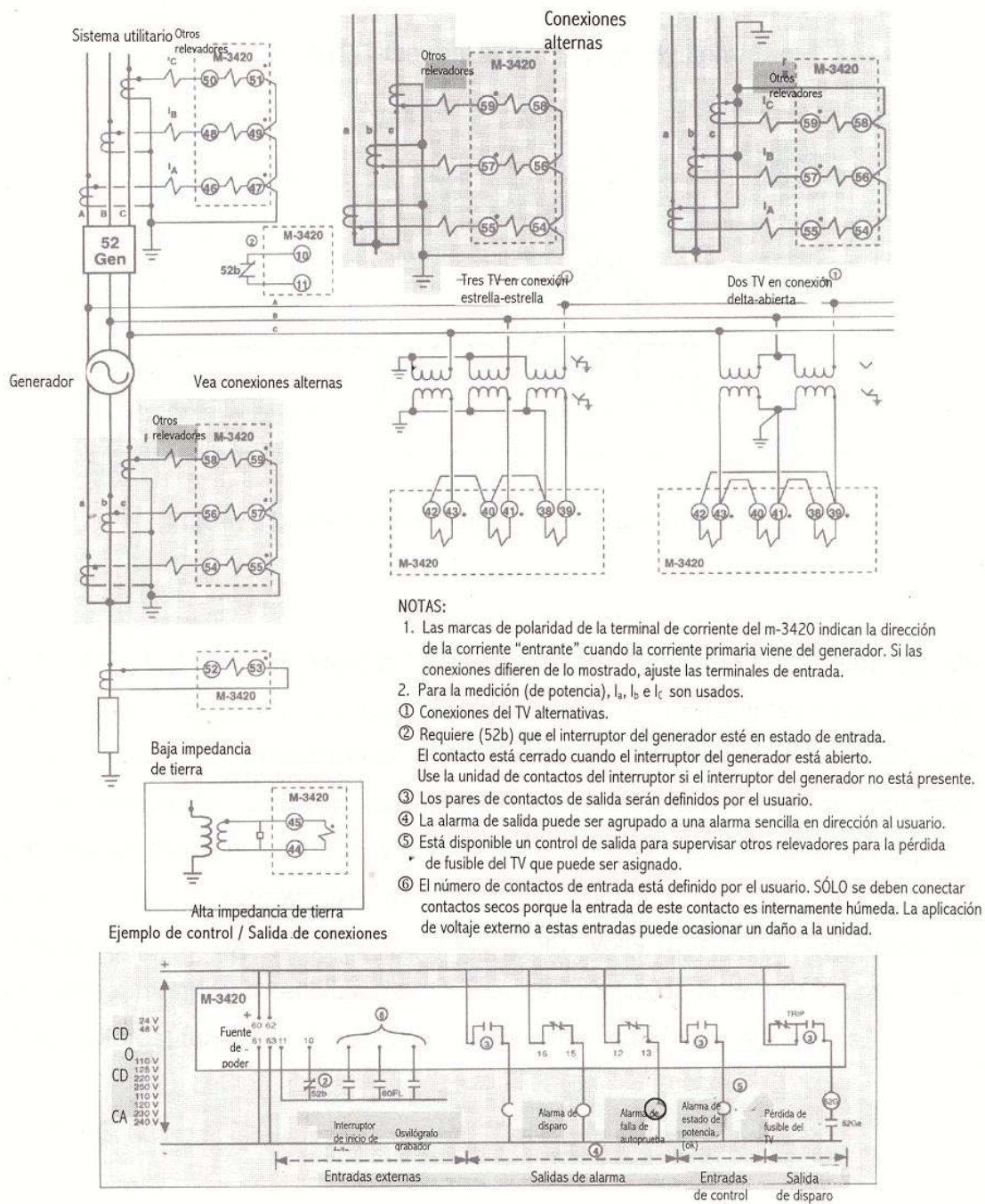


Figura 23.

IV.2.- RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA GENERADOR

Fabricante: Basler Electric.

Modelo: Be 1-Gps 100. Generator Protection System.

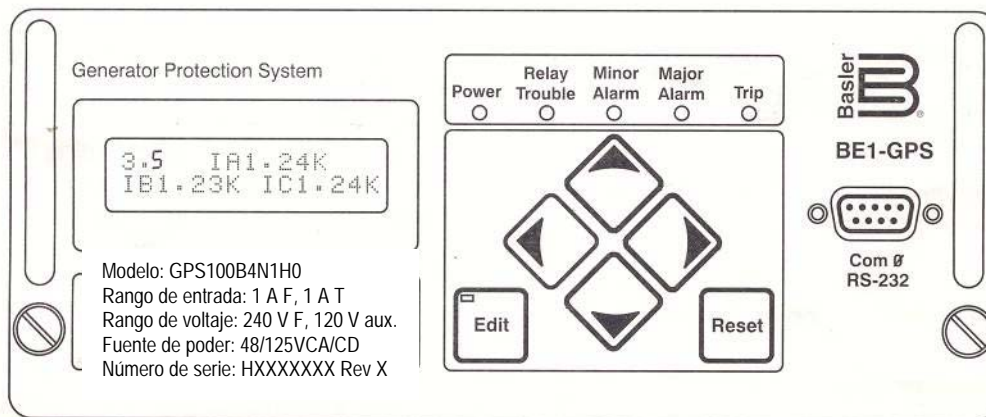


Figura 24. IMH avanzado (interfase hombre máquina).

El BE1-GPS100 es un relevador multifunción numérico programable, de medición y control. Dentro de sus funciones se incluyen: control trifásico de voltaje, voltaje restringido, o sobrecorriente estándar; sobrecorriente de fase residual y de tierra independiente; sobrecorriente de secuencia negativa; interruptor de falla; sobre y baja frecuencia; sobre y bajo voltaje de fase; sobre y bajo voltaje de secuencia cero, y sobrevoltaje de secuencia negativa; potencia adelantada y potencia de retorno; pérdida de excitación; volts por hertz; chequeo de sincronismo; monitoreo sensible de la tercera armónica de falla a tierra; monitoreo de interruptores; funciones de control y mediciones integrados al sistema.

VENTAJAS

- ❖ El *best-logic*, proporciona al usuario una alta flexibilidad de configuración, del sistema de protección y control. La funcionalidad sustancial en un gabinete

pequeño es muy útil en los casos en que el espacio es muy limitado, aunque sea necesaria una alta funcionalidad.

- ❖ La pantalla de LCD programable permite al relevador reemplazar indicaciones locales y funciones de control, así como el panel de medición, el anunciador de alarma y el control de interruptores.
- ❖ Tres puertos independientes de comunicación con soporte de protocolo que permite la integración y distribución de los sistemas de control.
- ❖ Proporciona una entrada de corriente de tierra por separado para esas aplicaciones donde es requerido.
- ❖ Incluye un ajuste de frecuencia y un voltaje que restringe los regresos de sobrecorriente y las aplicaciones de cogeneración.

CARACTERÍSTICAS

PROTECCIÓN

- ❖ Elementos de sobrecorriente instantánea de fase y neutral con un fijador de tiempo de retardo: 50TP; 50TN.
- ❖ Elementos de sobrecorriente de fase, neutro y tiempo de secuencia negativa: 46, 51P, 51N y 151N.
- ❖ Elementos de sobrecorriente de fase (51P) que incluyen capacidad de limitación de voltaje a control de voltaje.
- ❖ Cálculo interno de la fase residual, $3I_0$, disponible en todos los relevadores. Tiene una entrada de tierra disponible que es opcional. Los elementos de sobrecorriente neutral (50TN, 51TN y 151N) se pueden ver en el monitor ya que calcula la corriente residual.
- ❖ Elemento de sobrecorriente de secuencia negativa (46), que incluye algoritmo para tiempo basado en los factores K del generador, o puede ser usado con las curvas TOC estándar.
- ❖ Todas las curvas de tiempo IEC y US se pueden sumar usando una curva programable.

- ❖ El bajo voltaje de fase y los elementos de sobrevoltaje: 27P, 127P, 59P, 159P. El uso de los elementos 1 a 3, 2 a 3, o 3 a 3 lógico, o monitorear cualquiera de los voltajes línea a línea o línea a tierra.
- ❖ Bajo voltaje auxiliar y elementos de sobrevoltaje 27X, 127X, 59X, 159X. Estos elementos pueden monitorear tanto a la fundamental como a la tercera armónica en la cuarta entrada auxiliar del TP, o la fase residual fundamental, $3V_0$, de las entradas de fase.
- ❖ Elemento de sobrevoltaje de secuencia negativa: 47.
- ❖ Cuatro elementos de sobre/baja frecuencia: 81, 181, 281, 381.
- ❖ Potencia de avance y de reversa: 32, 132.
- ❖ Pérdida de excitación: 40Q, 140Q.
- ❖ Función de interruptor de falla: BF.
- ❖ Cuatro contadores de tiempo lógicos de propósito general: 62, 162, 262, 362.
- ❖ Protección de energización inadvertida, usando 50 elementos supervisados por 81 y/o 27 elementos.
- ❖ Protección al 100% del estator de falla a tierra, utilizando los elementos de voltaje auxiliares para sobrevoltaje a tierra y bajo voltaje a tierra de la tercera armónica.
- ❖ Chequeo de sincronismo y/o pérdida del bus de cierre de supervisión usando los elementos auxiliares de voltaje para 25 y 27X.
- ❖ Lógica programable usando el *best-logic*.
- ❖ Dos grupos de ajuste de protección controlables por medio del relevador lógico, 43 interruptores auxiliares y entradas de cableado. La selección del grupo de fijación puede controlar el disparo lógico.
- ❖ Detección de pérdida de fusible (60FL) protege contra disparos falsos debidos a la pérdida del sensor de voltaje.

CONTROL

- ❖ Control de interruptor virtual –controlado por HMI y puertos com.: 101
- ❖ Para un selector virtual de interruptores – controlable por HMI y puertos comunes: 43, 143, 243, 343.
- ❖ Control del puerto de comunicaciones por los interruptores 101 y #43 que permiten un control de SCADA del relevador e interruptor.

INSTRUMENTACIÓN

- ❖ Tiempo real de las corrientes, voltaje, frecuencia, y neutro derivado, corriente y voltaje de secuencia negativa de las fases A, B y C.
- ❖ Tiempo real de los watts, VAR's y factor de potencia de las tres fases.

REPORTES

- ❖ Demanda de corriente por fase, tierra, corrientes de secuencia negativa, watts y VAR's de avance y retroceso – las magnitudes y tiempos impresos están grabados para los picos de hoy, ayer y picos desde el reset.
- ❖ kW y kVAR, de avance y retroceso.
- ❖ Contador de operación del interruptor e interrupción del contacto de carga. Interruptor operado por tiempo disponible.

REGISTRO DE FALLAS

- ❖ Secuencia de 225 eventos y reporte de eventos con alarma de reportes previos.
- ❖ Reporte de falla, 1 o 2 registros oscilográficos por reporte de falla.
- ❖ Resumen de registro de fallas, resumen del registro de las dos fallas más recientes salvadas en la memoria no volátil.
- ❖ Número total de fallas y registro oscilográfico ajustable desde 6 a 16.
- ❖ Memoria oscilográfica de 240 ciclos en total con 12 muestras/ciclo.
- ❖ Formato COMTRADE.

PUERTOS DE COMUNICACIONES

- ❖ Tres puertos de comunicación independientes de propósito general:
 - ✓ Comunicación frontal RS-232 ASCII
 - ✓ Comunicación posterior RS-232ASCII
 - ✓ RS-485 ASCII, Modbus u otro protocolo común

- ❖ Tiempo de sincronía IRIG-B (demodulado)

FUNCIONES DE ALARMA Y AUTOPRUEBA

- ❖ Leds de falla del relevador, alarma mayor y alarma menor, y contacto de salida para alarma de falla reestablecida.
- ❖ Monitor de diagnóstico interno extensivo, para todas las funciones internas del relevador.
- ❖ Más de 20 puntos de alarma adicionales- programables para prioridades mayor y menor incluyendo:
 - ✓ Estado lógico de alarma definido por el usuario que puede ser asociado con el estado lógico del relevador especificado por el usuario o estado de elemento protector del relevador.
 - ✓ Corriente de fase y alarma de demanda de watt y VAR de avance y retroceso.
 - ✓ Alarmas de demanda de desbalance de secuencia negativa y neutro.
 - ✓ Tres puntos de alarma programable del interruptor para principio de interrupción de carga o contador de operaciones.
 - ✓ Monitor de continuidad y voltaje de viaje del circuito.

SALIDAS Y ENTRADAS PROGRAMABLES

- ❖ Cuatro entradas programables.
- ❖ Cinco salidas programables y una salida programable para alarma.

APLICACIONES

El sistema de protección de generador BE1-GPS100 provisto de protecciones de tres fases, tierra y sobrecorriente de secuencia negativa, voltaje, frecuencia, potencia

de inversa, pérdida de excitación, volts por hertz y chequeo de sincronía, es lo deseado para las aplicaciones de protección para cualquier generador. Estas son las únicas capacidades que lo hacen adaptable para aplicaciones con los siguientes requerimientos:

- ❖ Aplicaciones que requieren la flexibilidad provista por el ancho rango de posiciones, grupos de posiciones múltiples, múltiples curvas de coordinación y una lógica programable extremadamente versátil en una unidad.
- ❖ Aplicaciones que requieren de espacio y economía que proporciona una unidad multifunción. Esta sola unidad puede proporcionar toda la protección, control, medición y funciones de indicación, tanto locales como remotas requeridas en muchas unidades típicas.
- ❖ Aplicaciones en donde el tamaño pequeño en el panel y un espacio limitado en el mismo, facilitan la modernización de la protección, la medición y los sistemas de control existentes en subestaciones.
- ❖ Aplicaciones que deseen tener una protección redundante, provista de un relevador diferencial y un paquete independiente de relevadores de protección.
- ❖ Aplicaciones que requieren de comunicaciones y protocolos de soporte.
- ❖ Aplicaciones en donde se requiere la puesta en marcha de la construcción.
- ❖ Aplicaciones que requieren de alta precisión a través del amplio rango de frecuencia.
- ❖ Aplicaciones en donde la capacidad de diseños electrónicos inteligentes (IEDs), se usan para disminuir relevadores y costos de mantenimiento de equipo.

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

El BE1-GPS100 es un relevador numérico multifunción, que proporciona una mezcla comprensiva de funciones de protección, para detectar las fallas de un generador y condiciones de operación anormales todo el tiempo, con funciones de control y medición en un sistema integral. Este sistema es conveniente para cualquier aplicación en generadores además de muchas otras utilidades, como las de aplicaciones de cogeneración, el procesamiento de doce ejemplos por ciclo de señal digital con compensación de frecuencia, diseño de la componente fundamental con una

alta exactitud de ondas deformadas y operaciones con frecuencia distinta de la nominal.

La unidad tiene un grupo de tres fases de corriente y voltaje, un sensor de entradas que proporciona todas las funciones de protección comunes excepto la diferencial del generador, 87G (el cual se provee como un relevador por separado, para prevenir el peligro de tener "todos los huevos de la canasta"). El circuito sensor de voltaje se configura automáticamente por 1 fase, 3 cables 3 fases, o 3 fases 4 cables circuitos de TP. Una cuarta entrada auxiliar de voltaje es incluida para cualquier sensor de tierra del generador o sensor de bus de voltaje.

El BE1-GPS100 puede ser ordenado con una entrada auxiliar de corriente a tierra independiente, usada típicamente para aplicaciones con TC's a tierra separadas, así como una ventana de flujo balanceado de TC o proporcionar una protección de regreso a tierra de paso del generador al transformador.

En un sistema de subestación automatizada, tres puertos de comunicación independientes, junto con el soporte de la parte integral de la estructura por el Modbus® y otros protocolos comunes, proporcionan un fácil acceso para la integración de la protección, control, medición, funciones de estado de monitoreo. El puerto estándar IRIG-B provee un tiempo de sincronización desde un reloj maestro.

La medición en tiempo real proporciona watts, watts-hora, VARs, VARs-hora, voltaje, amperaje y telemetría de carga desbalanceada para la protección del circuito, contactos de entrada de sensores y funciones de monitoreo de alarma, provisto para control virtual e interruptores seleccionadores con control del selector antes de la operación de salidas programables.

ESPECIFICACIONES GENERALES

- **ENTRADAS DE CORRIENTE DE 5 A**

Operación continua	20 A.
Valor máximo	400 A.

Límite de saturación 150 A.
Burden <10mΩ

- **ENTRADAS DE CORRIENTE DE 1 A**

Operación continua 4 A.
Valor máximo 80 A.
Límite de saturación 30 A.
Burden <22mΩ

- **ENTRADAS DE VOLTAJE**

Operación continua 300 V de línea a línea.
Valor máximo 600 V de línea a neutro.
Burden menor que 1 VA @ 300V ca.

- **ENTRADA DE VOLTAJE AUXILIAR**

Operación continua 150 V.
Valor máximo 600 V.
Burden menor que 1 VA @ 150V ca

- **CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL**

Rango de muestreo 12/ciclo, ajustable a frecuencias de entrada de 10-75 Hz.

- **FUENTE DE PODER**

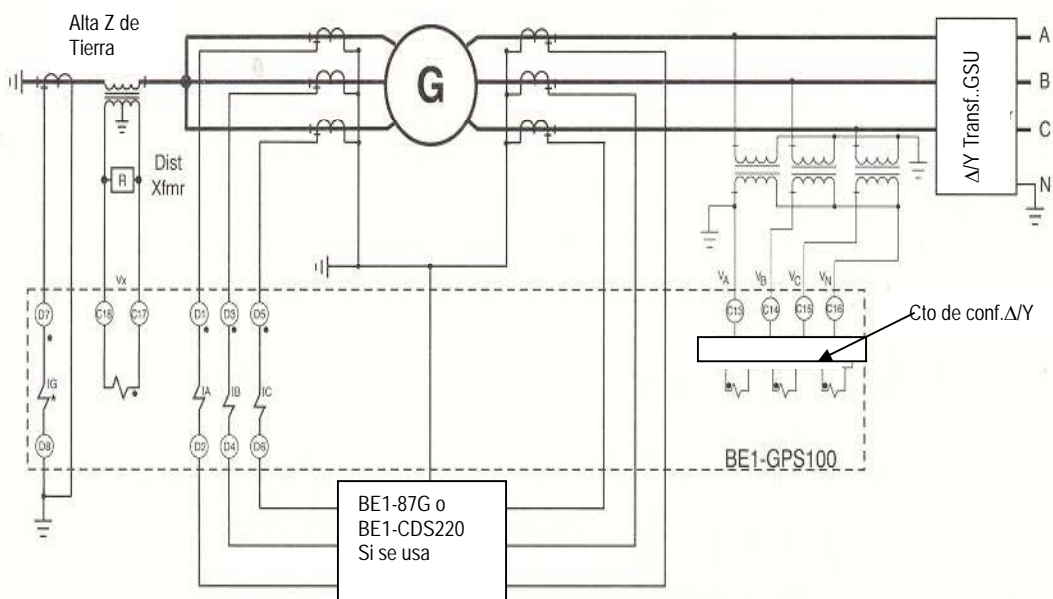
Opción 1 Rango de CD de 35-150 V.
 Rango de CA de 55-135 V.
Opción 2 Rango de CD de 90-300 V.
 Rango de CA de 90-270 V.
Opción 3 Rango de CD de 17-32 V.
Burden 6 watts continuos, 8 watts máximo con todas las salidas energizadas.

- **CONTACTOS DE DISPARO**

Ganancia y acarreo	30 A (0.2 seg.)
Continuo	7 A.
Disparo	0.3 A DC (L/R=0.04)

- **PUERTOS DE COMUNICACIÓN**

Tiempos de respuesta	< 100ms de funciones de control y medición.
Velocidad de Vaduz	300 – 19200.



* La entrada de tierra independiente es opcional

Figura 25. Conexiones típicas de sensor externo con V_x e IG para falla a tierra del estator.

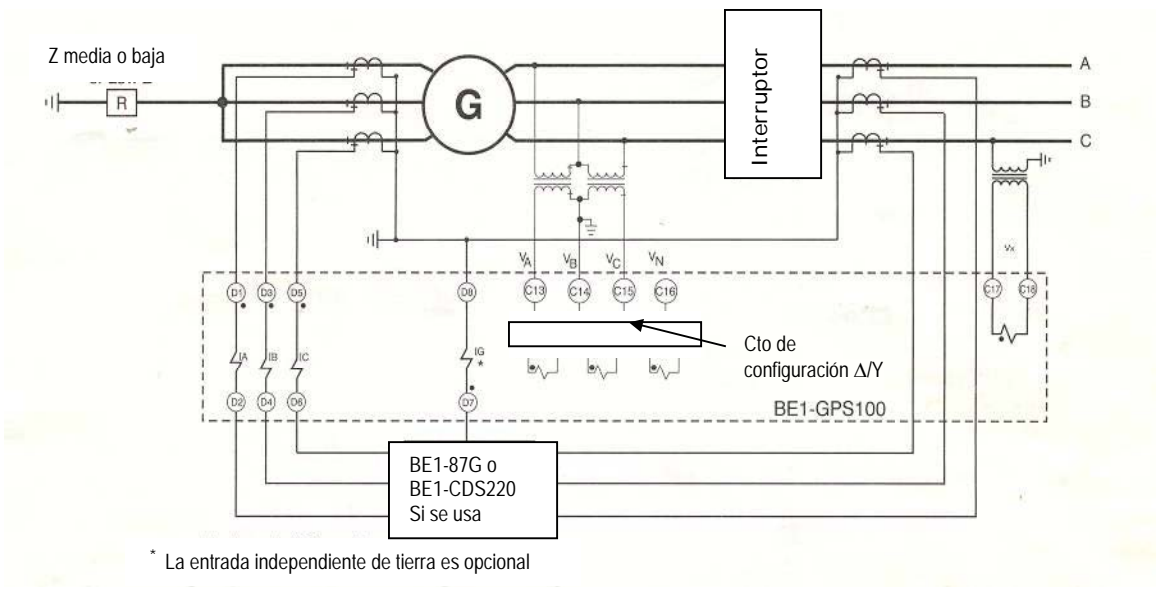
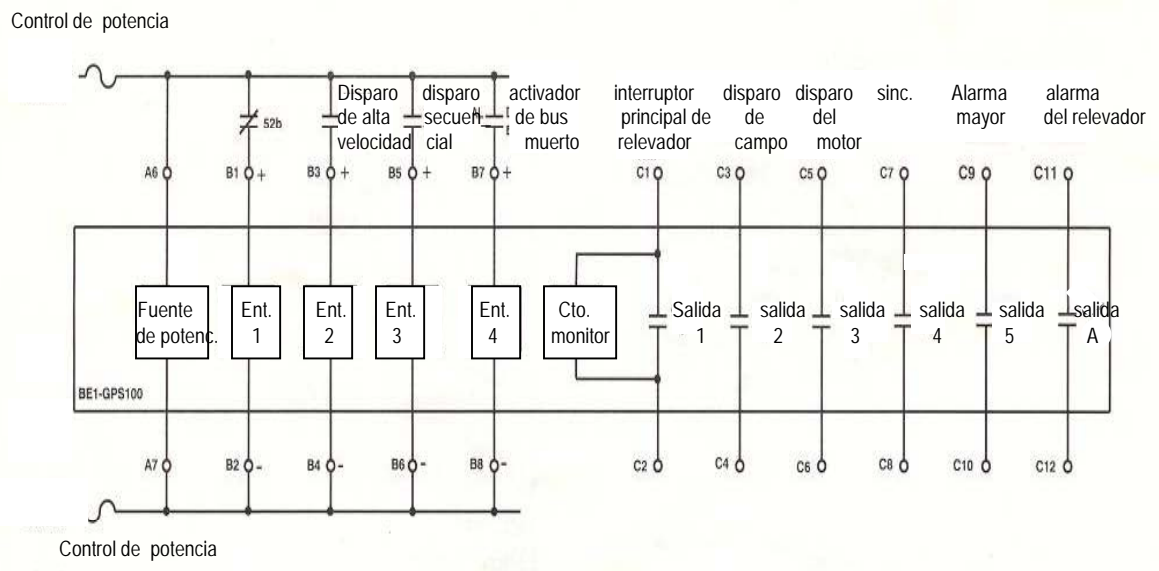


Figura 26. Conexiones externas típicas de sensor, con V_x usada para verificar la sincronía e I_G utilizado para la sobrecorriente diferencial de tierra.



NOTAS: Las conexiones mostradas son para usarse con el esquema lógico preprogramado LZ-W-25. LZ-W-25 provee una baja impedancia de tierra para protección del generador con disparo secuencial y chequeo lógico sync. Todas las entradas y salidas son completamente programables usando best-logis.

Figura 27. Conexiones para el esquema lógico LZ-W-25 programado previamente.

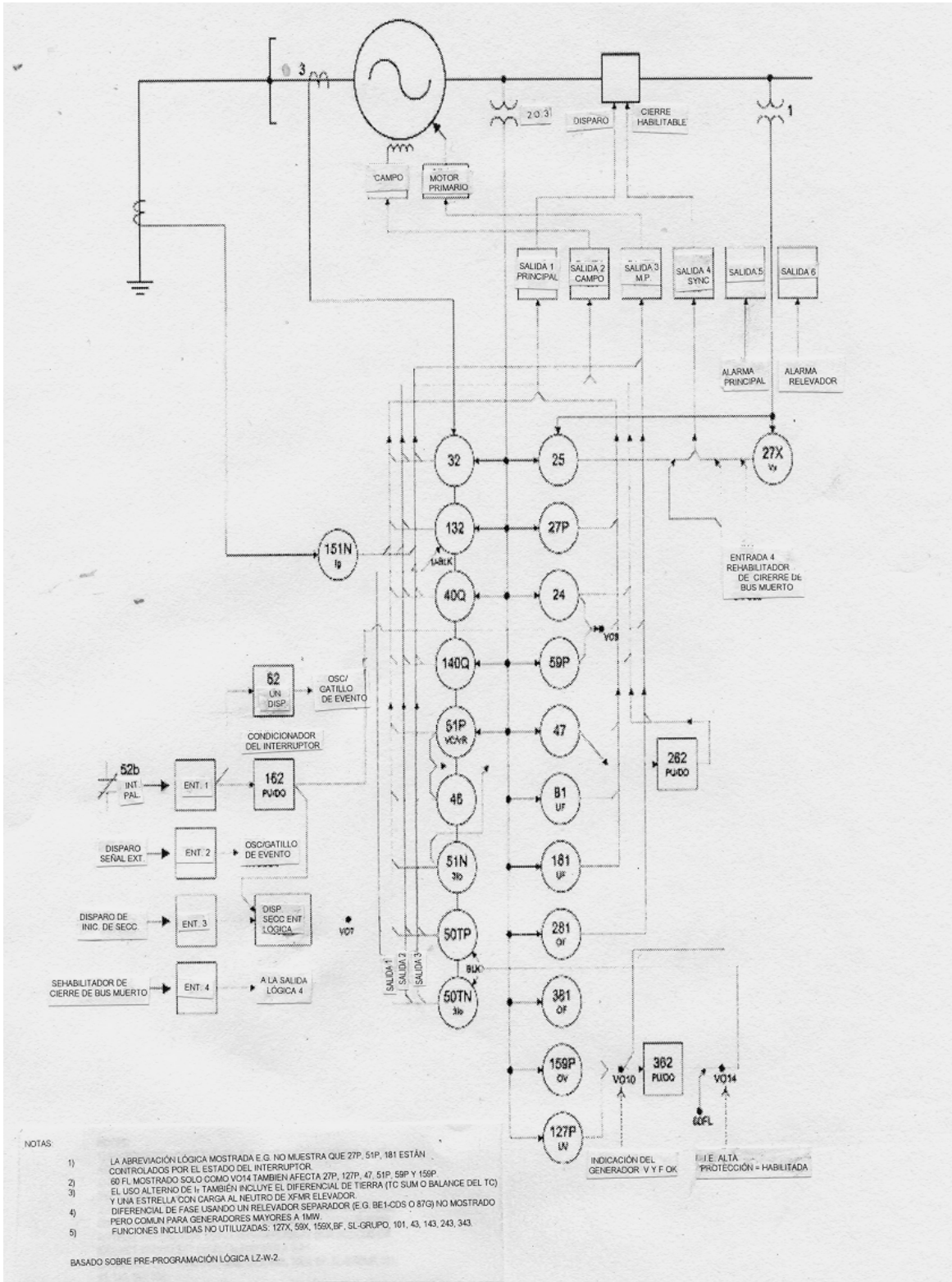


Figura 28. Diagrama unifilar de aplicación típica.

IV.3.- RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA TRANSFORMADOR

Fabricante: General Electric

Modelo: 745



Figura 29. Relevador multifunción General Electric, mod. 745 para transformador.

DESCRIPCIÓN

El modelo 745 es un relevador digital de alta velocidad, basado en multiprocesadores, 3 fases, para dos o tres devanados, está configurado para la protección primaria de transformadores de potencia pequeños, medianos y grandes.

Este modelo está diseñado para combinar las protecciones diferencial, sobrecorriente, frecuencia y sobreexcitación así como elementos que monitorean las corrientes armónicas y la distorsión total de la armónica principal (THD). Adapta restricciones de direcciones para armónicas cuando ocurre un falso disparo, así como elementos de tiempo de sobrecorriente y ajusta los valores de disparo basados en los cálculos de la capacidad del transformador cuando suministra corrientes de carga con alto contenido de armónicas.

Utiliza un tipo PLC basado en entradas lógicas y elementos de protección para ser asignadas a cualquiera de las salidas del modelo 745. Contiene un simulador que puede ser de gran ayuda para realizar pruebas y revisar la operación correcta del relevador en el caso de ocurrir algún tipo de falla, además de que permite realizar gráficas y exploraciones digitales, para revisar por medio de un equipo de cómputo la operación del relevador. Tiene una función de captura de forma de onda propia, que graba las formas de onda de fallas o condiciones de alarma.

La función de autoconfiguración elimina la necesidad de cualquier conexión especial de transformadores de corriente por tener todos los TC's conectados en estrella.

PROTECCIÓN Y CONTROL

CORRIENTE DIFERENCIAL

El modelo 745, tiene el equivalente a tres relevadores monofásicos de corriente diferencial, capaces del manejo de transformadores de dos o tres devanados. Tiene restricción de doble pendiente de porcentaje diferencial y restricción de armónica. Esto es necesario durante los periodos de energización del transformador, donde se puede prevenir la mala operación de magnetización debido a la corriente de *inrush* (inrush current: corriente de operación que toma una bobina de la línea con la armadura bloqueada en la posición nominal de abertura máxima. Diccionario técnico, Ed. Limusa.). Cada elemento de porcentaje diferencial tiene una restricción de doble

pendiente que se puede programar con un punto de ruptura de la pendiente ajustable y sensibilidad diferencial. Cada elemento también tiene una limitación que se puede adaptar de armónicas con tres métodos programables.

RESTRICCIÓN DE ARMÓNICAS

Los relevadores tradicionales a menudo están provistos de un bloqueo durante los periodos de *"inrush"*, debido a que una o más de las corrientes de fase tienen bajo contenido de armónicas o pérdidas de operación por fallas de corriente con alto contenido de armónicas.

El modelo 745, ofrece una gran flexibilidad con la forma de proceder de las condiciones de energización, ya que proporciona tres métodos de restricción programables, cada uno de los cuales puede ser activado o desactivado por el usuario.

1. **Inhibición de armónicas** que permite al usuario colocar el nivel de restricción de armónicas de 2do o 2do + 5to el cual si es activado permanece activo todo el tiempo.
2. **Una inhibición independiente de 5ta armónica**, también está provista para permitir la restricción de sistemas, que permiten una sobreexcitación intencional (sobreflujo) durante la energización.
3. **La inhibición de energización** es un elemento diseñado para restringir la corriente de *inrush* del elemento dinámico, dirigido al contenido de armónicas decrecientes, de los novedosos diseños del núcleo del transformador y resultados del desbordamiento, bien planeados, para los bancos de transformadores en paralelo cuando están siendo energizados. La inhibición de la energización permite al usuario definir temporalmente un bajo nivel de restricción, el cual puede ser activado automáticamente sobre la detección de la

desenergización del transformador o la energización de los transformadores en paralelo.

ELEMENTOS DE SOBRECORRIENTE

El modelo 745, proporciona dos elementos instantáneos y uno de tiempo de sobrecorriente para cada devanado de fase, cálculo de la corriente del neutro ($3I_0$) y corriente de tierra. Cada uno de los elementos de tiempo de sobrecorriente tiene las siguientes características programables:

- ❖ Nivel de captación de corriente.
- ❖ 16 formas de curva.
- ❖ Multiplicador de curvas (tiempo de indicación).
- ❖ Características de restauración de tiempo lineales o instantáneas.

FORMAS DE CURVA

ANSI	Extremadamente inversa
	Muy inversa
	Normalmente inversa
	Moderadamente inversa
	Tiempo definido
IEC (BS142)	Curva A
	Curva B
	Curva C
IAC	Inversa corta
	Extremadamente inversa
	Muy inversa
	Inversa
	Inversa corta

PROPIA

FlexCurve™ A

FlexCurve™ B

FlexCurve™ C

SOBRECORRIENTE DIFERENCIAL INSTANTÁNEA

El modelo 745, contiene tres elementos de sobrecorriente diferencial instantánea ilimitados (uno por fase), los cuales permiten el manejo de fallas internas de alta magnitud.

SOBRECORRIENTE DE SECUENCIA NEGATIVA

El modelo 745, proporciona elementos de sobrecorriente de secuencia negativa instantánea y de tiempo para aumentar la sensibilidad de fallas de fase. Cada devanado tiene elementos propios con las mismas características programables de los elementos de sobrecorriente de tiempo de fase y neutro.

CURVAS DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO ADAPTABLES

El modelo 745, calcula la capacidad del transformador cuando suministra corrientes de carga no sinusoidales (como por ANSI/IEEE C57.110-1986) dado un factor de armónicas.

Esto sucede cuando compensa automáticamente las curvas de sobrecorriente de tiempo operacional, para mantener el margen de protección deseado con respecto a la curva de demanda térmica del transformador.

FRECUENCIA

El modelo 745, calcula y mantiene el promedio de corrimiento del sistema de frecuencia (df/dt). Se proporcionan dos elementos de baja frecuencia para esquemas tradicionales de desprendimientos de carga.

En orden de implementación más avanzada, los esquemas de desprendimiento de carga están provistos de 4 elementos de variación de frecuencia. Todos los elementos tienen puntos de ajuste programables de una corriente de operación mínima, captación de frecuencia crítica y ajuste de la rapidez de cambio de la frecuencia crítica. Además, tiene elementos de sobrefrecuencia, los cuales pueden ser usados en la locación generadora para accionar la rampa de la turbina para que baje en condiciones de sobrefrecuencia.

SOBREEXCITACIÓN

El modelo 745, proporciona elementos de protección que tienen relación con transformadores sujetos a condiciones de sobrevoltaje y sobreflujo de la unidad generador–transformadores. Dos tipos de elementos útiles:

- ❖ **Nivel de 5ta armónica.** La cual puede proteger al transformador de condiciones de los disturbios del sistema de potencia.
- ❖ **Volts/Hz.** Los cuales proporcionan de protección a la unidad generador–transformadores, cuando la velocidad del generador está empezando a cambiar y la protección de sobrevoltaje puede ser una función en proporción de la frecuencia. Se proporcionan dos niveles, cada uno tiene puntos de ajuste para un mínimo de operación de voltaje, captación de volts/Hz, tiempo de retraso.

MÚLTIPLES GRUPOS DE PUNTOS DE AJUSTE

El modelo 745, soporta cuatro grupos de puntos de ajuste en servicio. Sólo un grupo de ajuste puede ser activado en cualquier momento. Esta característica permite al usuario definir los grupos de puntos de ajuste para diferentes configuraciones de sistemas de potencia y posteriormente se selecciona cual grupo se activará. Esta selección se puede realizar desde las entradas lógicas (digitales), desde el frente del panel o desde el puerto de comunicaciones.

FALLA A TIERRA RESTRINGIDA (OPCIONAL)

La protección de falla a tierra restringida (diferencial de tierra) está destinada a proporcionar una detección sensible de falla a tierra para baja magnitud de falla de corriente, el cual puede no ser detectado por el porcentaje del elemento diferencial. Esto se aplica a menudo a los transformadores que tienen una impedancia de tierra en su devanado en estrella.

ENTRADAS LÓGICAS

El modelo 745, tiene un total de 16 entradas lógicas. Estas entradas digitales pueden ser asignadas a una variedad de funciones previamente definidas.

LÓGICA PROGRAMABLE (FLEXLOGIC™)

El modelo 745, provee al usuario con máxima flexibilidad en protección lógica implementada. El FlexLogic™, permite cualquier combinación de elementos de protección, entradas lógicas y contador de tiempo para ser asignado a cualquier salida. La lógica booleana de las compuertas como la NOT, AND, OR, NAND, NOR y XOR están provistas que 10 contadores de tiempo internos sean utilizados todo el tiempo.

SALIDAS DEL RELEVADOR

El modelo 745, tiene alta velocidad en una salida electrónica de estado sólido para un uso de propósito general, el cual puede activarse mediante cualquier elemento de protección, de acuerdo con lo definido por el usuario por medio de las ecuaciones FlexLogic™.

El modelo 745, tiene 8 salidas de relevadores electromecánicos de las cuales, 7 pueden ser activadas por los elementos de protección de acuerdo a las ecuaciones FlexLogic™ definidas por el usuario. Una salida es programada de fábrica como alarma propia de autoprueba interna, a prueba de falla del relevador.

SALIDAS ANALÓGICAS (OPCIONAL)

El 745, proporciona 7 canales de salida a transductores, con una salida con rangos que puede seleccionar el usuario. El usuario puede programar salidas de forma individual en rangos de 0-1mA, 0-5mA, 0-10mA, 0-20mA 4-20mA. Los canales pueden se pueden asignar a parámetros medidos.

CORRIENTES

El 745, puede medir y calcular con exactitud las siguientes corrientes:

- ❖ De fase A, B, C, residual ($3I_0$) y las corrientes fundamentales de tierra.
- ❖ De operación y demanda máxima de corriente en cada fase de cada devanado.
- ❖ Corrientes de secuencia positiva, negativa y cero y los ángulos de fase para todos los devanados.
- ❖ Corriente diferencial y de restricción para todas las fases.
- ❖ Corriente diferencial de tierra (opcional).

ARMÓNICAS

El modelo 745, proporciona un detector de nivel de armónicas en todas las entradas de corriente. Con un coeficiente de muestreo de 64 veces el ciclo de potencia, el modelo 745, recobra la 21ava armónica. La distorsión total de armónicas y el factor de derivación de armónicas son calculadas para cada devanado y son comparadas nuevamente con el punto de ajuste dado por el usuario.

GRABADORA DE EVENTOS

El modelo 745, captura y registra los últimos 128 eventos, recordando la hora, fecha, causa y parámetros del sistema en el momento de cada evento. Toda la información de los eventos se puede visualizar desde una computadora o cualquier puerto de comunicación o se puede ver por medio de la pantalla del panel.

POSICIÓN DEL TAP, TEMPERATURA AMBIENTE, ENTRADA ANALÓGICA DEL TRANSDUCTOR

El modelo 745, hará un monitoreo y despliegue de la posición del tap y la temperatura ambiente. La posición del tap es monitoreada directamente desde el relevador por medio de una resistencia variable para la salida del alimentador del transformador. La temperatura ambiente puede ser monitoreada a través del sensor de la resistencia de detección de temperatura. Se proporciona una entrada de propósito general opcional del transductor para permitir al usuario definir la cantidad que será monitoreada y utilizada como parte del esquema de protección a través del uso del FlexiLogic™.

MODO DE SIMULACIÓN

El modelo 745, tiene una característica poderosa de simulación para la prueba de funcionalidad del relevador, sin la necesidad de usar ningún simulador de ondas de CA. El modo de simulación permite al usuario introducir de manera arbitraria cualquier

tipo de forma de onda en el buffer del relevador para ejemplificar las señales de entrada de corriente.

GUÍA DE ESPECIFICACIONES

La protección del transformador de baja, media y gran potencia, deberá ser proporcionada por un relevador de alta velocidad basado en un multiprocesador.

Se pueden incluir las siguientes funciones de protección:

- ❖ Relevadores de corriente diferencial de tres fases, con porcentaje de pendiente de doble diferencial restringida y restricción de armónicas.
- ❖ Diferencial de sobrecorriente no restringido.
- ❖ Dos elementos de sobrecorriente instantáneos para cada fase del devanado, cálculo del neutro y corriente de tierra.
- ❖ Un elemento de sobrecorriente de tiempo para cada fase del devanado, cálculo del neutro y corriente de tierra.
- ❖ Sobrecorriente de secuencia negativa.
- ❖ Elementos de baja frecuencia y tipo de cambio para pérdida de carga.
- ❖ Elementos de sobrefrecuencia.
- ❖ Sobreexcitación para proteger contra sobrevoltaje y sobreflujo.

Para mejorar la flexibilidad de protección del sistema se puede proporcionar lo siguiente:

- ❖ Autoconfiguración de los TC's dependiendo de la conexión con el transformador.
- ❖ Protección lógica programable usando el FlexLogic™ para permitir cualquier combinación de los elementos de protección, entradas lógicas y temporizadores para ser asignados a cualquier salida.
- ❖ Restricción adaptable de armónicas para prevenir un disparo en falso durante el *inrush* con la posibilidad de tres métodos programables de restricción.

- ❖ Múltiples grupos de puntos de ajuste.
- ❖ Relación dinámica de TC's para la corrección del desequilibrio de impedancia.
- ❖ Curvas adaptables de tiempo de sobrecorriente, las cuales se toman en relación con la capacidad del transformador cuando se suministran corrientes de carga no sinusoidales.

Medición y monitoreo que incluye:

- ❖ Medición de corriente, corrientes de operación y corrientes de demanda máxima.
- ❖ Oscilografía con datos muestreados de 64 veces por ciclo de potencia.
- ❖ Modo de simulación para prueba.
- ❖ Detectores de niveles de armónicas.
- ❖ Registrador de eventos para los últimos 28 eventos.
- ❖ Posición del tap y temperatura ambiente.
- ❖ Entrada del transductor análogo (opcional).

Las siguientes entradas y salidas pueden proporcionar con:

- ❖ 16 entradas lógicas
- ❖ Una entrada analógica (opcional)
- ❖ Una salida electrónica de alta velocidad
- ❖ Ocho salidas a relevadores electromecánicos
- ❖ Siete canales de salida analógicos (opcional)
- ❖ Una entrada IRIG-B

Se puede proporcionar el FlexLogic™ definir las salidas que se pueden configurar.

Las interfases de usuario pueden estar incluidas en una pantalla de 40 caracteres y un tablero con llaves de control y un teclado numérico completo. Veinticuatro leds indicadores, los cuales se proporcionan para indicar el estado del relevador, el estado del sistema, y las condiciones de disparo o alarma.

Dispositivo	Elementos comunes de protección	Dispositivo	Elementos comunes de protección
50/46	Sobrecorriente instantánea de secuencia negativa	AN-2	Entrada analógica nivel 2
50/87	Diferencial instantánea		Envejecimiento del aislamiento:
50G	Sobrecorriente instantánea de tierra		-Límite factor de envejecimiento
50N	Sobrecorriente instantánea del neutro		-Límite punto de envejecimiento
50P	Sobrecorriente instantánea de fases		-Límite pérdida de vida
51/46	Sobrecorriente temporizada de secuencia negativa	THD	Fallo de cambiador de tomas
51G	Sobrecorriente temporizada de tierra		Nivel de distorsión total de armónica
51N	Sobrecorriente temporizada del neutro		
51P	Sobrecorriente temporizada de fases		
59/81	Volts por hertz		
81-H5	Nivel de 5ª armónica		
81D	Máxima frecuencia		
81U	Mínima frecuencia		
81U-R	Razón de disminución de la frecuencia		
87	Diferencia (porcentaje)		
87TG	Diferencial de tierra		
AD	Demanda de corriente		
AN-1	Entrada analógica nivel 1		

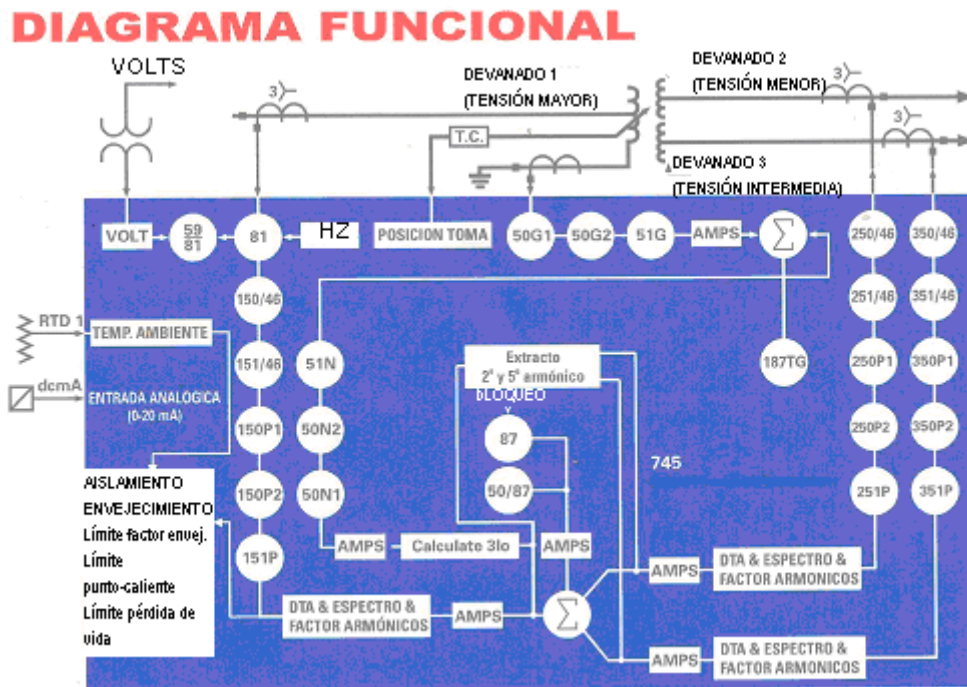


Figura 30.

IV.4.- RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA ALIMENTADOR

Fabricante: General Electric.

Modelo: DFP100.

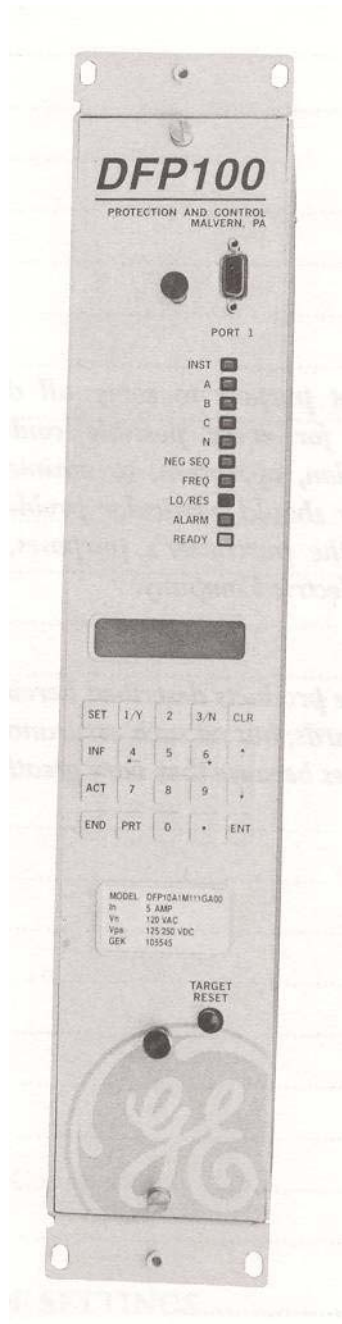


Figura 31. Relevador multifunción General Electric, mod. DFP 100 para alimentador.

DESCRIPCIÓN

El DFP100, es una protección digital, de control, de medición y sistema de monitoreo. Usa una forma de onda como referencia en las entradas de corriente y de voltaje con algoritmos adecuados para la distribución y protección para el alimentador industrial y el monitoreo. Más generalmente, el DFP100 puede ser aplicado dondequiera que haya sobrecorriente, sobre/bajo voltaje, sobre/baja frecuencia, control, medición o donde se requiera monitoreo.

El DFP100, está empaquetado de manera compacta en un panel de 19 pulgadas de largo. Hay diferentes tipos de modelos para el DFP100 en montura verticales u horizontales y con 7 pulgadas de espesor, que lo hacen más fácil de montar en un panel de control.

La interfase de usuario del DFP100, se puede lograr por medio de una computadora personal conectada a un puerto serial (RS232, RS485, o fibra óptica) o por medio de una máquina local de interfase (MMI) que consiste en un teclado y una pantalla LCD localizada en el frente del panel del DFP100.

APLICACIÓN

El DFP100, puede ser utilizado para cumplir con una amplia variedad de requerimientos. Algunas de las posibles aplicaciones son:

- ❖ Protección primaria para distribución o alimentadores industriales.
- ❖ Se utiliza como relevador de bus que proporciona una rápida protección para la falla en el mismo (requiere un contacto alambrado del relevador del alimentador al relevador del bus).
- ❖ Protección de sobrecorriente para transformadores.
- ❖ Protección de distancia/sobrecorriente para líneas de subtransmisión y transmisión.

FUNCIONES

El DFP100 proporciona las siguientes funciones de protección:

SOBRECORRIENTE DE FASE

51PT	TOC (tiempo de sobrecorriente)
51PD1, 51PD2	DT (unidad de tiempo definido 1, 2)
50NH, 50NL	IOC sobrecorriente instantánea alta, baja

Cada una de las funciones listadas anteriormente son por fase (A, B, C) para un total de quince funciones de sobrecorriente de fase.

SOBRECORRIENTE DE TIERRA

51NT	TOC (tiempo de sobrecorriente)
51ND1, 51ND2	DT (unidad de tiempo definido 1, 2)
50NH, 50NL	IOC sobrecorriente instantánea alta, baja

SOBRECORRIENTE DE SECUENCIA NEGATIVA

46PT	TOC (tiempo de sobrecorriente)
46PD	DT (unidad de tiempo definido 1, 2)

Las curvas de tiempo de sobrecorriente para 51PT, 51NT y 46PT se pueden seleccionar por separado para corriente inversa, muy inversa y extremadamente inversa. Estas curvas están basadas en el ANSI P37.112 y son definidas por las siguientes ecuaciones:

Inversa

$$t = TD \left(\left(\frac{0.0103}{M^{0.02}} - 1 \right) + 0.0228 \right)$$

Muy inversa

$$t = TD \left(\left(\frac{3.922}{M^2} - 1 \right) + 0.0982 \right)$$

Extremadamente inversa

$$t = TD \left(\left(\frac{5.64}{M^2} - 1 \right) + 0.02434 \right)$$

Donde:

t = tiempo en segundos

TD = tiempos de marcado

M = múltiplos de muestra

21P – DISTANCIA DE FASE

El DFP100, tiene la capacidad de supervisar las sobrecorrientes de fase con una unidad de distancia de fase. El DFP100, incorpora una función de distancia de fase con la cual se puede utilizar un supervisor de funciones de sobrecorriente de fase.

67N DIRECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA

El DFP100, incorpora una unidad direccional de secuencia negativa que puede ser utilizada para supervisar las funciones de la sobrecorriente de tierra. Aunque es más útil como una entrada lógica configurable.

27 BAJO VOLTAJE

El DFP100, incorpora una función de protección de bajo voltaje que es utilizada para protección.

59 SOBREVOLTAJE

El DFP100, incorpora una función de protección para sobrevoltaje que es utilizada para supervisión.

CONTROL DE TORQUE

Hay dos unidades separadas de control de torque, una para la fase y otra para la tierra. La función de control de torque de sobrecorriente para la fase puede tener éxito si se utilizan las siguientes señales:

1. Contacto externo (entrada digital)
2. 50PL fijo bajo para sobrecorriente de fase instantánea
3. 21P mho distancia de fase
4. 27 bajo voltaje

La función de control de torque de sobrecorriente de tierra puede ser exitosa si se utilizan las siguientes señales:

1. Contacto externo (entrada digital)
2. 67N

81UT1, 81UT2 – UNIDAD DE BAJA FRECUENCIA

El DFP100, contiene dos unidades separadas de baja frecuencia. Éstas pueden ser fijas con o sin tiempo de retraso.

810T1, 810T2 – SOBREFRECUENCIA

El DFP100, contiene dos unidades separadas de sobrefrecuencia. Que pueden ser fijadas con o sin tiempos de retraso.

MEDICIÓN

Las cantidades medidas son corriente, voltaje, potencia real (watts), potencia reactiva (VARs) y frecuencia. Las corrientes aplicadas y los voltajes están calculados por fase. Los watts y VARs están calculados por fase para los valores de voltaje y corriente. Los valores RMS de corriente y voltaje están desplegados por fase, pero sólo los valores de los watts y VARs son desplegados de manera trifásica. Esta información de mediciones puede ser consultada por medio de un puerto serie o puede ser desplegada de manera local en la pantalla LCD cuando el DFP100 está equipado con el MMI local.

Una función del amperímetro está incorporada, de manera que el máximo y el promedio de corriente RMS para cada fase es determinada sobre un intervalo de tiempo que se puede seleccionar de 15, 30 o 60 minutos para las últimas 24, 48 o 96 horas, respectivamente.

CONTROL

Puede utilizarse por el usuario de manera local por medio del MMI opcional o estando conectado al puerto serial de la computadora personal. Es posible abrir o cerrar el interruptor del alimentador usando los contactos de salida del DFP100, es útil con o sin la función de recierre automático.

RECIERRE

El DFP100, es útil con una opción que permite la autorización de cuatro intentos de recierre. El número de intentos es programable de 1 a 4 y se incluye un factor por separado para desactivar la función de recierre.

El ciclo de recierre puede ser programado para ser iniciado internamente por medio de un contacto 52b que indica que el interruptor ha sido abierto por un gatillo interno o externo.

Para cada intento de recierre, el tiempo entre el disparo y el recierre se puede fijar de manera independiente. El tiempo de reestablecimiento, puede ser programado entre 1 y 600 segundos.

El orden de inicio del ciclo de recierre, es necesario para el contacto 52b para ser alambrado a la entrada digital #6 (la cual es delicada para esta señal de entrada). El ciclo de recierre podrá ser iniciado a partir de un comando de disparo desde las unidades de protección, o desde el monitor del contacto 52b si el recierre es fijo para ser operado por medio del contacto 52b. Cuando la señal de disparo es recibida, el contador de retraso del recierre empieza a disminuir. Este tiempo de retraso se puede fijar entre 0.1 y 600 segundos. Al término de este período, el recierre de salida envía una señal para el cierre de un contacto destinado a esto.

El recierre puede ser ajustado en intervalos, los cuales pueden ser fijados entre 0 y 100 segundos. Este intervalo puede ser iniciado a través de una entrada digital y evitará una señal de cierre que puede ser la salida del final del período de pausa.

Una vez que la entrada del 52b indica que el interruptor está cerrado, el tiempo de reestablecimiento empezará a disminuir. Si el disparo ocurre antes de que el tiempo de reestablecimiento haya disminuido, que es el autorizado para iniciar el recierre permitido por medio de una máscara de disparo de recierre, el recierre abrirá el interruptor y esperará el segundo tiempo de retraso de recierre antes de cerrar el interruptor. Esto se repetirá para el número de recierres programados.

Si este recierre es el último que se programó para el ciclo, y el disparo se produce, el interruptor se abrirá y el recierre quedará bloqueado. Este bloqueo se puede reestablecer de manera manual, cerrando el interruptor a través de la comunicación, por el MMI opcional, o de manera externa.

La capacidad de bloquear el recierre se logra por medio de una entrada MMI, por un comando de comunicación, o utilizando una entrada digital.

DIFERENTES FORMAS DE BLOQUEO DEL RECIERRE

Bloqueo local. El bloqueo local se produce cuando una señal es aplicada a una entrada digital, la cual ha sido programada como una señal de bloqueo de recierre. Cuando esta señal es retirada, el bloqueo es eliminado y el tiempo de bloqueo es iniciado. Si la falla ocurre durante este tiempo, el relevador dará una señal de disparo.

Bloqueo remoto. Un bloqueo remoto es producido cuando un comando es enviado a través de un comando de comunicación o a través de una tarjeta opcional. Cuando un comando de desbloqueo es enviado, el bloqueo es eliminado y el tiempo de reestablecimiento es ignorado. Si la falla ocurre durante este tiempo, el relevador genera una señal de disparo final.

Bloqueo debido a una apertura por falla. Este bloqueo es producido en los casos en que, después de un disparo, el estado del 52b no indica que el interruptor haya sido abierto. Este bloqueo es eliminado cuando se produce un cierre manual.

Bloqueo debido a disparos repetidos. Este tiene el objeto de evitar un uso excesivo de los interruptores, (por ejemplo durante una tormenta, el interruptor puede ser abierto y cerrado continuamente), a una hora la ventana ha sido creada durante la cual los disparos pueden ser registrados. La ventana se mueve de tal manera que siempre está contando los disparos que se producen durante 60 minutos. Si el número de disparos es más grande que el valor definido por el usuario, el recierre es bloqueado, y quedará en un estado de cierre. Este bloqueo es eliminado por un cierre manual.

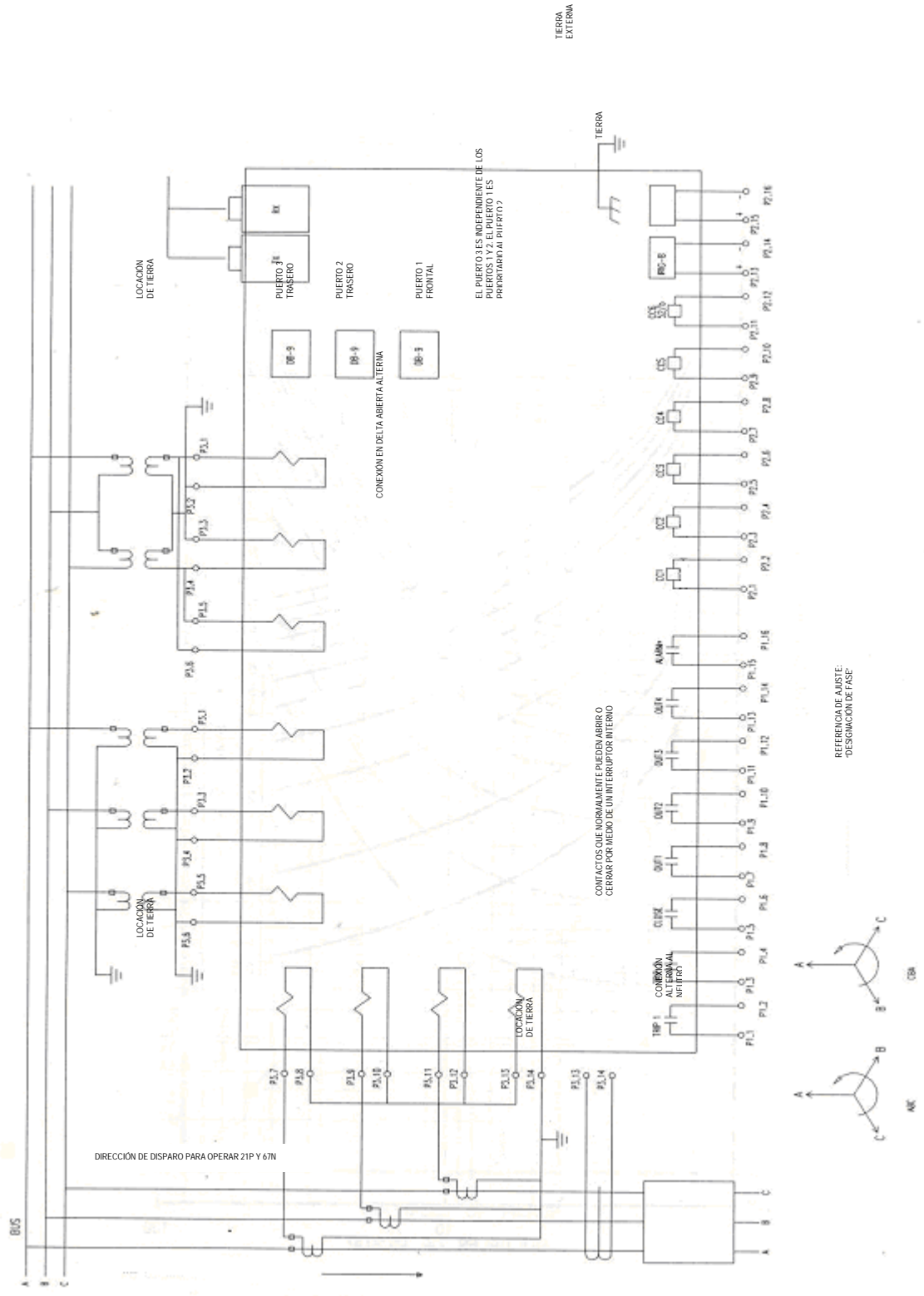


Figura 32. Conexiones externas del DFP100.

El DFP100, tiene la capacidad de ser activado y desactivado por medio de la máscara. Estas funciones serán autorizadas para dispararse después de cada recierre. Esta máscara pasa por encima de las más importantes máscaras de disparo utilizadas en cada uno de los grupos de ajuste. Hay una máscara independiente para cada uno de los cuatro recierres posibles.

LOCALIZACIÓN DE LA FALLA

El DFP100, contiene un algoritmo para determinar la distancia de falla por una conexión estrella-estrella del TP a las aplicaciones. Esta información está representada por millas (o kilómetros) desde el relevador a la falla. La distancia de falla está basada en una línea de longitud (ya sean millas o kilómetros) proporcionada por el usuario como un ajuste.

La información de la falla está contenida en el reporte de falla, el cual se describe a continuación. Cuando el relevador es fijado y conectado en una configuración de delta abierta, el reporte de falla es generado, pero ni el tipo de falla ni la distancia de la falla están determinados.

CARACTERÍSTICAS

COMUNICACIONES REMOTAS

Hay tres puertos seriales asociados con el DFP100. El PUERTO 1 está localizado enfrente del panel, el PUERTO 2 y el PUERTO 3 están situados en la parte trasera del panel. El PUERTO 1 y el PUERTO 2, están manejados por el mismo UART. El PUERTO 3, es manejado por un UART separado. Los diferentes modelos están disponibles con un puerto de comunicación serie RS232 únicamente, fibra óptica y un puerto de comunicación serie RS232, o comunicación serie RS232 y RS485. Para los modelos que sólo tienen el RS232, los tres puertos de comunicación son RS232. Para los modelos

que tienen fibra óptica y RS232 el PUERTO 1 y el PUERTO 2, están configurados para comunicaciones RS232, el PUERTO 3 está desactivado, y son proporcionados dos conectores de fibra óptica (localizados en el PUERTO 2 próximo). Para los modelos con RS232 y RS485, el PUERTO 1 y el PUERTO 2 están configurados para comunicaciones RS232, y el PUERTO 3 está configurado para comunicaciones RS485.

Los diferentes modelos cuentan una opción en el protocolo de comunicación, es decir, están disponibles en el protocolo ASCII o en el protocolo GE. Para los modelos con el protocolo ASCII, se cuenta con programas de comunicaciones para PC como PROCOMM, CROSS-TALK, Terminal Windows, etc., que le son útiles. Para los modelos con el protocolo GE, hay un programa de comunicaciones único para PC: MLINK.

INTERFASE HOMBRE-MÁQUINA

Para permitir que el usuario haga ajustes, introduzca valores de medición, tenga acceso a la tarjeta de información de fallas y a los datos almacenados, se proporciona un MMI opcional incorporado a la tarjeta y a la pantalla LCD: el local MMI está disponible únicamente en los modelos que utilizan el protocolo GE para las comunicaciones remotas.

IV.5.- RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA MOTORES DE BAJA Y MEDIA CAPACIDAD

Fabricante: General Electric.

Modelo: 239



Figura 33. Relevador multifunción General Electric, mod. 239 para motores de baja y media capacidad.

DESCRIPCIÓN

El relevador 239, está diseñado para proporcionar una protección completa de motores trifásicos de corriente alterna contra condiciones que pueden causar algún daño. Para la protección de un motor, el relevador tiene características asociadas con el equipo mecánico que se va a proteger, dando una alarma antes de que el mal funcionamiento provoque algún daño, diagnosticando problemas después de la falla y permitiendo la verificación de la operación correcta del relevador durante la rutina de mantenimiento.

Usando la interfase de comunicación serial *Modbus*, los arranques de los motores para toda una planta pueden ser conectados al control central y al sistema de monitoreo para la continua monitorización y rápido diagnóstico de fallas para un proceso completo.

Al instalar el relevador 239 en un arrancador del motor para protección y monitoreo para motores de pequeña a media capacidad, se pueden minimizar las pérdidas de tiempo debidas al proceso de solución del problema.

PROTECCIÓN

ARRANCADOR DEL MOTOR

Durante la aceleración, el motor es protegido por una curva de sobrecorriente I^2t , la cual atraviesa los puntos de corriente de bloqueo del rotor.

La curva de sobrecarga de funcionamiento no está activa durante la aceleración, por lo tanto, la protección de encendido es independiente de la protección de funcionamiento.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Mientras el motor está en funcionamiento, la protección puede seleccionar con exactitud una curva que va de acuerdo con las características del motor entre las 15 diferentes que tiene. Las curvas se ajustan automáticamente a la compensación de calentamiento del motor para garantizar el uso del modelo térmico correcto. El tiempo de cierre de sobrecarga es programado por el usuario para permitir el enfriamiento suficiente después de una sobrecarga. Esta es una característica de reestablecimiento automático disponible para reestablecerlo automáticamente después de una sobrecarga, una vez que la capacidad térmica ha disminuido un 15% o menos.

Se puede utilizar una alarma de sobrecarga de manera inmediata para alertar al operador. Esto puede ser útil para sistemas que no tienen antecedentes con sobrecargas. Una sobrecarga inmediata indica un punto de ajuste, el cual también es útil.

SOBRECALENTAMIENTO

El sobrecalentamiento por causas diferentes a la resistividad, como es el calentamiento debido a la corriente que no puede ser detectada por métodos de modelos de capacidad térmica, sólo sensan la corriente. Para detectar los efectos de calentamiento del motor, debido a que la ventilación está bloqueada, a las altas temperaturas ambientales u otras causas imprevistas, se registran (sensan) las temperaturas directas si es necesario. La temperatura crece bajo este tipo de condiciones lo suficientemente lento, para permitir sensar con exactitud la temperatura actual del motor. En el relevador 239, la entrada para medir la temperatura del motor a través de un termistor es estándar.

Para una protección más precisa, se localizan tres RTDs en el estator y/o cojinetes que pueden conectarse al relevador 239 cuando se ordena la opción de temperatura del RTD. Esto proporciona despliegue de temperaturas también en forma de alarma y la colocación para ambas posiciones y RTDs del estator.

ROTOR BLOQUEADO

El atascamiento mecánico FLC recoge y retrasa el tiempo, estas funciones se encuentran igualmente disponibles para ayudar a prevenir daño cuando se bloquea el motor durante el funcionamiento.

CAPACIDAD TÉRMICA

El 239 utiliza una memoria electrónica exacta basada en un método de corrientes del motor así como en algoritmos de integración de tiempo para determinar la capacidad térmica utilizada. Una alarma para la capacidad térmica está disponible, para disparar una alarma audible, cuando el usuario programe el punto de ajuste si éste es excedido.

UNA FASE (DESBALANCEO)

El desbalance de tres fases, suministra voltajes que son la mayor causa que induce un daño térmico del motor. Aunque las corrientes inducidas en el rotor pueden ser altas, el incremento de corriente en el estator es mucho menor, el tiempo de protección de sobrecorriente toma un largo tiempo de viaje. Para prevenir un daño extenso del rotor se puede usar un a protección de desbalance.

El relevador 239, tiene una función de protección contra desbalance, con un nivel de desbalance, es decir, un tiempo de retraso que puede mandar un disparo o una alarma.

FALLA A TIERRA

El envejecimiento y el ciclo térmico pueden causar que el aislamiento del motor se rompa. Esto puede producir fallas a tierra. Las fallas a tierra pueden ocurrir en motores provocadas por las condiciones ambientales como la humedad o polvo conductor. El relevador 239, puede mandar un disparo o una alarma si el nivel de

tierra elegido es excedido. Igualmente se puede ingresar un tiempo de retraso para la coordinación de sistemas con diferentes niveles de detección de falla a tierra.

CORTOCIRCUITO DE FASE

Con esta característica, se proporciona la protección completa de fallas de fase a fase y de fase a tierra. La función puede causar un disparo o puede activar un relevador auxiliar. Esta función puede ser instantánea o puede tener un retraso por encima de los dos segundos.

BAJA CORRIENTE

La función de protección contra baja corriente es utilizada normalmente para proteger bombas, de pérdida de succión; ventiladores, de pérdida de flujo de aire debido al cierre del ducto; o en sistemas transportadores, de una ruptura de banda. Esta función puede ser usada como una alarma, un disparo, o ser deshabilitado si no es requerido.

De manera alterna, esta característica puede ser utilizada como una advertencia previa a la sobrecarga. Esto puede ser perfecto para recoger la baja corriente por la carcasa y estar por encima de la operación normal de la corriente del motor, pero por debajo del rango de la corriente a plena carga. En este caso, la función de sobrecorriente puede mandar una señal durante la operación normal que se puede detener si la corriente de operación se incrementa por encima del nivel normal.

MEDICIÓN

Los valores de medición incluyen:

- ❖ Corriente de fase
- ❖ Corriente de tierra

- ❖ Desbalance
- ❖ % de corriente a plena carga (como cierre de sobrecarga)
- ❖ Capacidad térmica utilizada (como cierre de disparo)
- ❖ Temperatura del estator (opción RTD)
- ❖ Temperatura de cojinetes

MOTORES DE VELOCIDAD MÚLTIPLE

Los parámetros alternos pueden ser activados para la protección de motores de velocidad múltiple, a través del uso de un(os) interruptor(es). Esto permite grupos adicionales de puntos de ajuste.

- ❖ TC primario de fase
- ❖ Corriente a plena carga
- ❖ Curva de sobrecarga
- ❖ Disparo para cortocircuito

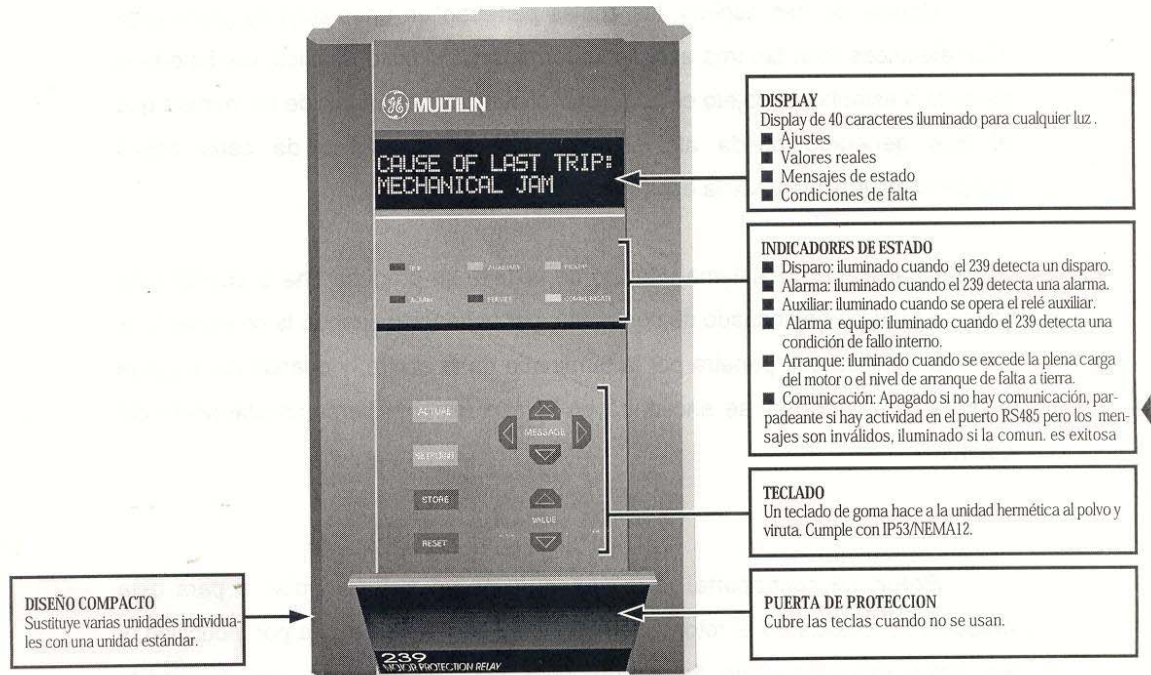
OPCIÓN DE SALIDA ANÁLOGA

La opción de salida análoga proporciona un apartado 0-1, 0-20, 4-20mA de señal para la interfase a un PLC. Una salida simple que puede ser monitoreada continuamente puede ser seleccionada como: promedio de corriente de fase, % del motor a plena carga, capacidad térmica utilizada, o temperatura RTD.

Para operar un monitoreo local, un medidor de capacidad térmica (TCS2) es útil para usar con esta salida. Usualmente la información, tanto el proceso de carga, como el cierre del motor para disparar o sobrecalentar pueden también ser obtenidas con esta salida.

CARACTERISTICAS

Vista Frontal



Vista Trasera

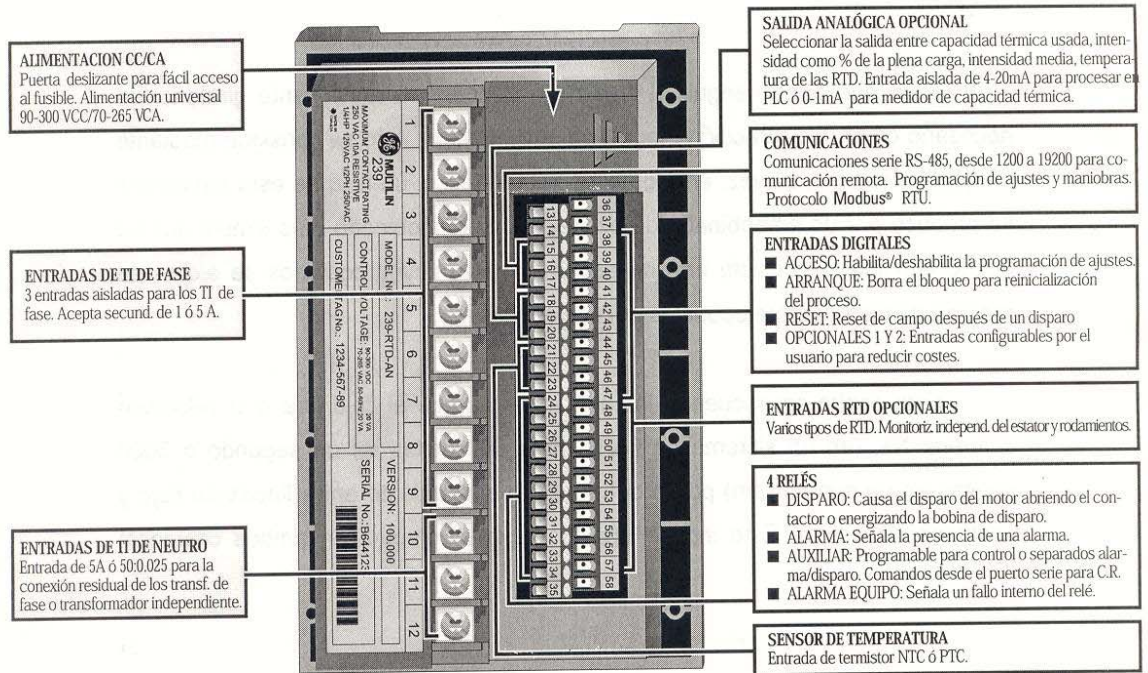


Figura 34. Características del relevador multifunción General Electric, mod. 239 para motores de baja y media capacidad.

DIAGNÓSTICO DE FALLA

Las causas de disparo junto con los valores de corriente limitados, desbalance y temperatura presentes al tiempo del disparo son desplegadas después del disparo. Con esta información, la causa y acción del problema pueden ser determinadas rápidamente. La grabación de las últimas 5 causas de disparo ayudan a identificar un problema persistente como podría ser un sobrecalentamiento en el cojinete.

Las funciones de alarma incluyen una advertencia inmediata de sobrecarga, desbalance, baja corriente y verificación de falla interna. Con frecuencia, una alarma puede generar una acción correctiva rápida, que será tomada antes de que ocurra el disparo, el cual podría detener el proceso.

PRUEBAS

Mientras no es requerida la calibración periódica, el led indicador de recuperación es utilizado durante una verificación de rutina para indicar el punto de sobrecarga de fase o tierra. Un modo de simulación que también es útil, es el que activa simulaciones de corriente para ser utilizadas sin que se necesite una prueba del relevador. Esto es ideal para la verificación de las carcassas y entrenamiento.

COMUNICACIÓN

Con la utilización en la industria del protocolo RTU Modbus estándar con una interfase RS485 de hardware de dos cables, el relevador 239 puede ser conectado a la mayoría de tipos de PLCs y computadoras. Los detalles completos son útiles para la programación del 239 para comunicarse con este diseño. Esto permite que cualquier valor monitoreado, estados y puntos de ajuste sean accesados de manera remota por un sistema de control distribuido en la planta, o ejecutar el software SCADA en una computadora personal. La operación correcta de los puertos de comunicación es verificada por el led indicador en el frente del panel. Se proporciona el 239PC para una fácil programación en una computadora personal y se ejecuta en ambiente Windows.

El relevador de protección proporciona la protección y el monitoreo de motores de baja y media potencia. Esto incluye:

- ❖ Modelo térmico de sobrecarga (51) I^2t
- ❖ 15 curvas de sobrecarga
- ❖ Cierre térmico para prevenir un disparo de reestablecimiento (reset) después de un disparo de sobrecarga
- ❖ Detección de altas temperaturas en el devanado utilizando un termistor (49) o un sensor RTD opcional (49/38)
- ❖ Desbalance/una fase (46)
- ❖ Disparo rápido/atascamiento mecánico
- ❖ Cortocircuito de fase (50)
- ❖ Falla a tierra (50N/50G)
- ❖ Rotor bloqueado (48)
- ❖ Protección contra baja corriente (37) para aplicaciones tales como en bombas

La protección del motor durante la aceleración será independiente de la protección de operación.

Cuatro relevadores pueden ser aprovechables para disparo, alarma, servicio y auxiliador programable.

Las funciones de medición y monitoreo incluyen una salida análoga opcional apropiada para interfase con PLC.

La grabación de fallas incluyendo la causa de los disparos y valores medidos ayudan en el diagnóstico de falla. Las causas de los últimos 5 disparos también son grabadas. Un modo de simulación es útil para probar el relevador sin entradas externas. La medición incluye:

- ❖ Corrientes de fase
- ❖ Corriente de tierra
- ❖ Desbalance

- ❖ % a plena carga
- ❖ Capacidad térmica usada por el motor
- ❖ Temperatura del estator (opción RTD)
- ❖ Temperatura de cojinetes (opción RTD)

DIAGRAMA UNIFILAR

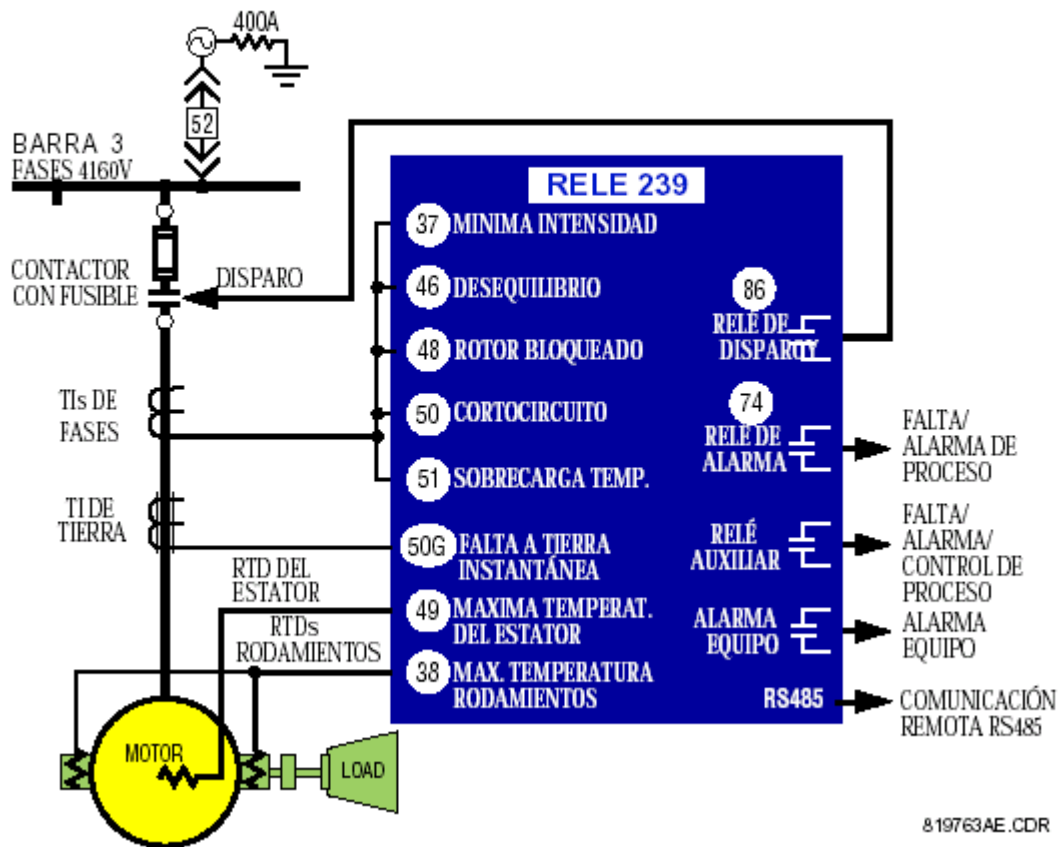


Figura 35.

IV.6.- RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA MOTORES DE MEDIA Y ALTA CAPACIDAD

Fabricante: General Electric

Modelo: 469



Figura 36. Relevador multifunción General Electric, mod. 469 para motores de media y alta capacidad.

DESCRIPCIÓN

El relevador para motor 469, está diseñado para la protección y manejo de motores de media y alta capacidad. La protección del motor, el diagnóstico de falla, la medición de potencia y las funciones de comunicación están integradas en un paquete económico.

El 469, integra todas las funciones de protección que pueden ser necesarias para los motores de media y alta capacidad.

El núcleo del 469 es un modelo térmico. En suma, los elementos de protección de corriente y entradas RTD están diseñadas para la protección de la temperatura de los cojinetes y del estator. La suma de las entradas del TP, otorgan elementos de protección para voltaje y potencia. Las entradas de fase diferenciales del TC están provistas para la protección de fase diferencial. Todos los elementos de protección están autocontenidos y pueden ser habilitados según sean requerido. Este diseño hace al 469 fácil de programar.

El 469 tiene funciones completas de monitoreo y medición. Un evento es grabado y almacenado cada 40 ciclos e imprime la fecha. El 469, conoce el tiempo de aceleración, la corriente de arranque y la capacidad térmica requeridos durante el arranque del motor. Si la carga del motor durante el arranque es relativamente constante, estos valores se pueden utilizar para encontrar el ajuste de la protección de aceleración. El 469, también puede conocer el promedio de la carga del motor sobre un periodo determinado. Una característica poderosa de simulación de pruebas de funcionalidad y respuesta del relevador son proporcionadas sin necesidad de entradas externas.

CARACTERÍSTICAS

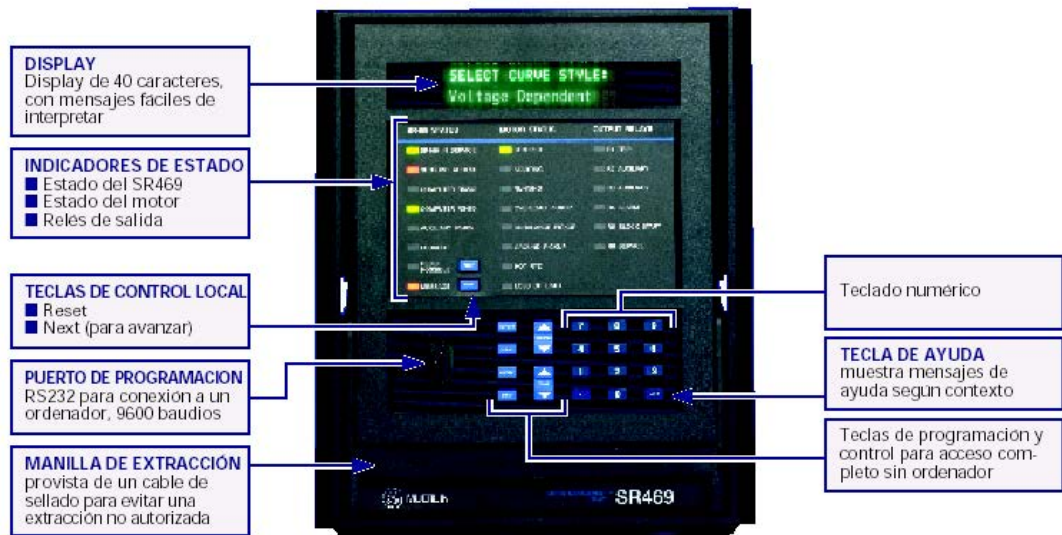


Figura 37. Características del relevador multifunción General Electric, Mod. 469 para motores de media y alta capacidad.

PROTECCIÓN

MODELO TÉRMICO DEL MOTOR

La función primaria de protección del 469 es el modelo térmico. Éste consiste en cuatro elementos clave:

- ❖ Curvas de sobrecarga
- ❖ Desbalance perjudicial
- ❖ Compensación frío/calor del motor
- ❖ Constantes de tiempo de enfriamiento del motor

CURVAS DE SOBRECARGA

La curva de sobrecarga del 469 puede tener uno de los tres formatos: estándar, de uso o de curvas de voltaje dependiente. Para todos los estilos de las curvas el 469 retiene memoria térmica en un registro de capacidad térmica, usando registros, los cuales son actualizados cada 0.1 segundo. La sobrecarga monitoreada determina el lugar en el que empieza a correr la curva de sobrecarga.

Las curvas de sobrecarga del 469, consisten en una forma de curva estándar con valores multiplicados de 1 a 15.

El 469 permite al usuario crear su propia curva. Esto puede ser de gran utilidad cuando el límite de curvas térmicas dadas por el fabricante tiene dos partes diferentes, una para la sobrecarga de operación y otra para las condiciones de rotor bloqueado. En tales casos las curvas se igualan en una curva homogénea que no deja suficiente espacio para el arranque del motor. Cuando arranca con una gran inercia de carga, el tiempo de aceleración del motor puede exceder el tiempo de desaceleración.

El voltaje del 469 depende de las características de curva de sobrecarga que han sido proporcionadas para proteger este tipo de motores. El voltaje es monitoreado constantemente durante el arranque del motor y en consecuencia, se ajusta el límite de la curva térmica de aceleración. Una curva de aceleración es creada para ambas líneas de voltaje: el límite inferior y el límite superior. Entonces, el 469 monitorea la línea de voltaje y mueve la curva de protección de aceleración entre las dos.

Este método de protección cuenta de manera inherente para el cambio en la velocidad del motor como una impedancia del motor. El cambio en la impedancia es reflejado por la terminal de voltaje del motor y la línea de corriente.

DESBALANCE (CORRIENTE DE SECUENCIA NEGATIVA)

La corriente de secuencia negativa, la cual tiene una rotación de fase que se opone a la corriente de secuencia positiva y al giro del rotor, generará un voltaje en el rotor que producirá una corriente substancial en éste. Esto causará un incremento

significativo en la temperatura del rotor. Este incremento en la temperatura no se encuentra en los límites de la curva térmica suministrada por el fabricante del motor, como aquellas curvas que asumen un balance perfectamente suministrado y el diseño del motor que solo resulta en corrientes de secuencia positiva.

La capacidad de desbalance del 469 está en proporción a la corriente de secuencia negativa a positiva. El modelo térmico está basado en el reflejo del calor adicional, que es provocado por la corriente de secuencia negativa cuando el motor está operando. El reductor de capacidad nominal del motor, debido a la corriente de desbalance, puede seleccionar por medio del punto de desbalance un factor k.

COMPENSACIÓN FRÍO/CALOR DEL MOTOR

El 469, tiene la única característica para la protección del motor basada en la información del daño térmico de frío/calor proveniente del fabricante. Dos partes de la curva están construidas usando tres puntos:

- ❖ Polarización negativa mínima del RTD: si el RTD mínimo del estator está por debajo de este punto, no tiene lugar una polarización negativa (40° típicamente).
- ❖ Polarización negativa máxima del RTD: si la temperatura máxima del RTD del estator está por encima de ese punto de ajuste en la memoria térmica, es completamente polarizado en forma negativa y la capacidad térmica es forzada a usarse al 100% (esto es típicamente la clasificación del aislamiento del estator)
- ❖ Punto central de polarización negativa del RTD: el punto central de la temperatura y los valores de la capacidad térmica utilizados son la velocidad con que se incrementa la temperatura en operación y el valor es determinado por la proporción frío/calor reservada, respectivamente.

Los valores entre el máximo y el mínimo de polarización negativa del RTD, de la capacidad térmica presente utilizada, creada por la curva de sobrecarga, es comparada con la capacidad térmica de polarización negativa del RTD. Si el valor usado por la

capacidad térmica de polarización negativa del RTD es el más alto, este se aplica para el punto de avance.

CONSTANTES DE TIEMPO DE ENFRIAMIENTO DEL MOTOR

El valor de capacidad térmica utilizado del 469 es reducido exponencialmente, cuando la corriente del motor está abajo del punto de ajuste de sobrecarga. Esta reducción simula un enfriamiento del motor. Las constantes de tiempo de enfriamiento del motor están programadas para ambos casos: de funcionamiento y paro, puesto que al pararse, el motor se enfriará más lentamente que durante su funcionamiento. El enfriamiento actual del motor es exponencial, el modelo térmico marcará los ciclos de calentamiento y enfriamiento del motor exactamente y siempre proveerá una protección óptima.

PROTECCIÓN Y CONTROL

El 469 contiene un amplio rango de selecciones habilitadas, contiene protección propia y elementos de control como se detallan en la siguiente tabla.

El 469 también tiene la habilidad de aprender el tiempo de aceleración del motor, la corriente de arranque y la capacidad térmica.

ANSI	DESCRIPCIÓN	T	A	B	C
51	Sobrecarga	•	•	•	
86	Bloqueo por sobrecarga			•	
66	Arranque/horas y tiempo entre arranques			•	
	Bloqueo de reinicio			•	
50	Cortocircuito y regreso de cortocircuito	•		•	
	Atascamiento mecánico	•		•	
37	Sobrecorriente/sobrepotencia	•	•	•	
46	Desbalance de corriente	•	•	•	

50G/51G	Falla a tierra y regreso de falla a tierra	•	•	•	
87	Diferencial	•		•	
	Aceleración	•		•	
49	Estator RTD	•	•	•	
38	Cojinetes RTD	•	•	•	
	Otro RTD y RTD ambiental	•	•	•	
	Abertura de alarma RTD		•		
	Corto/lento RTD		•		
27/59	Bajo voltaje/sobrevoltaje	•	•	•	
47	Inversa de fase	•		•	
81	Frecuencia	•	•	•	
	Potencia reactiva	•	•	•	
55/78	Factor de potencia	•	•	•	
	Entrada analógica	•	•	•	
	Alarma de demanda: A kW kVAR kVA		•		
	Autoprueba SR469, servicio		•		
	Supervisión de devanados		•		
	Contactador soldado		•		
	Ruptura de falla		•		
	Interruptor remoto	•	•	•	
14	Interruptor de velocidad y tacómetro	•	•	•	
	Interruptor de pérdida de carga	•		•	
	Interruptor de presión	•	•	•	
	Interruptor de vibración	•	•	•	
19	Reducción de voltaje de arranque				•
48	Secuencia incompleta	•		•	
	Arranque/paro remoto				•
	Sobretorque		•	•	

Donde:

T = disparo

A = alarma

B = bloque de inicio

C = control

NUEVAS CARACTERÍSTICAS

Entre las características agregadas del 469, están incluidas: la protección y medidor de torque, salidas de pulsaciones, entradas diferenciales análogas para manejadores de motor dual y término medio para la carga cíclica para motores recíprocos.

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

Sobre los requerimientos del 469 podemos decir que también puede ser programado con las siguientes modificaciones: auto-reestablecimiento de bajo voltaje y un sistema de detección experimental de barra de rotor rota.

ENTRADAS Y SALIDAS

ENTRADAS DE CORRIENTE Y VOLTAJE

El 469, tiene tres entradas de TC trifásicos. Un TC de tierra proporciona una detección sensible de fallas de tierra o fuga de éstas. Están provistas tres entradas de TC por protección de fase diferencial. Las entradas del TP están proporcionadas para numerosas características de protección con base en cantidades de potencia y de voltaje.

ENTRADAS RTD

El 469 tiene 12 campos programables de RTDs. Estos normalmente son utilizados para estator, cojinetes, ambiente y monitoreo de otra temperatura.

ENTRADAS DIGITALES

El 469, tiene 9 entradas digitales, 5 de las cuales están previamente definidas y 4 son asignables. Las cuatro entradas asignables pueden ser configuradas para cualquiera de las catorce funciones diferentes o pueden ser apagadas.

ENTRADAS ANALÓGICAS

El 469, tiene cuatro entradas analógicas. Pueden ser usadas para monitorear cualquier cantidad externa, tales como la vibración, presión, flujo, tacómetros, etc.

RELEVADORES DE SALIDA

El 469, tiene seis relevadores de salida. Cuatro de estos relevadores están asignados al disparo, alarma, bloque de arranque (para prevenir arranques que pueden resultar en disparo inmediato o para funciones de bloqueo), y servicio (para una falla interna o pérdida de potencia). Dos relevadores auxiliares que pueden ser programados para numerosas funciones, tales como eco de disparo, eco de alarma, regreso de disparo, alarma de diferenciación, circuitos de control; en resumen, para forzar una característica de relevador de salida.

SALIDAS ANALÓGICAS

Si las salidas analógicas están conectadas a un PLC, el control del proceso de tiempo real, está posiblemente basado en cualquiera de los cuatro parámetros de la capacidad del 469. Si el motor está asignado por disparo por sobrecarga, o por calor, en el estator por ejemplo, el PLC puede reducir la carga, previniendo cualquier pérdida de tiempo.

MONITOREO Y MEDICIÓN

MEDICIÓN

El 469 realiza mediciones de:

- ❖ A, V, W, VAR, Hz y FP
- ❖ W hora, VAR hora, torque
- ❖ Demanda: A, W, VAR, VA pico
- ❖ Temperatura (RTDs)
- ❖ Velocidad (si las funciones del tacómetro están conectadas a una de las entradas digitales)
- ❖ Entradas analógicas

REGISTRO DE EVENTOS

El 469, almacena los registros de eventos del motor y sistemas de información con la fecha y tiempo impresos cada vez que ocurre alguno y puede almacenar hasta 40. Los eventos incluyen todos los disparos, servicios de alarma y no alarma, y cualquier alarma adicional opcional, pérdida y aplicación del control de potencia del 469, re arranque de emergencia, y arranque del motor cuando una función de bloqueo está activa.

OSCILOGRAFÍA

El 469, recolecta datos de 64 ciclos con 12 muestreos por ciclo de forma de onda (I_a , I_b , I_c , I_g , Dif_a , Dif_b , Dif_c , V_a , V_b , V_c) cada tiempo que ocurre un disparo. Los registros se imprimen por fecha y hora.

SIMULACIÓN

El 469, tiene una poderosa característica de simulación para probar la funcionalidad y respuesta del relevador para programar condiciones no necesarias para entradas externas. Se introducen los parámetros de los sistemas de simulación y al ponerlo en el modo de simulación, el 469 suspende la lectura de las entradas actuales y sustituye los valores de simulación. Los pre-disparos y las fallas pueden ser simulados.

PUERTOS DE COMUNICACIÓN

El 469 está equipado con tres puertos de comunicación. El panel frontal del puerto RS232 permite un fácil acceso a la computadora local. Dos puertos RS485 posteriores pueden ser utilizados para comunicaciones remotas, o para conexiones a DCS, SCADA o PLC. Los tres son puertos de soporte de protocolo ModBus[®] RTU. La velocidad de transmisión está configurada a 9600 bps. Todos los puertos de comunicación pueden activarse simultáneamente.

DIAGRAMA UNIFILAR

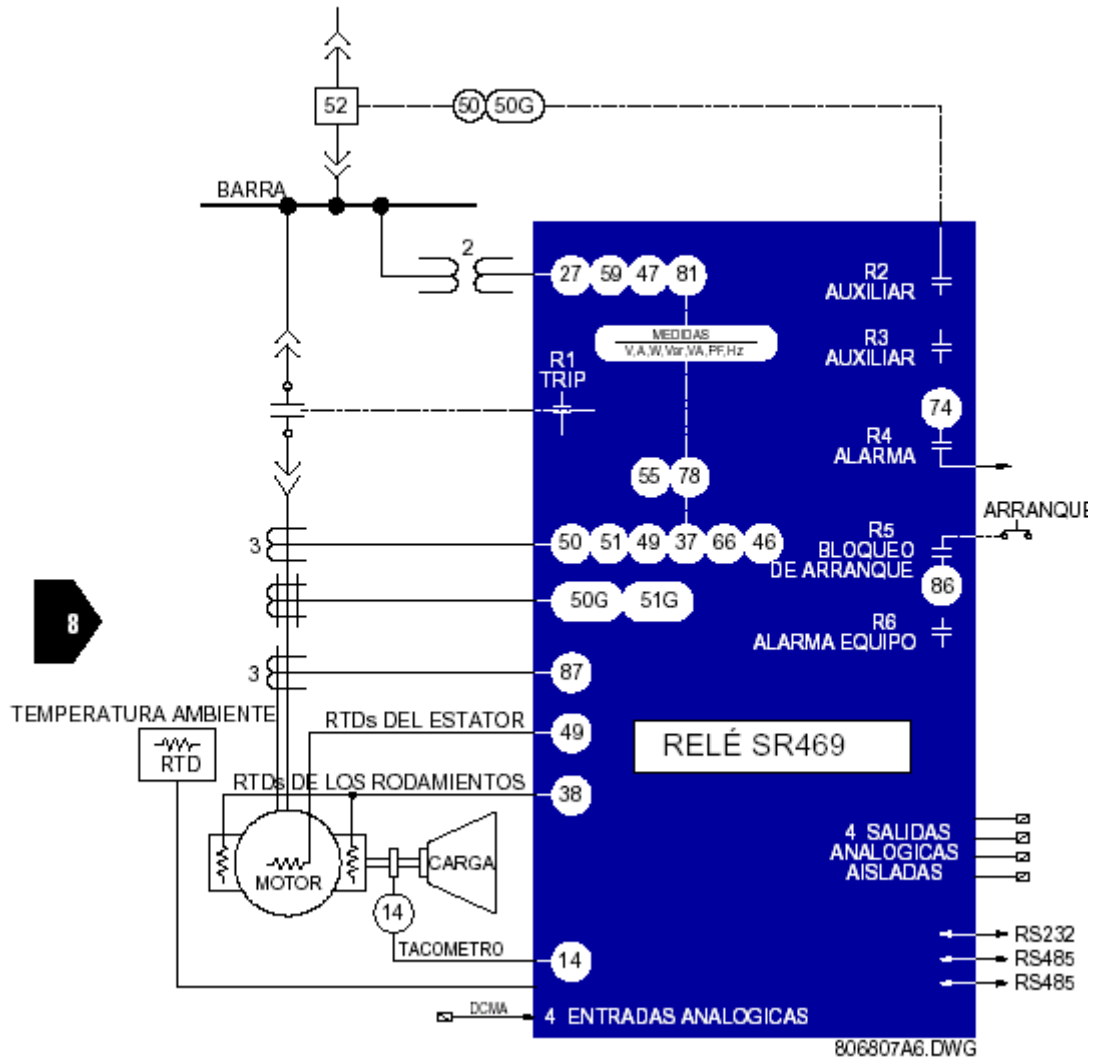


Figura 38.

TEMA V

ESQUEMAS DE PROTECCIÓN

V.1.- PROTECCIÓN DE GENERADORES

Dado al papel especialmente relevante que representan los generadores en la jerarquía de un sistema eléctrico, ya que es el único elemento creador de energía eléctrica como tal, la protección de los mismos requieren de una atención especial. Un generador debe mantenerse en servicio siempre que sea posible, evitando las consecuencias de una falla.

La protección de un generador suele resultar más compleja y sofisticada conforme aumenta la potencia del mismo, pudiendo distinguir entre el tipo de protección que requiere un generador de pequeña potencia o de minicentral eléctrica, de uno de media potencia o de uno de gran potencia. En este apartado, se indicará cuales son las protecciones que están asociadas con un generador en general.

- ❖ **Protección de sobrevoltaje.** Protege al generador cuando se ha desconectado de la red, ocasionada por algún mal funcionamiento del regulador de voltaje o maniobra indebida con el regulador manual. Este tipo de problemas se puede presentar cuando se produce una reducción brusca de carga, con lo que el generador pierde su regulación automática.

Esta protección es de construcción sencilla, pues consta de transformadores de voltaje conectados entre fases (con el fin de evitar la influencia de las sobretensiones de las fases sanas en los defectos a tierra) a la salida del generador, en cuyos secundarios se instalan unos relevadores de sobrevoltaje temporizados en tiempo independiente.

- ❖ **Protección de bajovoltaje.** Cuando se producen cortocircuitos polifásicos en una línea de distribución de media tensión a la que alimenta una minicentral de poca potencia, se sabe que la aportación del generador a la corriente de cortocircuito después del periodo subtransitorio es muy débil, siendo muchas veces insuficiente para provocar el disparo de un relevador de sobrecorriente. Por esta razón es necesaria la presencia, en estos casos, de una protección de bajo voltaje, la cual se instala igual que la protección de sobrevoltaje, solo que utilizando relevadores de mínimo voltaje en lugar de los relevadores de sobrevoltaje.

- ❖ **Protección contra pérdida de excitación (subexcitación).** Una pérdida de excitación suele ser debida a la apertura accidental del interruptor del circuito de excitación o a la presencia de un cortocircuito en el mismo. Cuando se pierde la excitación en un generador síncrono, éste la toma de la red en forma de potencia reactiva, lo que puede ocasionar el calentamiento del mismo, además de suponer una pérdida de la potencia suministrada. Otro riesgo fundamental es que el generador pierde el sincronismo con todas las consecuencias, que con ello supone, para otras máquinas que se hallen conectadas en paralelo.

La protección contra subexcitación se aplica principalmente a grandes turbogeneradores, estando constituida básicamente por una derivación de una resistencia en paralelo con un relevador de mínimo voltaje, y todo ello dentro del circuito de excitación. Si la corriente de excitación disminuye por debajo del mínimo estimado, también disminuirá el voltaje que caiga en la derivación, lo que producirá el disparo del relevador.

- ❖ **Protección diferencial.** La protección diferencial del generador será compensada con el fin de evitar falsas actuaciones en caso de cortocircuitos externos al sistema de protección, ya que los transformadores pueden presentar errores en su respuesta durante el período subtransitorio.

Las posibilidades de configuración de esta protección, para un conjunto de generador-transformador-barras, pueden ser, en orden de mayor a menor potencia del generador, las siguientes: protección diferencial individual, protección diferencial de bloque generador-transformador e individual en barras, protección diferencial de bloque generador-transformador-barras.

- ❖ **Protección contra cortocircuitos entre espiras de una misma fase.** Este tipo de falla se presenta en aquellos generadores que disponen de varios conductores por ranura, como por ejemplo, los generadores en cuyo estator tiene varios arrollamientos en paralelo por fase. La protección a aplicar en estos casos es la protección diferencial.
- ❖ **Protección contra falla a tierra en el estator.** Este tipo de falla es muy frecuente en los generadores, y como consecuencia de una falla prolongada, puede ocasionar un cortocircuito entre espiras. Los sistemas de protección existentes son muy variados, basándose casi todos en la

detección de corriente, en caso de falla, por el neutro del generador. Estos sistemas deben de poseer un filtro contra las corrientes de la tercera armónica que aparecen en los generadores, ya que esta armónica no presenta desfase alguno entre las tres fases, resultando que la suma total es el triple de la corriente de la tercera armónica de una sola de las fases, lo que conlleva que por el neutro retorne esa corriente y provoque un disparo intempestivo de la protección. Un posible sistema para proteger al generador frente a este tipo de falla consistiría en una protección diferencial que compararía la corriente que circula por el neutro con la suma de las corrientes en las tres fases a la salida del generador, consiguiendo así que las corrientes de la tercera armónica ya no provoquen disparos intempestivos.

- ❖ **Protección contra falla a tierra en el rotor.** Este tipo de falla resulta menos problemática que la anterior, sobre todo si se presenta una falla a tierra única en el circuito del rotor, ya que la corriente de falla no tiene camino de retorno. El problema se presenta cuando tiene lugar una segunda falla a tierra, puesto que se tendría una parte del circuito de excitación cortocircuitada. Así pues, la protección debe ser capaz de actuar con la presencia de una falla única, siendo uno de los sistemas más sencillos el de la instalación de una resistencia en paralelo con el arrollamiento del rotor y un relevador de sobrecorriente conectado entre el punto medio de la resistencia y tierra. Cuando se produzca una falla a tierra, se cerrará el circuito a través del relevador y se producirá el disparo pertinente.

- ❖ **Protección contra falla a tierra en la red exterior.** En caso de que se produzca una falla a tierra en la línea de media tensión a la que alimenta el generador, es necesario desconectar el generador para evitar que éste mantenga el arco de la falla. Esta protección se suele aplicar en minicentrales con transformador de neutro aislado (si tuviera el neutro a tierra, se podrían tener unas corrientes elevadas de falla). La instalación se realiza por medio de un transformador de voltaje trifásico para media

con el secundario conectado en delta y en el cual se ha intercalado un relevador de máximo voltaje, con el fin de controlar el voltaje residual, temporizado entre cinco y diez segundos con el objeto de crear una cierta selectividad con otras protecciones que pudieran estar más próximas a la falla.

- ❖ **Protección contra cargas asimétricas.** Una asimetría puede resultar perjudicial para un generador de polos salientes, cuando la diferencia entre la corriente de la fase afectada y la corriente de la fase sana es alrededor de 10 a 15%. En turbogeneradores este margen es mucho más reducido, siendo de aproximadamente 4%. La protección habitual consiste en un sistema de filtrado para obtener la componente de secuencia negativa del sistema trifásico, la cual, si sobrepasa el porcentaje previamente determinado provocará que actúe un relevador de sobrecorriente.

- ❖ **Protección de mínima impedancia en la estrella del generador.** Este tipo de protección es aplicable cuando el generador, en caso de cortocircuito en las proximidades del mismo, no es capaz de aportar un valor elevado de corriente de cortocircuito, suficiente para hacer actuar una protección de máxima corriente. Esta protección toma lectura de voltaje y corriente, por medio de sus correspondientes transformadores de protección, encontrando la impedancia por medio de un relevador de corriente. Es común ajustar el relevador al valor de impedancia del conjunto generador-transformador. Así mismo, se suele incluir una temporización de 0.5 a 1 segundos, con la finalidad de permitir que actúen las protecciones contra cortocircuito que estén instaladas.

- ❖ **Protección de sobrevelocidad.** Se puede producir una sobrevelocidad cuando se desacopla una carga importante del generador, para lo cual se puede utilizar un sistema mecánico de regulación, tal como un dispositivo centrífugo de bolas. También se podrían utilizar relevadores

de voltaje alimentados por un dinotacómetro que les proporciona un valor de voltaje proporcional a la velocidad del generador.

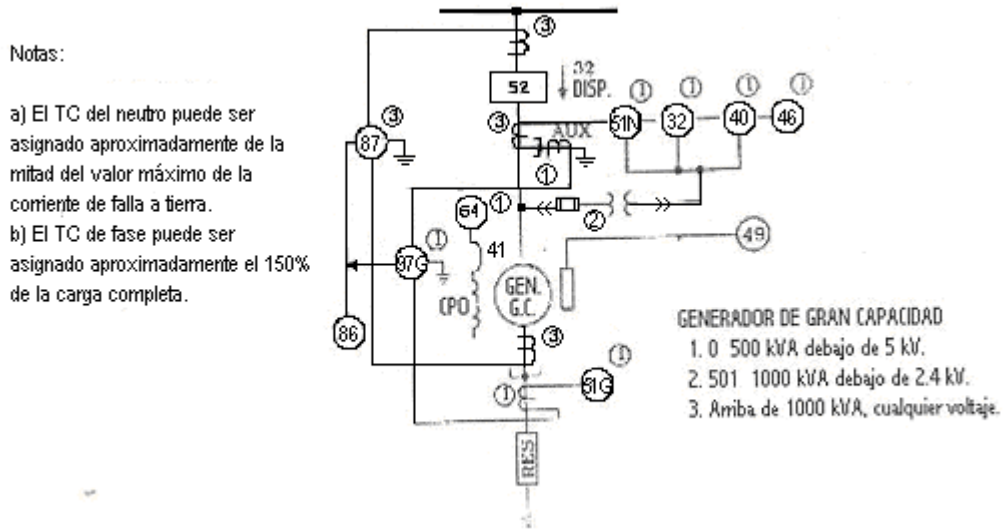


Figura 39. Protección recomendada para generadores de gran capacidad como los que se usan en plantas industriales.

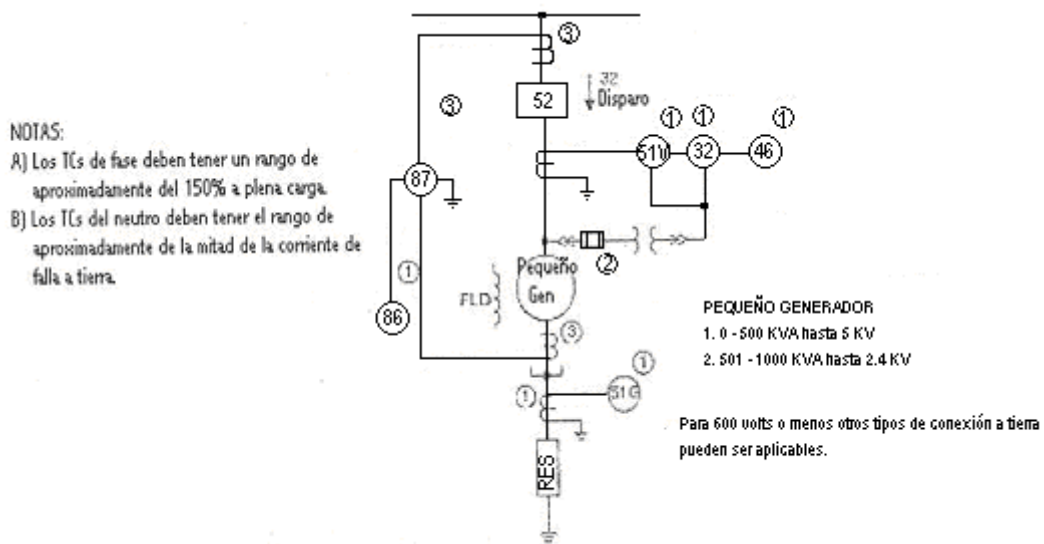


Figura 40. Protección recomendada para generadores pequeños como los que se usan en plantas industriales.

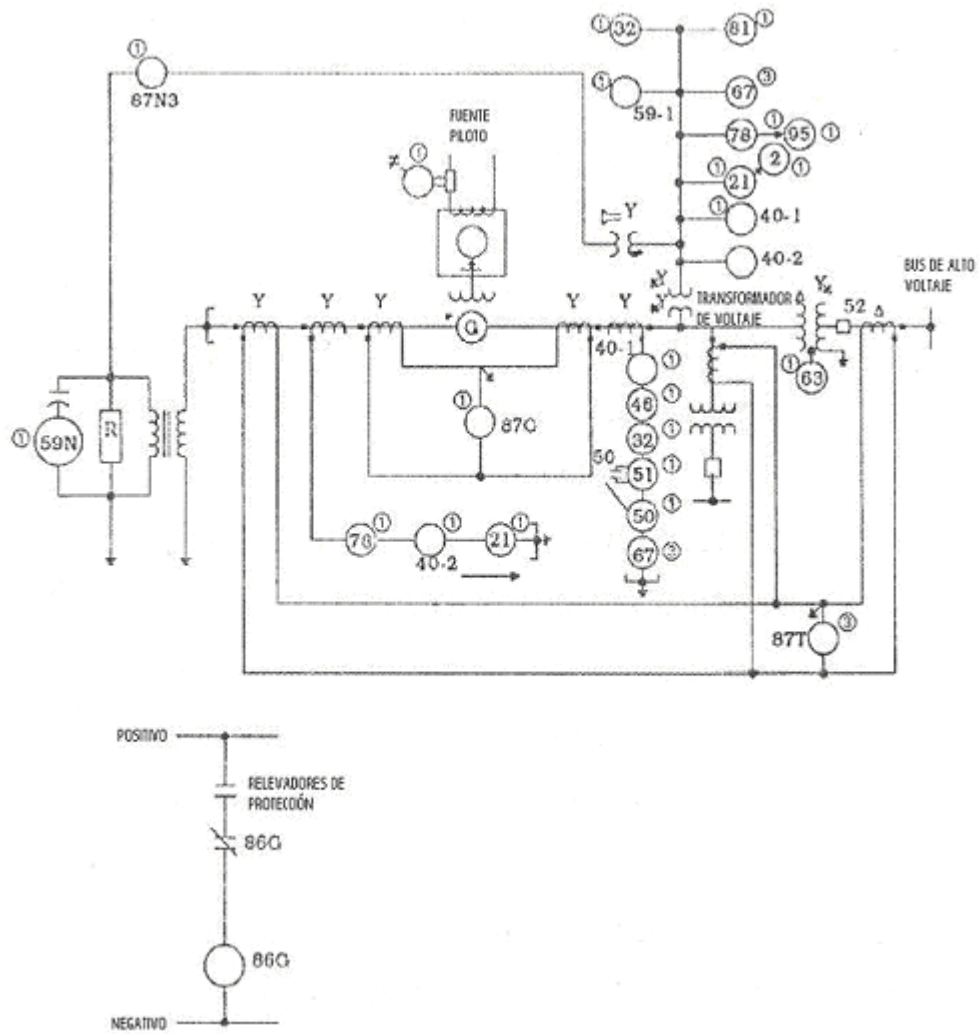
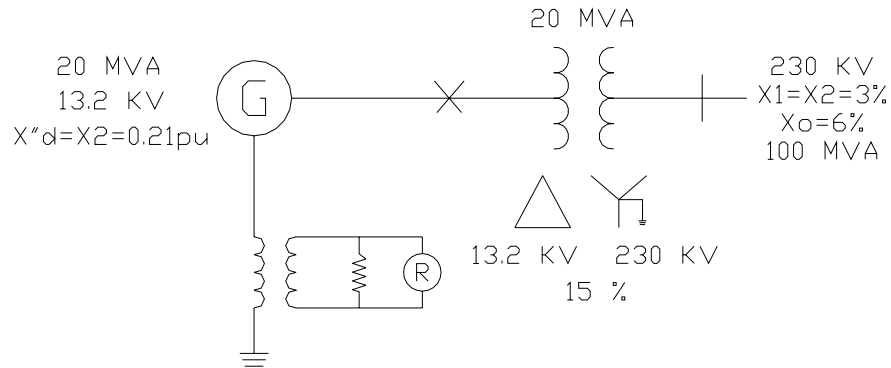


Figura 41. Protección general para tandem compuesto de la unidad de conexión.

Ejemplo:

Se tiene un generador con el siguiente esquema de conexión:



El cual se desea proteger con un relevador multifunción de General Electric mod. 489

Para la protección diferencial se tiene que:

La corriente de máxima carga en el generador es

$$I_G = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13.2} = 874.77 A$$

Esto determina que el TC tendrá una relación RTC = 1000:5

$$I_{SR} = \frac{I_G}{RTC} = \frac{874.77}{\frac{1000}{5}} = 4.37385 A$$

Para calcular la corriente de falla trifásica, se elabora el diagrama de reactancias del sistema:

Para ello se determina como $P_B = 100MVA$

$V_B = 13.2KV$

Para el generador se tiene:

$$X_G = X''_d \times \frac{MVA_B}{MVA_G} \times \left(\frac{KV_G}{KV_B} \right)^2$$

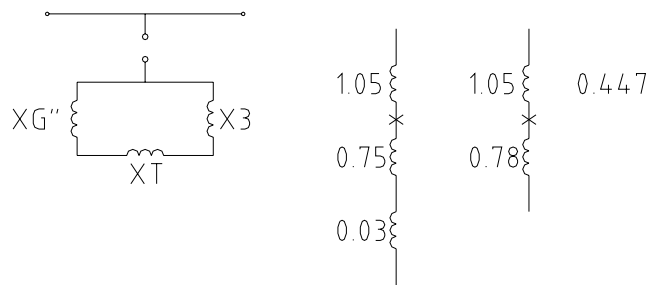
$$X_G = (0.21) \times \left(\frac{100}{20} \right) \times \left(\frac{13.2}{13.2} \right)^2 = 1.05 pu$$

Para el transformador se tiene:

$$X_T = X_{T1} \times \frac{MVA_B}{MVA_T} \times \left(\frac{KV_T}{KV_B} \right)^2$$

$$X_T = (0.15) \times \left(\frac{100}{20} \right) \times \left(\frac{13.2}{13.2} \right)^2 = 0.75 pu$$

Para la línea se tiene $X_L = 0.03 pu$



$$I_1 = \frac{1}{0.447} = 2.237 pu$$

$$I_{F1} = I_{PU} \times I_B$$

Para determinar la I_B se tiene:

$$I_B = \frac{P_B}{\sqrt{3}xV_B} = \frac{100}{(\sqrt{3})x(13.2)} = 4373.86A$$

Lo que determina que la corriente de falla es:

$$I_{F1} = \frac{V_P}{X_{eq}} x I_B = \frac{1.0}{0.447} x 4373.86 = 9784.9A$$

la contribución del generador a la falla es:

$$I_G = \frac{0.78}{0.78+1.05} x 9784.9 = 4170.61A$$

$$I_{SIS} = \frac{1.05}{0.78+1.05} x 9784.9 = 5614.28A$$

los valores de estas contribuciones referidos al secundario de los TC's son:

$$I_G = \frac{I_G}{RTC} = \frac{4170.61}{\frac{1000}{5}} = 20.853A$$

$$I_{SIS} = \frac{I_{SIS}}{RTC} = \frac{5614.28}{\frac{1000}{5}} = 28.071A$$

Para una falla dentro de la zona de protección diferencial, la contribución del generador circula a través de un juego de TC's y la contribución del sistema circula por el otro juego de TC's. Cada bobina de restricción ve su corriente asociada circulando en dirección opuesta y la bobina de operación ve la suma de las dos contribuciones, es decir

$$20.853+28.071 = 48.924A$$

Por lo tanto el relevador diferencial se calibra a esta corriente de falla.

Falla a tierra del estator

Para esta falla se considera que la corriente que pasa por el neutro es muy grande por lo que se agrega un transformador y una resistencia para limitar ese valor.

Para determinar el valor de estos elementos se tiene lo siguiente:

Cálculo del transformador:

Se considera que el voltaje del transformador en alta tensión deberá ser de 1.5 veces el valor nominal de fase a neutro del generador:

$$\text{Si } V_{\text{NOM-GEN}} = 13.2\text{KV}$$

$$V_{FN} = \frac{13.2}{\sqrt{3}} = 7.62\text{KV}$$

$$\therefore 7.62\text{KV} \times 1.5 = \underline{11.43\text{KV}}$$

de los datos del relevador, donde se indica que el voltaje de entrada al neutro tiene una relación de voltaje de 120VCA, se toma una relación de voltaje de un transformador comercial de 12000:120VCA.

Ahora bien, para calcular la resistencia en el neutro del generador, se tiene:

$$R = \frac{1000V_G}{15\sqrt{3}N^2} [\Omega]$$

$$\text{donde } N = \frac{13.2}{0.12} = 110; N^2 = (110)^2 = 12100$$

$$R = \frac{1000 \times (13.2)}{15 \times \sqrt{3} \times 110^2} = \frac{13.200}{314367.22} = 0.042 \Omega$$

Por lo que se determina una resistencia de $R = 0.05 \Omega$

Para calcular la potencia del transformador se tiene:

$$KVA = \frac{1000 \times V_G \times V_T}{\sqrt{3} N^2 R} = \frac{1000 \times 13.2 \times 13.2}{\sqrt{3} \times (110)^2 \times (0.05)} = \frac{174240}{1047.89} = 166.27 KVA$$

Esto da por resultado un transformador de las siguientes características:

200KVA; 13.2:120VCA.

Protección contra secuencia negativa

El calentamiento por secuencia negativa que excede los límites térmicos del rotor da como resultado fallas, estos límites se basan en la siguiente ecuación:

$$k = I_2^2 t$$

Donde:

K = una constante que depende del diseño y tamaño del generador

t = tiempo en segundos

I_2 = valor RMS de la corriente de secuencia negativa en pu

La capacidad de corriente desbalanceada de un generador está definida en ANSI C50.13 (referencias 4 y 5). Esta norma establece que "el generador deberá ser capaz de soportar, sin dañarse, los efectos de un desequilibrio de corriente que corresponde

a una corriente I_2 de secuencia de fase negativa de los siguientes valores, en tanto que no se exceda el KVA nominal y la corriente nominal en ninguna de las fases”.

Procedimiento

Para la corriente a plena carga se tiene:

$$I_G = \frac{20MVA \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13.2KV} = 874.77 A$$

La corriente aplicada al relevador es:

$$I_{Secundaria} = 874.77 \times \frac{5}{1000} = 4.374 A$$

Para el cálculo trifásico se tiene:

$$|I_2| = |I_A| = |I_B| = |I_C|$$

entonces,

$$0.5 \times |I_2| = 0.5 \times |I_{INPUT}|$$

por lo tanto

$$0.5 \times 4.374 = 2.187 A.$$

De tal manera que se aplican 2.187 A de corriente de secuencia negativa al relevador por lo que se ajusta a este valor.

Para determinar el ajuste de inicio de disparo del relevador, se calcula la sensibilidad requerida para asegurar la operación de carga mínima esperada con un polo del interruptor del generador abierto. De esta manera se asume que el valor de la corriente de secuencia negativa bajo estas condiciones es de 0.7 A (secundarios) o de 0.18 pu.

Entonces este valor debe ser considerado como el límite mas alto para el ajuste de disparo del relevador, para ello se utilizará un valor del 12 %.

Debido a que $(I_2)^2 t = K$ establece los límites de operación

entonces:

$$t = 25 / 0.12^2 = 1736 \text{ segundos}$$

Para verificar el cálculo, se determina el tiempo requerido para una falla de fase a fase.

Si se asume que la corriente de secuencia negativa es 7.41 A

entonces:

$$7.41 / 4.374 = 1.694 I_2 \text{ pu}$$

$$(1.694)^2 t = 25$$

$$t = 25 / 2.87 = 8.71 \text{ seg.}$$

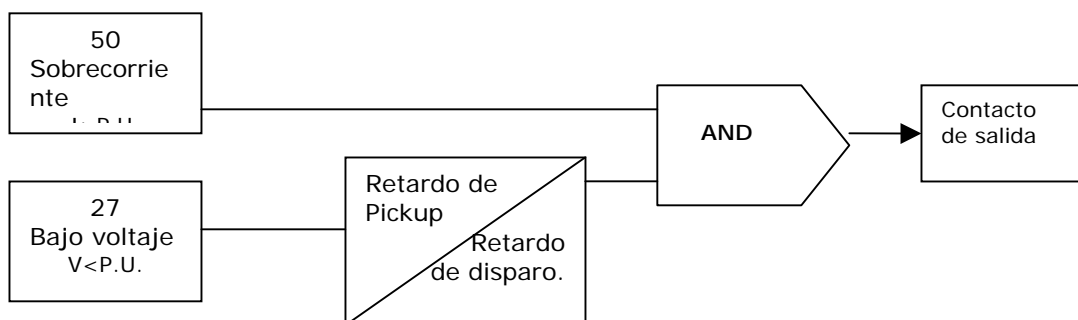
Por lo tanto el ajuste real del relevador de secuencia negativa tiene, en este caso, un valor de 1.694 pu y activa las condiciones de alarma del relevador en 8.7 segundos.

Protección contra sobrevoltaje

El relevador que se utiliza está diseñado para ser sensible al voltaje de frecuencia fundamental, pero insensible a voltajes de tercera armónica y otros voltajes de armónicas de secuencia cero presentes en el neutro del generador. Normalmente el relevador de sobrevoltaje tiene un ajuste mínimo aproximado de disparo de 5 V sobre el voltaje de operación.

Protección contra la energización inadvertida del generador

Cuando un generador es energizado de manera inadvertida funciona como un motor de inducción. Durante la energización trifásica de un generador que está detenido, se induce en el rotor un flujo rotativo a frecuencia síncrona. La corriente resultante del rotor es forzada en itinerarios subtransitorios en el cuerpo del rotor y los devanados, similares a las corrientes de secuencia negativa del estator durante el funcionamiento monofásico del generador. Se produce un rápido calentamiento del rotor, que lo puede dañar en muy poco tiempo, razón por la cual es tan importante este tipo de protección. Lo anterior da como resultado que el esquema de protección del generador para este tipo de fallas sea el siguiente:



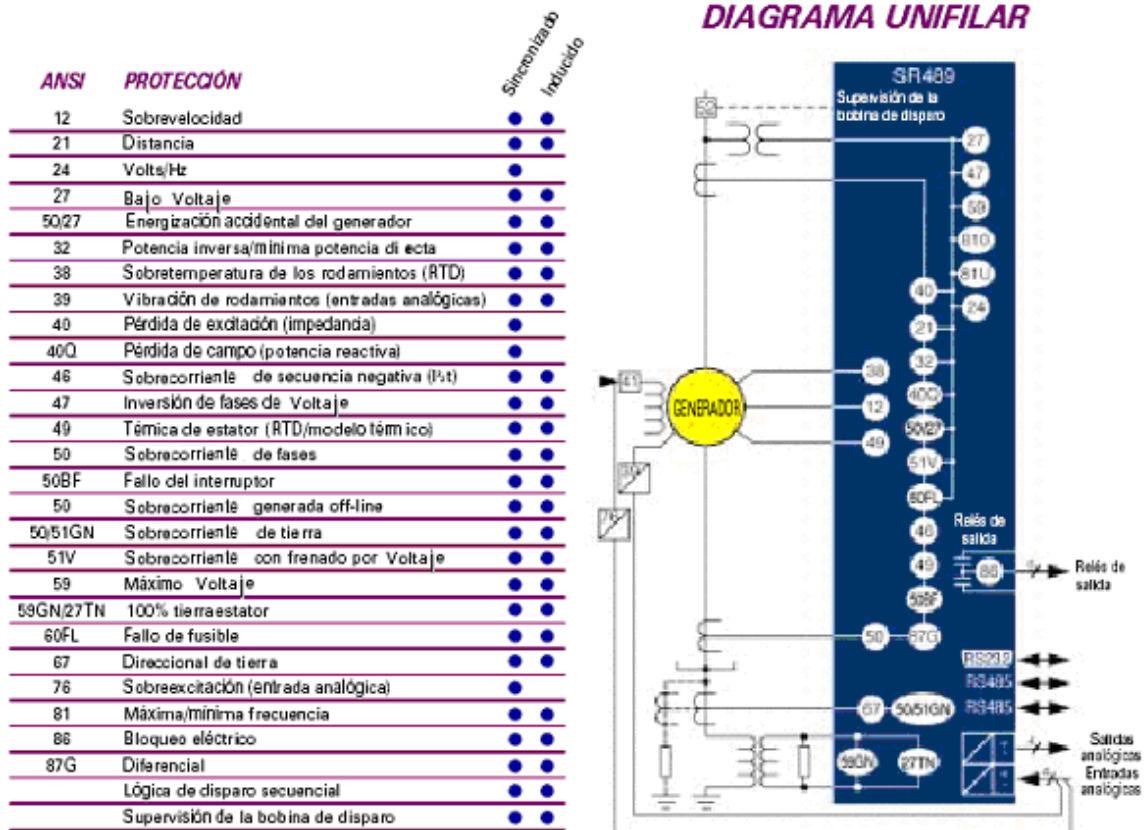
Un elemento de bajo voltaje con retardos ajustables de tiempo supervisa un relevador de sobrecorriente al sacarse de línea al generador. Al devolverse la máquina al servicio, el detector va a desactivar el relevador de sobrecorriente.

La configuración anterior está incluida en el relevador multifunción de manera interna, por lo que sólo es necesario fijar los valores antes mencionados ya calculados y hacer las conexiones debidas.

Protección contra fallas de operación, secuencia inversa

La protección de secuencia inversa se refiere a la condición en la que el generador se comporta como un motor, ya que la dirección de la potencia es inversa al sentido en condiciones normales del generador. Este relevador funciona y efectúa la

medición comparando dos cantidades en módulo y fase: corriente y voltaje. La regulación angular entre el voltaje y la corriente de fase está condicionada por la dirección del vector resultante. Por lo que se determina que la protección de secuencia inversa está implícita en las conexiones internas del relevador y éste determina por sí mismo el sentido de la potencia en el generador.



V.2.- PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

La protección de un transformador de potencia resulta más simple que la de un generador, debido al carácter estático del primero. Además, los transformadores actuales poseen una técnica constructiva tan elevada que resulta ser uno de los elementos más confiables de un sistema eléctrico.

A continuación se enumeran las protecciones más frecuentes para transformadores cuya potencia sea igual o superior a 5 MVA, ya que la protección de transformadores de menor potencia se realiza con base en fusibles, como protección contra cortocircuitos para detectar sobrecargas.

- ❖ **Protección primaria contra sobretensiones.** Consiste en una correcta coordinación de aislamiento. Los transformadores y el resto de la red corresponden a un nivel superior de aislamiento, mientras que los apartarrayos corresponden a un nivel inferior. La instalación de los apartarrayos se efectuará en cada línea que se encuentre conectada a la instalación y, si la distancia de dichos apartarrayos al transformador es elevada, se instalarán otros apartarrayos lo más cerca posible a los bornes del transformador. Por lo general y por razones económicas, se suelen instalar los apartarrayos en bornes de los transformadores y no en las líneas.

- ❖ **Protección Buchholz.** Este tipo de protección se instala en transformadores de baño de aceite y es capaz de detectar defectos de aislamiento interno, rotura de conductores, calentamiento excesivo del núcleo y sobrecargas en la parte interna de los bornes del transformador.

- ❖ **Protección contra sobrecargas.** Esta protección está basada en la combinación de un relevador de sobrecorriente y un control de temperatura del aceite del tanque.

- ❖ **Protección diferencial.** Se utiliza una protección diferencial compensada que suele englobar el transformador, incluyendo un regulador de voltaje en el secundario (si este existiera). Esta es una protección rápida y selectiva contra fallas internas. En el momento de diseñar esta protección hay que tener en cuenta que las corrientes en ambos lados del bloque de transformación tienen magnitudes diferentes e incluyen un desfase entre ambas, siendo necesario compensar estas diferencias con base de la elección adecuada de una relación de transformación en los transformadores de corriente y de instalar transformadores auxiliares intermedios para corregir el desfasamiento.

- ❖ **Protección diferencial del neutro.** Cuando la corriente de falla a tierra está limitada, puede suceder que la sensibilidad de la protección diferencial del bloque de transformación no sea suficiente para detectar la corriente de falla. Por esta razón, se utiliza una protección diferencial que compara la suma de la corriente de las tres fases con la corriente del neutro conectado a tierra del transformador.

- ❖ **Protección de la carcasa del transformador.** Esta protección controla la corriente de falla entre la carcasa del transformador y su conexión a tierra, en caso de falla interna del mismo. Muchas veces, la falla puede ser producida por la ruptura de alguna línea, o por accidentes laborales o humanos que pongan en contacto algún elemento energizado con la carcasa del transformador. Otras veces, la falla puede ser provocada por la presencia de animales (que pueden poner en contacto un borne o barra en tensión con la carcasa del transformador). La falla se detectará por medio de un transformador de corriente instalado en el conductor de protección de tierra de la carcasa.

- ❖ **Protección de sobrecorriente.** Su misión es la protección del transformador frente a fallas externas. En el lado de alta tensión se instala un relevador de sobrecorriente de tiempo inverso, mientras que en el lado de media tensión, que suele estar conectado en estrella, se instala un relevador de sobrecorriente en el propio neutro que posea selectividad con las protecciones de sobrecorriente de la salida de media tensión.

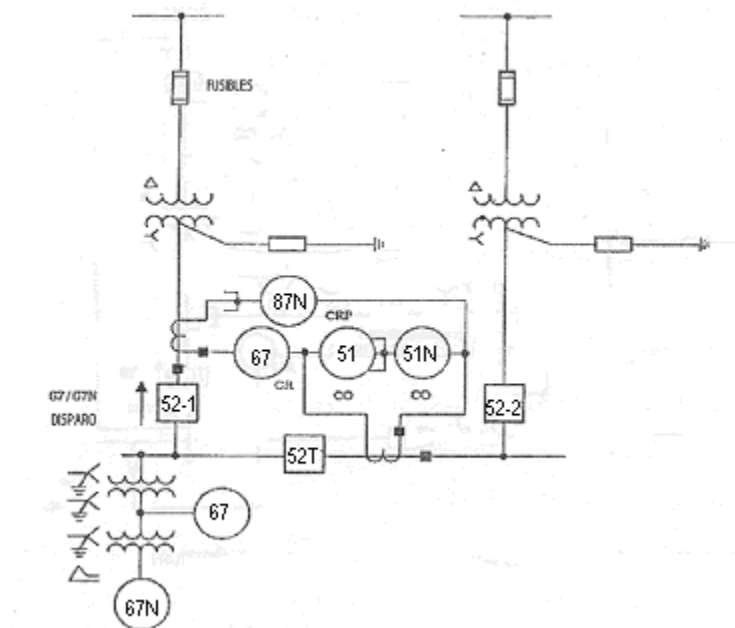


Figura 42. Protección paralela del transformador con fusibles primarios.

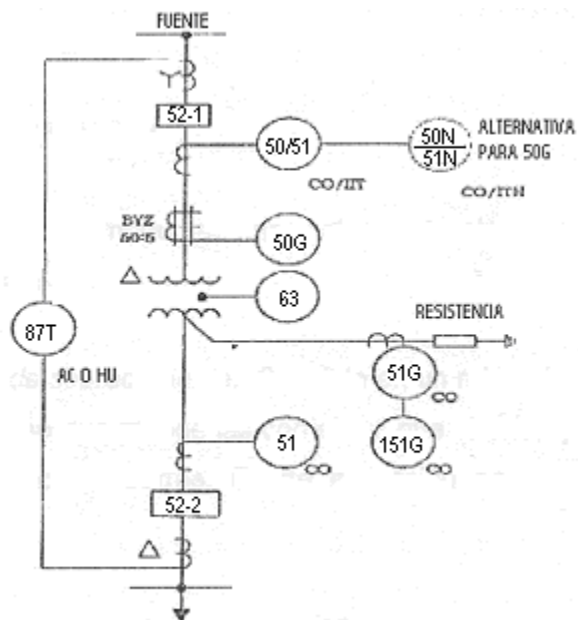


Figura 43. Protección del transformador con interruptor primario.

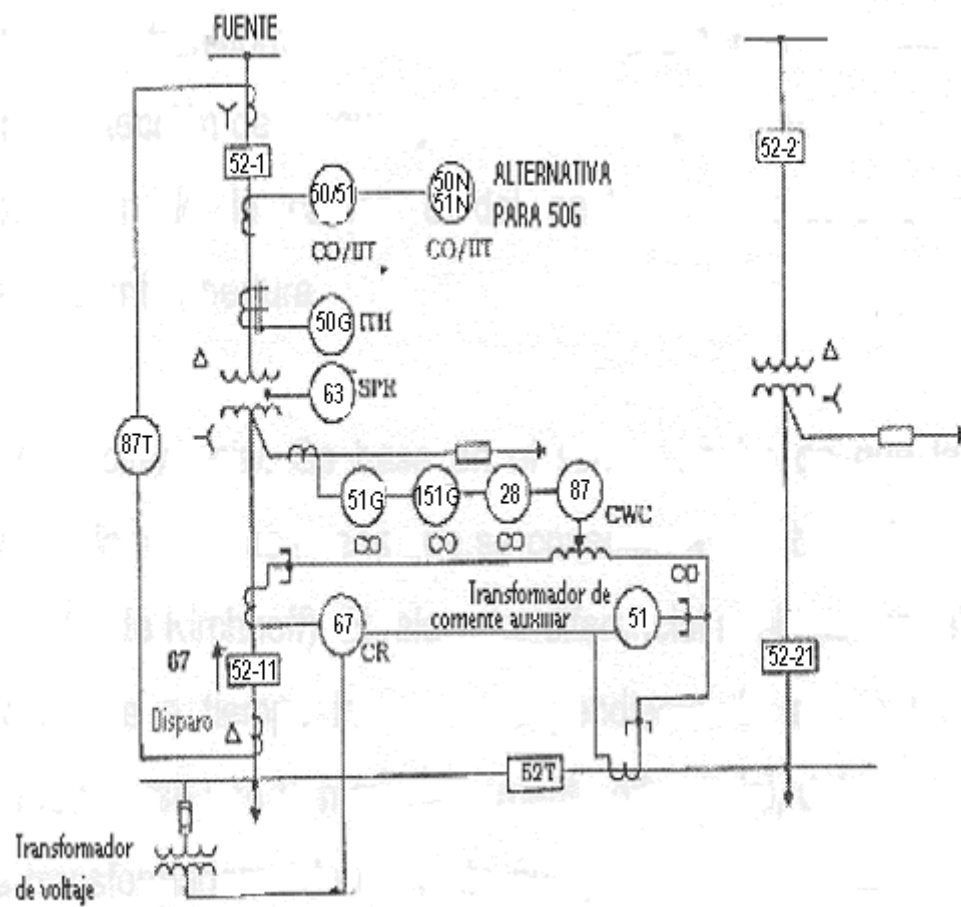


Figura 44. Protección paralela del transformador con interruptores primarios.

Ejemplo:

Se tiene un transformador con las siguientes especificaciones:

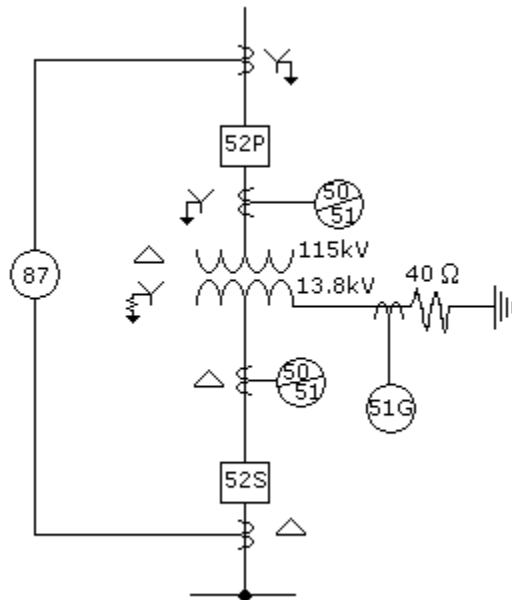
12/16/20 MVA OA/FA/FA

115-13.8 kV ΔY

115 kV Δ lado de alta

13.8 kV Y lado de baja aterrizada por una impedancia resistiva 40Ω

$x''d = 8.5 \%$



Se puede proteger de la siguiente manera con un relevador multifunción de General Electric mod. T60, en donde se tiene:

Protección diferencial

Calculando la corriente máxima de carga a 20MVA

$$I_H = \frac{20000}{115\sqrt{3}} = 100A$$

$$I_x = \frac{20000}{13.8\sqrt{3}} = 836.74A$$

Se debe asumir que se tiene un bus infinito para calcular la corriente máxima de falla

$$I_{HF} = \frac{12000}{115\sqrt{3}(0.085)} = 709A$$

$$I_{XF} = \frac{12000}{13.8\sqrt{3}(0.085)} = 5907A$$

Para el primario del transformador, se elige un TC con relación de transformación de 100:5, por lo tanto al relevador le llegarán:

$$\frac{100}{5} = \frac{100}{x}$$

$$x = \frac{100(5)}{100} = 5A$$

Para el lado del secundario del transformador se elige un TC con relación de transformación de 1000:5, por lo tanto al relevador le llegarán:

$$\frac{1000}{5} = \frac{836.74}{x}$$

$$x = \frac{836.74(5)}{1000} = 4.184A$$

La relación de transformación de los TCs es:

$$100/5 = 20 \text{ para el lado de alta}$$

$$1000/5 = 200 \text{ para el lado de baja}$$

las corrientes máximas de falla para el secundario del TC son:

$$I_{HFS} = \frac{709}{20} = 35.5A$$

$$I_{XFS} = \frac{5907}{200} = 29.5A$$

TABLA DE COMPENSACIÓN

Conexión del transformador		Conexión del TC		Factor de compensación interna		Factor de compensación externa	
HS	XS	HS	XS	HS	XS	HS	XS
Y	Y	Δ	Δ	1	1	√3	√3
		Y	Y	1	1	1	1
Δ	Δ	Y	Y	1	1	1	1
Y	Δ	Y	Y	√3	1	1	1
		Y	Y	1	1	√3	1
Δ	Y	Y	Δ	1	1	1	1
		Y	Y	1	√3	1	√3

La corriente del relevador a la máxima corriente de carga será:

Para el lado de alta, al secundario del TC se le aplica un factor externo de compensación que de acuerdo con la tabla será de 1, ya que se trata de una conexión en estrella, por lo tanto:

$$I_{HR} = 5A$$

Para el lado de baja, al secundario del TC se le aplica un factor externo de compensación, que de acuerdo con la tabla la tabla será de $\sqrt{3}$, debido a que se trata de una conexión en delta, por lo tanto:

$$I_{XR} = 4.184\sqrt{3} = 7.26A$$

La corriente aparente del relevador a una máxima corriente de carga será:

Para el lado de alta con un factor interno de compensación que según la tabla tiene un valor de 1 por tratarse de una conexión en estrella se tiene que:

$$I_{HAR} = 5A$$

Para el lado de baja, con un factor interno de compensación que de acuerdo con la tabla tiene un valor de 1 por ser una conexión en delta se tiene que:

$$I_{XAR} = 7.26A$$

Seleccionamos los ajustes del tap para el relevador 87T-1 y 87T-2 en los lados de alta y baja respectivamente:

$$87T-1 = 5A$$

$$87T-2 = 7.26 A$$

Se verifica que la corriente aparente de falla, a través del relevador en el lado de alta y la corriente del secundario del transformador en el lado de baja sea menor que 35 veces el ajuste del tap seleccionado:

$$35.5 \leq 35 \times 5 = 175 \text{ A}$$

$$\text{Delta: } 29.5 \times \sqrt{3} \leq 35 \times 7.26 = 255.5 \text{ A}$$

$$\text{Estrella: } 29.5 \times \sqrt{3} \leq 35 \times 7.26 = 255.5$$

Para el cálculo de sobrecorriente. Se tiene que los valores mínimos para la corriente de disparo se especifican de acuerdo al siguiente criterio:

para los transformadores enfriados por aceite:

$$I_{disparo} = 2.5 I_{placa}$$

entonces

$$I_{disparoH} = 2.5 I_H = 2.5(100 \text{ A}) = 250 \text{ A}$$

por lo que se necesita un TC de 300:5

$$\frac{300}{5} = \frac{250}{x}$$

$$x = \frac{250(5)}{300} = 4.167 \text{ A}$$

al relevador le llegarán 4.167 A.

$$I_{disparoS} = 2.5 I_S = 2.5(836.74 \text{ A}) = 2091.85 \text{ A}$$

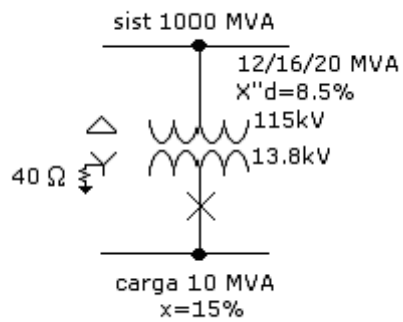
por lo que se necesita un TC de 3000:5

$$\frac{3000}{5} = \frac{2091.74}{x}$$

$$x = \frac{2091.74(5)}{3000} = 3.48A$$

al relevador le llegarán 3.48 A.

Para el cálculo de sobrecorriente se tiene que:



cálculo monofásico:

$$S_B = 12MVA$$

$$Z_B = \frac{kV_B^2}{MVA_B} = \frac{13.8^2}{12} = 15.87\Omega$$

$$Z_n = \frac{Z}{Z_B} = \frac{40}{15.87} = 2.52pu$$

Calculando la reactancia del sistema:

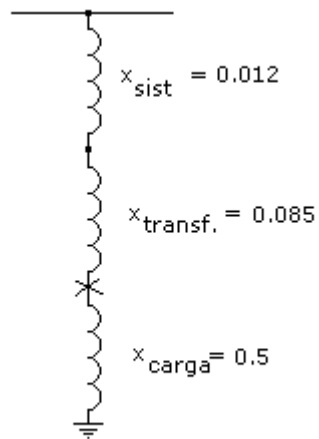
$$x_{sist.} = \frac{12MVA}{1000MVA} = 0.012 pu$$

$$x_{transf.} = 0.085 pu$$

$$x_{carga} = 0.5 pu$$

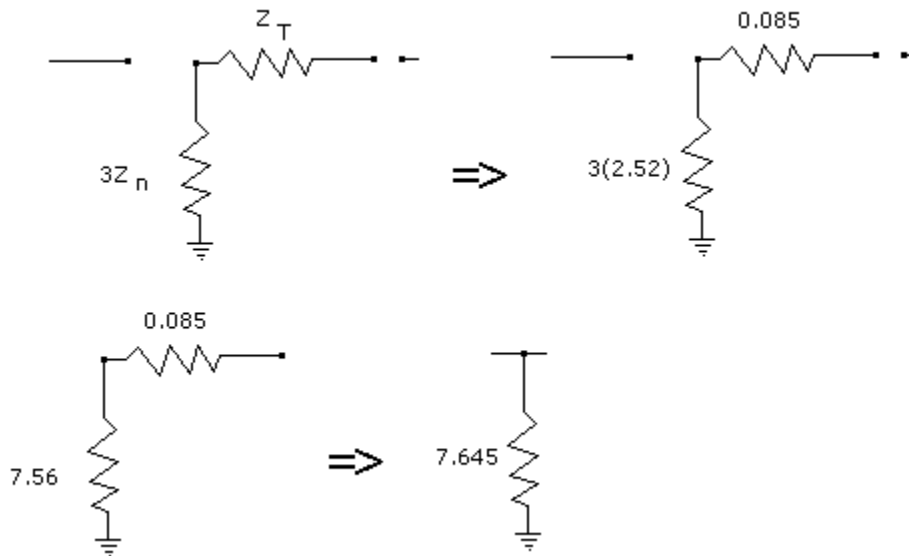
$$Z_n = 2.52 pu$$

para la secuencia (+) y secuencia (-)



se tiene que $x_{sist.}$ y $x_{transf.}$ están en serie y el resultado de éstas está en paralelo con x_{carga} por lo que $x_{equiv.} = 0.081 pu$.

Para la secuencia (0)



$$I_{a_1} = \frac{1}{2(0.081) + 7.645} = 0.128 pu = I_{a_2} = I_{a_0}$$

$$I_a = I_{a_1} + I_{a_2} + I_{a_0} = 3I_{a_1} = 3(0.128) = 0.384 pu$$

$$I_B = \frac{12 MVA}{\sqrt{3}(13.8 kV)} = 0.502 kA = 502.043 A$$

$$I_a = (0.384 pu)(502.043 A) = 192.92 A$$

$$I_{CC\phi} = 192.91 A = 3I_0$$

por lo tanto se necesita un TC de 200:5

$$\frac{200}{5} = \frac{192.92}{x}$$

$$x = \frac{192.92(5)}{200} = 4.82 A$$

al relevador le llegarán 4.82 A.

DIAGRAMA UNIFILAR



Donde: NC = no conectado.

V.3.-PROTECCIÓN DE BARRAS

A continuación se enumeran las principales protecciones para barras de media y alta tensión:

- ❖ **Protección de sobrecorriente.** Consiste en un relevador de sobrecorriente a tiempo inverso que recoge las corrientes que circulan por las terminales de línea a entrada de barras. Es de aplicación en instalaciones de media tensión.

- ❖ **Protección de tanque.** En estaciones transformadoras de interior para media tensión, es común ubicar los elementos y equipos de instalación dentro de celdas metálicas. Para proteger la instalación contra posibles fallas a tierra, en la cabina se utiliza un sistema similar al de la protección del tanque, y si ésta detecta una falla a tierra, ordenará al interruptor de la cabina o del sector de cabinas a realizar la correspondiente apertura.

- ❖ **Protección diferencial.** Se basa en el simple hecho de que la suma de corrientes de todas las líneas que se conectan a una barra debe ser cero (primera ley de Kirchhoff). El relevador diferencial suele ser un relevador de sobrecorriente a tiempo inverso y dependiente. El ajuste del relevador deberá utilizarse con la máxima corriente diferencial, debido a los errores que los transformadores de corriente puedan presentar ante una falla externa al bloque diferencial, debiendo ser el tiempo de operación superior al de la protección propia de la línea o del elemento afectado.

- ❖ **Protección de sobrevoltaje y bajovoltaje.** Se conectará esta protección a los transformadores de potencial de los equipos a proteger o, en su defecto, en los de barras. Se utiliza la protección de bajovoltaje para el caso de cero voltaje, debiendo desconectar las líneas que llegan al embarrado y así evitar que en la siguiente reposición del servicio se energicen varias líneas a la vez al conectar la línea de la falla. Además, así se evita la presencia de sobretensiones. Es de aplicación en barras de alta tensión.

- ❖ **Protección de falla de interruptor.** La misión de esta protección es detectar la orden de una protección principal, la cual no es obedecida por el interruptor correspondiente (bien por bloqueo del mismo, por avería en la bobina de disparo o en sus circuitos). La protección de falla del interruptor recoge las señales de todas las protecciones principales de un juego de barras e incluye, además, una temporización (lo suficientemente larga para suponer que el interruptor remoto no abre por avería), transcurrida la cual, ordena la apertura de todos los interruptores conectados al juego de barras, incluyendo el interruptor de unión de barras. Este sistema de protección es de aplicación en sistemas de alta tensión.

V.4.- PROTECCIÓN DE ALIMENTADORES

- ❖ **Protección de sobrecarga.** La misión de esta protección es controlar el esfuerzo térmico a que se puede ver sometido el circuito protegido. Su instalación es bastante frecuente en el caso de cables subterráneos, por la dificultad de evacuar el calor producido por las sobrecorrientes de carga y lo costoso de las reparaciones. Debido a que la sobrecarga es trifásica, para esta protección es suficiente un relevador monofásico, que generalmente tendrá una característica térmica lo más aproximada posible al tipo de circuito que hay que proteger.
- ❖ **Protección de sobrecorriente.** Es la protección básica contra cortocircuitos, en sus modalidades de tiempo fijo y de tiempo inverso. El número y la disponibilidad de los relevadores que hay que utilizar dependerán del tratamiento que tenga el neutro de la red. En el caso del neutro aislado de tierra, se utilizarán al menos dos relevadores de fase. En el resto de situaciones con el neutro a tierra, se utilizarán dos o tres relevadores en las fases y uno en el neutro.
- ❖ **Protección de sobrecorriente direccional.** Esta protección se aplica a líneas y cables de media tensión no radiales, y consta de los mismos relevadores y

elementos de medida que la protección de sobrecorriente, con la inclusión de la característica direccional. Los ángulos característicos de la función direccional dependen del propio circuito y del sistema de puesta a tierra del neutro de la red. Esta protección se utiliza como protección de reserva para la detección de los cortocircuitos a tierra resistentes.

- ❖ **Protección de distancia.** El relevador de distancia precisa dos o tres escalones de medida y la velocidad de funcionamiento no es una característica que se exija de forma crítica, debido a que en media tensión, los riesgos de pérdida de estabilidad son menores y las potencias de cortocircuito no alcanzan valores excesivamente elevados.

V.5.- PROTECCIÓN DE MOTORES

A causa de la gran cantidad de tipos de motores y de la variación de aplicaciones para los que son requeridos por la industria, sus protecciones precisan un estudio detallado de las características de funcionamiento del motor. Antes de seleccionar la protección adecuada, deben conocerse las corrientes y tiempos en condiciones de arranque y rotor bloqueado, así como el comportamiento térmico de la máquina en condiciones de equilibrio y desequilibrio en las tensiones de alimentación. Para esta selección, también influye el tamaño de la máquina y la naturaleza de la carga a la que se acopla.

Las fallas de los motores pueden producirse por:

- ❖ **Causas externas.** Desequilibrio en los voltajes de alimentación, bajovoltaje, sobrecargas, arranque monofásico y en los motores síncronos pérdidas de sincronismo.
- ❖ **Causas internas.** Fallo de cojinetes y fallas eléctricas internas (generalmente a tierra).

Las protecciones de un motor son muy similares a las de un generador, incluso en ciertas ocasiones, es posible que una máquina síncrona opere indistintamente como generador y como motor. El caso más evidente es el del alternador de una central hidráulica reversible, donde se mantienen las protecciones, excepto la de potencia inversa.

A continuación se describen las protecciones para motores de cierta potencia. Para motores pequeños el sistema de protección se basa en contactor, guarda motor y diferencial, con esto basta contra la sobrecarga, fallas a tierra y bajo voltaje.

- ❖ **Protección contra falla de cojinetes.** No existe ningún dispositivo convencional que actúe ante el deterioro de los cojinetes. En el caso especial de los cojinetes de manguito, puede detectarse la futura falla en el cojinete con algún dispositivo que emita una señal de alarma cuando éste alcance cierta temperatura. En el caso de rotura o desprendimiento de cojinete, los esfuerzos térmicos ocasionados deberán ser detectados por otras protecciones, como por ejemplo, la de sobrecarga térmica.

- ❖ **Protección térmica del estator.** En algunos motores es posible introducir un dispositivo en el estator del motor, para conseguir un cierto control de su temperatura. Lo normal es disponer de un contacto de alarma que avisa cuando se alcanza la temperatura determinada.

- ❖ **Protección diferencial de fases.** Cuando son accesibles los bornes externos de los embobinados del estator, es posible dotar al motor de una protección diferencial. En el momento de arranque, a causa de las elevadas corrientes que se producen, un relevador elemental podría dar instrucciones incorrectas y será conveniente un cierto frenado. Alternativamente, puede retardarse un poco el disparo, para impedir actuaciones intempestivas con la corriente inicial de arranque. La protección diferencial de fases protegerá al motor contra los cortocircuitos que se presentan en el estator, incluyendo los bornes del motor.

- ❖ **Protección de sobrecorriente.** Como respaldo de la protección diferencial, la protección de sobrecorriente, convenientemente ajustada, puede detectar las fallas en el estator y en los bornes. El relevador de sobrecorriente del neutro debe ajustarse con la máxima sensibilidad posible, ya que las fallas se iniciarán como fallas a tierra, o tendrán un contacto con la estructura. Este tipo de protecciones debe ajustarse, de tal manera, que no operen con la corriente de arranque; ofrece un cierto grado de detección de fallas en el rotor de los motores de rotor embobinado. Y cubren las fallas en el estator y hasta los transformadores de corriente a los que están conectados.

Además de una situación de sobrecarga mantenida durante un tiempo, debida a un exceso de demanda de la potencia del motor, pueden plantearse otras condiciones anormales típicas de funcionamiento, como por ejemplo:

1. *Bloqueo del motor.* Un motor puede bloquearse en pleno funcionamiento o al no poder arrancar por una carga excesiva, absorbiendo de la fuente de alimentación, una corriente equivalente a la de rotor bloqueado. La única solución consiste en que la protección desconecte el motor si la corriente persiste durante un tiempo superior al normal de arranque.
2. *Desequilibrio de las tensiones de alimentación.* Toda anomalía en el sistema de potencia que alimenta al motor se traduce en un cierto grado de desequilibrio en las tensiones, a consecuencia de la cual, aparece en los devanados de la máquina una componente de secuencia negativa en las corrientes de arranque y de plena carga. Así, un motor cuya corriente de arranque sea seis veces la de a plena carga, un desequilibrio del 5% de las tensiones de alimentación dará una componente de secuencia negativa del 30%. Esto implica un incremento en las pérdidas del cobre, reduciendo la potencia entregada por la máquina al provocar un aumento sustancial de la temperatura en los devanados, lo cual conduce a un deterioro progresivo del aislamiento, hasta converger en una falla eléctrica. El relevador de sobrecarga térmica deberá proteger al motor

contra sobrecargas prolongadas, pero sin desconectar el motor por pequeños desequilibrios.

2.1) *Relevador monofásico de sobrecorriente.* Para detectar la máxima corriente de fase deberán emplearse tres relevadores. Sin embargo, con este equipo no se detectará el efecto del calentamiento adicional en el circuito del rotor, debido a la corriente de secuencia negativa. Además, en algunos tipos de motores, al faltar una fase, las corrientes de línea son inferiores a las que circulan en los devanados, por lo que la protección no las detecta, pudiendo ocurrir entonces que la desconexión se produzca cuando ya no tienen solución los daños.

2.2) *Relevador de desequilibrio de fase.* Opera cuando el desequilibrio de las corrientes absorbidas excede un valor dado, que se puede ajustar. Estos relevadores no operan con la diferencia de fase, sino con la diferencia en magnitud, no pudiendo medir las componentes de secuencia negativa, fuente del calentamiento adicional, además de que pueden ser demasiado sensibles.

2.3) *Relevadores de secuencia negativa.* Evidentemente, la consecuencia de todo desequilibrio de tensiones es la aparición de corrientes de secuencia negativa. Por consiguiente, un relevador de este tipo, con una función térmica que se adapte a la admisible del motor, resulta la protección ideal contra desequilibrios no transitorios en las tensiones de alimentación. Hay que considerar que este relevador permite un grado de protección muy superior y, sobre todo, más confiable.

3. *Sobrevoltaje.* Tanto el motor como el generador, deben tener protegido su estator contra las sobretensiones que proceden de la alimentación. Para esto, se deberán proteger con un relevador de máximo voltaje, a

tiempo independiente, que desconecte el motor en caso de detectarse un sobrevoltaje prolongado.

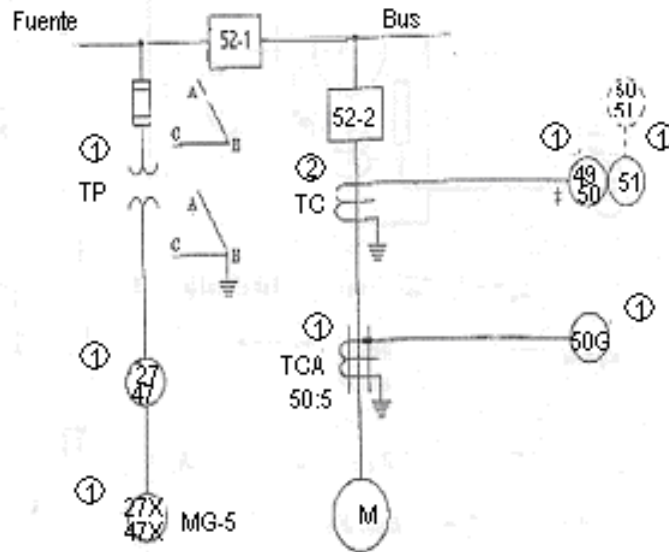
4. *Bajovoltaje.* Es evidente que una baja de voltaje prolongada aplicada a un motor en operación tendrá efectos térmicos perjudiciales. Las protecciones térmicas pueden proteger adecuadamente el motor, sin embargo, determinado nivel de bajo voltaje produce un incremento en el deslizamiento y una reducción de la velocidad de los motores asíncronos, de forma que, al reponerse el voltaje al valor nominal, es posible que se produzcan esfuerzos mecánicos y corrientes importantes. En muchas ocasiones en caso de bajovoltaje, se realiza una desconexión inmediata.

PROTECCIONES ADICIONALES PARA MOTORES SÍNCRONOS

- ❖ **Protección contra pérdida de tracción.** Se aplicará a los motores que estén sujetos a sobrecargas súbitas, que pudiesen exceder los valores del par crítico que tenderían a desbocar la máquina. Si se mantiene la excitación del campo, el motor se bloqueará, dando una elevada corriente en el estator, detectable por un relevador de sobrecorriente.

- ❖ **Protección térmica de los devanados amortiguadores.** Puede producirse en éstos un sobrecalentamiento, debido a una prolongada operación fuera de sincronismo, una sucesión de arranques fallidos o una pérdida de la tracción.

- ❖ **Protección de sobrecarga del campo.** Basta un simple relevador de sobrecarga térmica. Se aplica en los motores de campo forzado, ya que una falla en la excitación provocaría en el devanado de campo, una corriente continua superior a la normal.



NOTA: Los TCs de fase son aproximadamente el 150% a plena carga.

* Si el dispositivo 27/47 no está disponible, se requerirán tres unidades de dispositivos 49.

① Representa la cantidad de dispositivos que se necesitan.

Figura 45. Protección para motores menores de 1500HP.

- ❖ **Protección contra reiniciación súbita de voltaje.** Si desaparece la alimentación de voltaje, es preciso desconectar rápidamente el interruptor para que la reiniciación súbita de la misma no ocurra con un desfase respecto al voltaje generado en el motor.

- ❖ **Protecciones de baja potencia y potencia inversa.** La primera se aplica cuando es seguro que, al fallar la alimentación de voltaje, no queda otra carga conectada a las mismas barras. En caso contrario, se empleará la protección de secuencia negativa, con un cierto retardo para soslayar las anomalías transitorias en el sistema exterior.

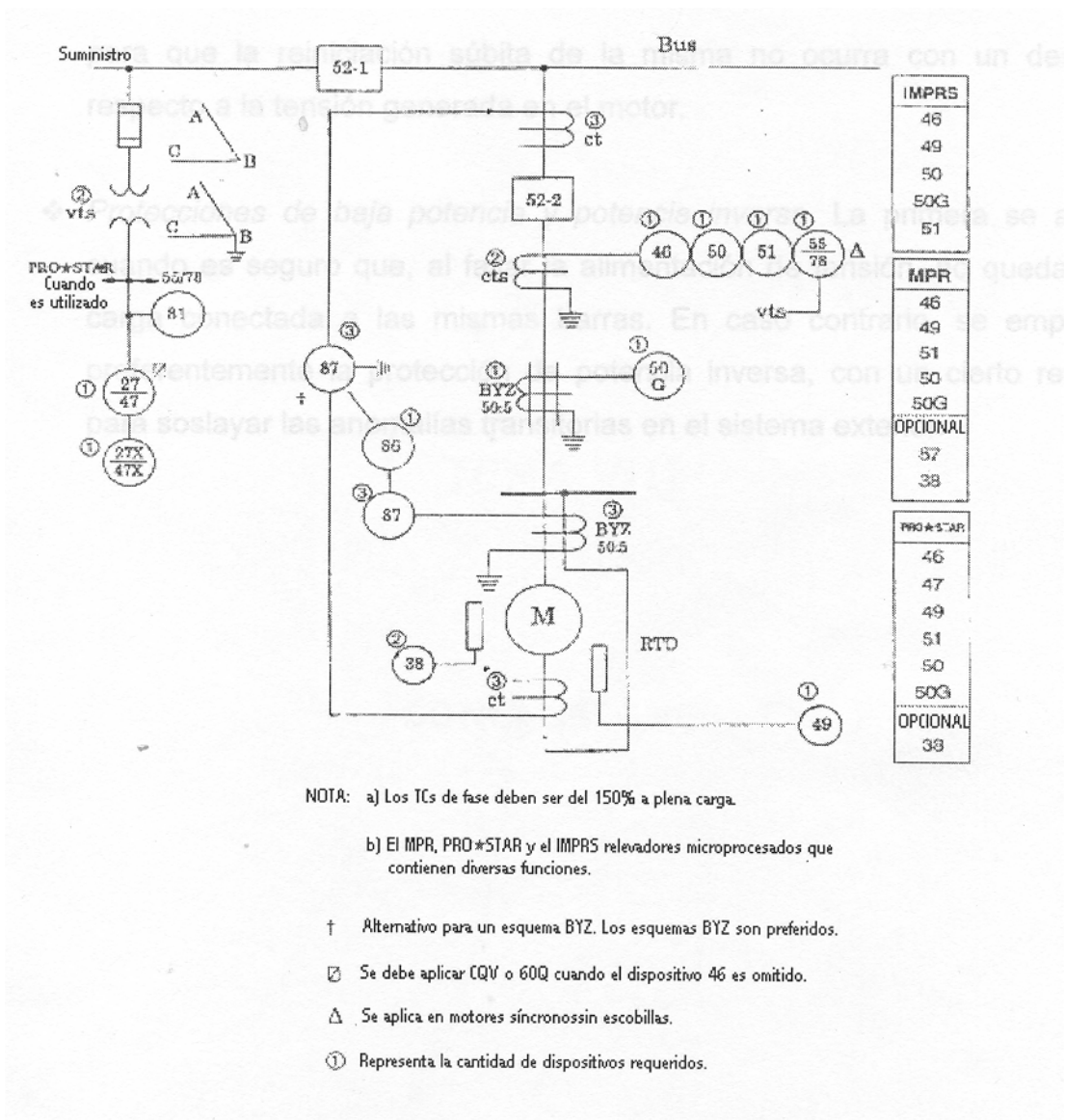


Figura 46. Protección para motores de 1500HP o más.

Ejemplo:

Se tiene un motor con las siguientes especificaciones:

500 HP

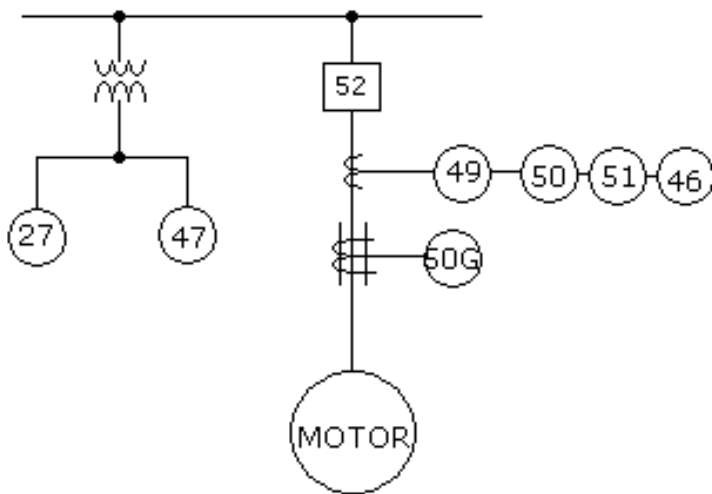
4160 V

60 Hz

80% FP

$x''d = 15\%$

100 % eficiencia



Se puede proteger de la siguiente manera, con un relevador multifunción de General Electric mod. 469, teniendo:

$$P = 500(746) = 373kW$$

$$V_L = \frac{4160}{\sqrt{3}} = 2401.77 = 2.402kV$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}V_T \cos \theta} = \frac{373kW}{\sqrt{3}(4.16kV)(0.80)} = 64.709A$$

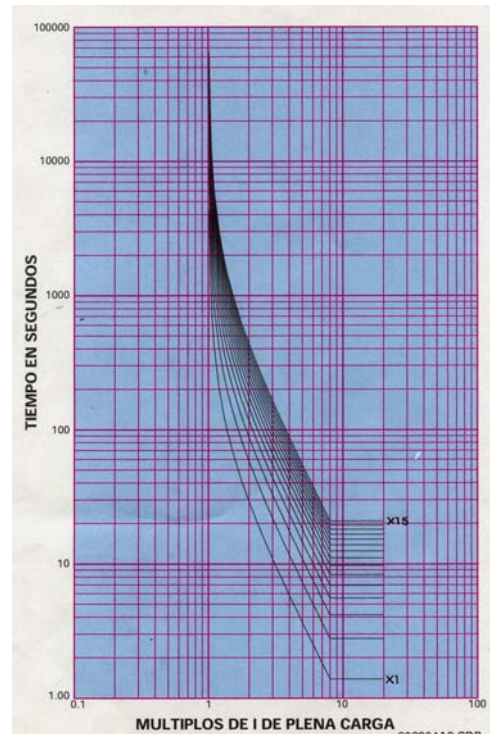
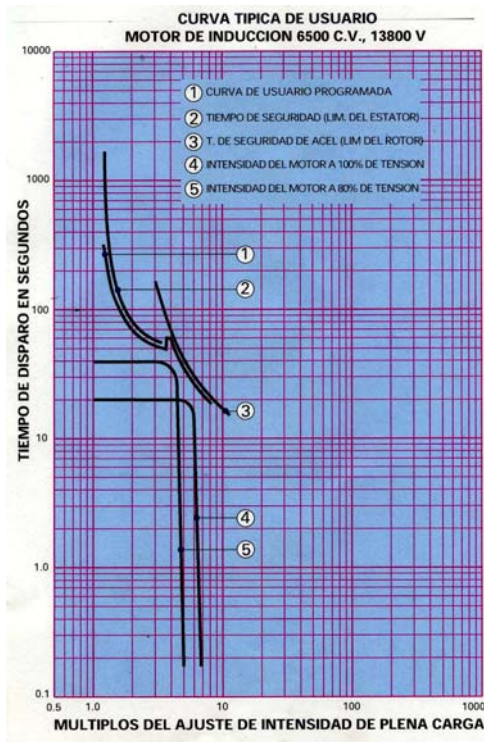
$$S = V_L I_L \cos \theta + jV_L I_L \sin \theta = 2.402(64.709)(0.80) + j(2.402)(64.709)(0.6)$$

$$S = 124.345 + j93.259kVA = 155.4314 \angle 36.87kVA$$

$$I_{arranque} = \frac{1}{jx''d} = \frac{1}{0.15} = 6.67 pu$$

$$|I_{arranque}| = (6.67)(64.709A) = 431.609A$$

De acuerdo con la curva de arranque, el motor tarda en arrancar 20s.



La protección de sobrecarga es de 30s. Y según la curva debe tener un múltiplo de dos veces la corriente a plena carga, esto es:

$$2I_L = 2(64.709) = 129.418A$$

Para el TC por línea es necesario escoger un transformador de 75:5, por lo tanto:

$$\frac{75}{5} = \frac{64.709}{x}$$

$$x = \frac{64.709(5)}{75} = 4.3139A \quad \text{es la corriente que el relevador recibe.}$$

El TC del relevador 50G deberá ser de 50:5

El cálculo para la corriente de secuencia negativa es el siguiente para 1 fase:

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C) \quad \text{si } I_B = I_C = 0$$

$$\text{entonces } I_2 = \frac{1}{3}I_A = \frac{1}{3}I_L = \frac{1}{3}64.709 = 21.5697A$$

$$I_2pu = \frac{21.5697}{64.709} = 0.33334pu$$

Para la corriente trifásica se tiene:

$$|I_2| = |I_A| = |I_B| = |I_C| \quad \text{entonces } 0.33I_{\text{entrada}} = 0.33(4.3139) = 1.438A$$

donde I_{entrada} es la corriente del secundario del transformador de corriente.

Ahora, para calcular el voltaje de secuencia negativa se tiene:

$$V_2 = \frac{1}{3}(V_A + a^2V_B + aV_C) \quad \text{si } V_B = V_C = 0$$

$$\text{entonces } V_2 = \frac{1}{3}V_A = \frac{1}{3}V_L = \frac{1}{3}2.402kV = 800.6667V$$

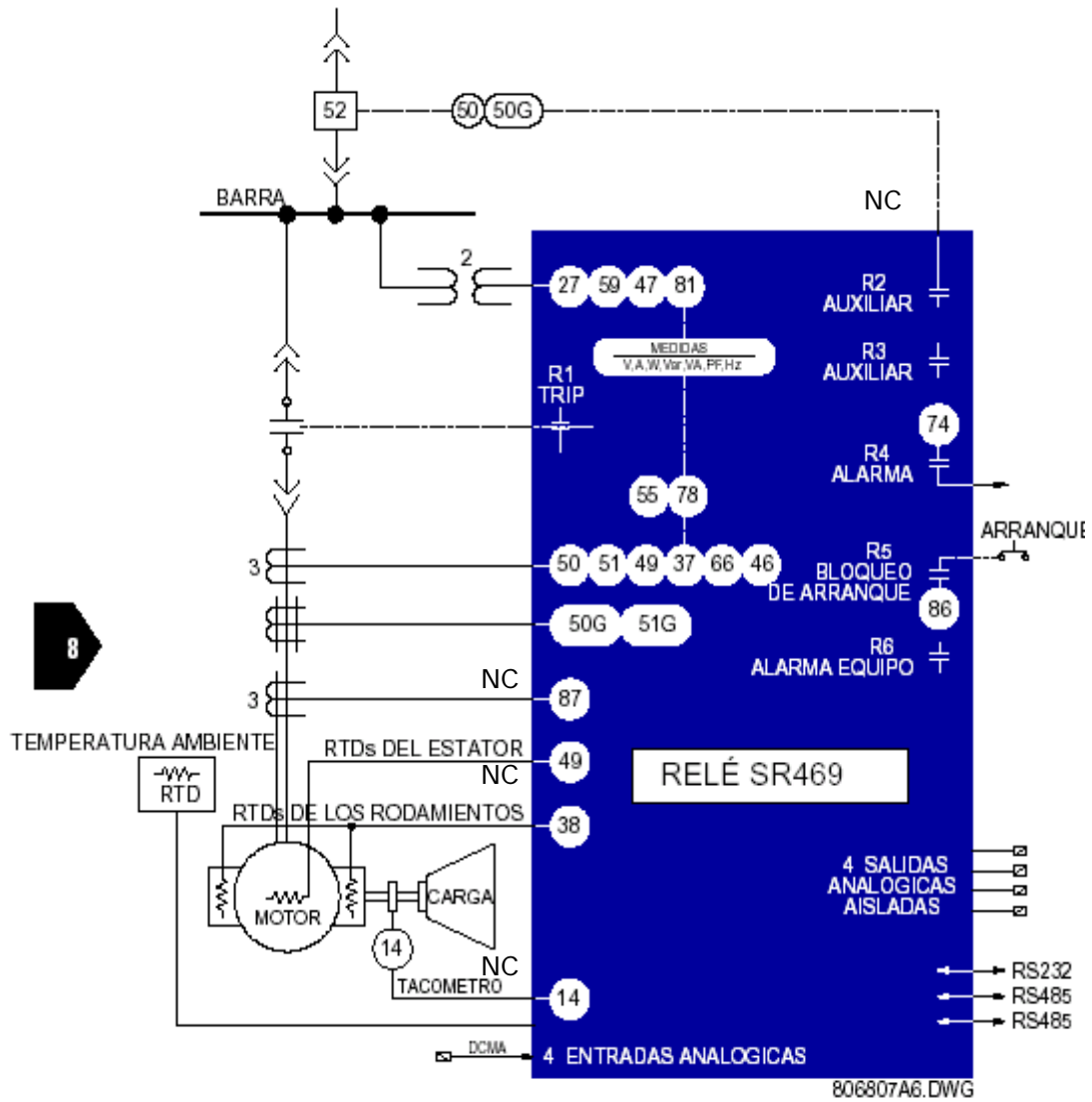
$$V_2pu = \frac{0.8006667kV}{4.157kV} = 0.3334pu$$

Si el TP tiene una relación de transformación de 4200:120V del secundario del transformador de potencial se tendrá:

$$\frac{4200}{120} = \frac{2402}{x}$$

$$x = \frac{2402(120)}{4200} = 68.6286V \text{ es el voltaje que va a recibir el relevador.}$$

DIAGRAMA UNIFILAR



Donde: NC = no conectado

Ejemplo:

Se tiene un motor con las siguientes especificaciones:

1500 HP

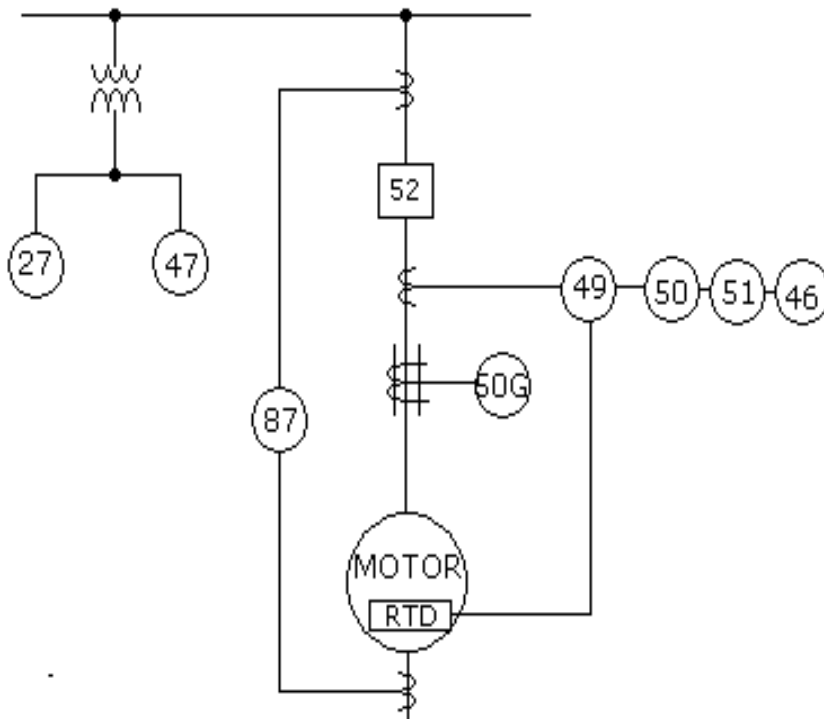
7200 V

60 Hz

85% FP

$x''d = 17\%$

100 % eficiencia



Se puede proteger con un relevador multifunción de General Electric mod. 469:

$$P = 1500(746) = 1119kW$$

$$V_L = \frac{7200}{\sqrt{3}} = 4156.923V = 4.157kV$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}V_T \cos\theta} = \frac{1119kW}{\sqrt{3}(7.2kV)(0.85)} = 105.56A$$

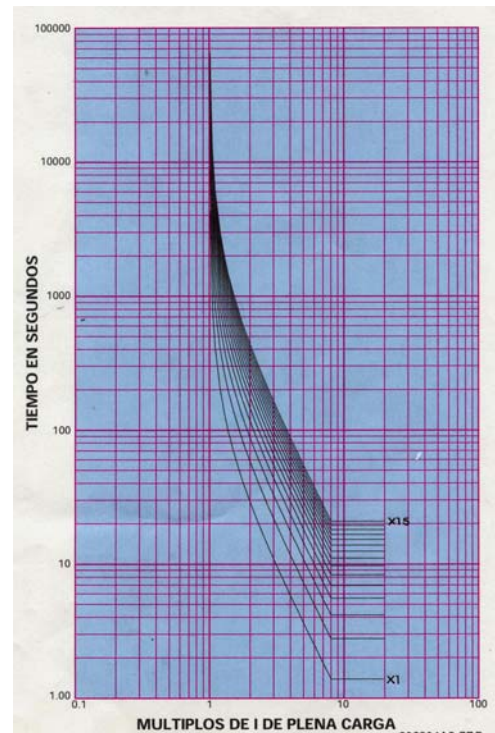
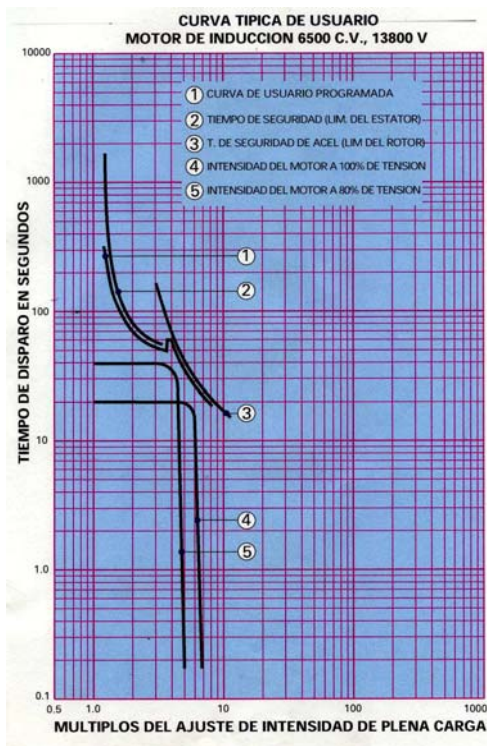
$$S = V_L I_L \cos\theta + jV_L I_L \sin\theta = 4.157(105.56)(0.85) + j(4.157)(105.56)(0.53)$$

$$S = 375.007 + j231.169kVA = 440.53\angle 31.56kVA$$

$$I_{arranque} = \frac{1}{jx''d} = \frac{1}{0.17} = 5.88pu$$

$$I_{arranque} = (5.88)(105.56A) = 620.9412A$$

De acuerdo con la curva de arranque, el motor tarda en arrancar 20s.



La protección de sobrecarga es de 30s. Y según la curva debe tener un múltiplo de dos veces la corriente a plena carga, esto es:

$$2I_L = 2(105.56) = 211.12A$$

Para el TC por línea es necesario elegir un transformador de 150:5, por lo tanto:

$$\frac{150}{5} = \frac{105.56}{x}$$

$$x = \frac{105.56(5)}{150} = 3.5186A \quad \text{es la corriente que el relevador recibe.}$$

Para la protección diferencial se selecciona la misma relación de transformación para los TCs, ya que la corriente de entrada al primario de ambos transformadores será de 105.56 A, y la salida en el secundario de ambos transformadores será de 3.5186 A.

El TC del relevador 50G deberá ser de 50:5

El cálculo para la corriente de secuencia negativa es el siguiente para 1 fase:

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C) \quad \text{si} \quad I_B = I_C = 0$$

$$\text{entonces} \quad I_2 = \frac{1}{3}I_A = \frac{1}{3}I_L = \frac{1}{3}105.56 = 35.1886A$$

$$I_2pu = \frac{35.1886}{105.56} = 0.33334pu$$

Para la corriente trifásica se tiene:

$$|I_2| = |I_A| = |I_B| = |I_C| \quad \text{entonces} \quad 0.33I_{\text{entrada}} = 0.33(3.5186) = 1.173A$$

donde I_{entrada} es la corriente del secundario del transformador de corriente.

Ahora bien, para calcular el voltaje de secuencia negativa:

$$V_2 = \frac{1}{3}(V_A + a^2V_B + aV_C) \quad \text{si} \quad V_B = V_C = 0$$

$$\text{entonces} \quad V_2 = \frac{1}{3}V_A = \frac{1}{3}V_L = \frac{1}{3}4.157kV = 1.4857kV$$

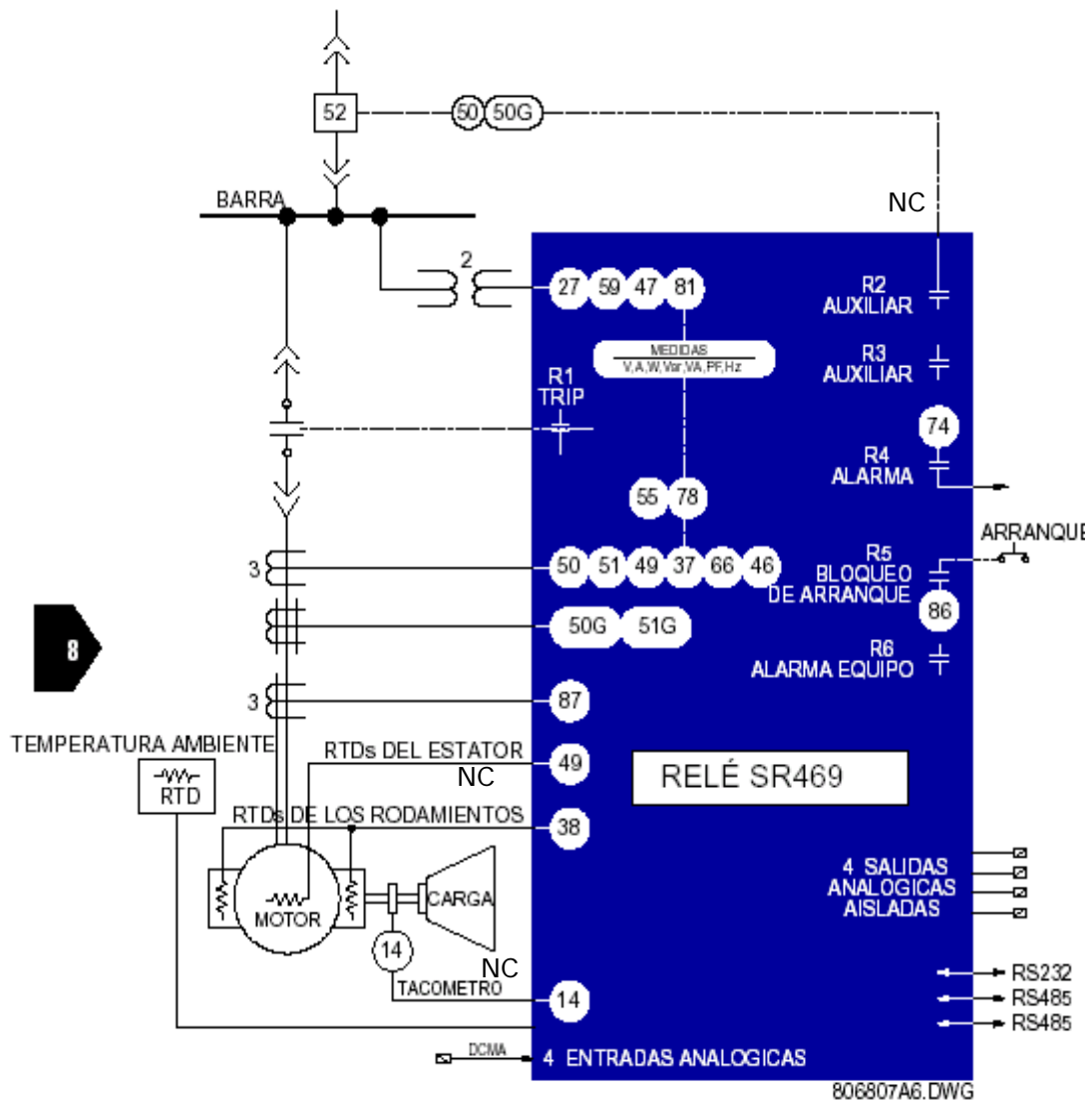
$$V_2pu = \frac{1.4857kV}{4.157kV} = 0.3334pu$$

Si el TP tiene una relación de transformación de 7200:120V del secundario del transformador de potencial se obtendrá:

$$\frac{7200}{120} = \frac{4157}{x}$$

$$x = \frac{4.157kV(120)}{7.200kV} = 69.2833V \quad \text{es el voltaje que va a recibir el relevador.}$$

DIAGRAMA UNIFILAR



Donde: NC = no conectado

TEMA VI

CONCLUSIONES

Desde que se inició la industria eléctrica ha existido la necesidad de proteger todos sus elementos contra fallas dentro de los mismos, así como las externas a ellos.

En un inicio, la protección de los elementos eléctricos se realizaba por medio de mecanismos electromecánicos y electromagnéticos, que era con lo que se contaba en aquella época.

Posteriormente, con el avance de la tecnología se ha pasado de las protecciones electromecánicas a las de estado sólido (que usaban componentes de baja potencia y semiconductores) y de éstas a las electrónicas que conocemos como microprocesadas.

Las protecciones microprocesadas dieron paso a lo que hoy en día conocemos como relevadores multifunción. Como se pudo observar a lo largo de este trabajo, la protección con relevadores es vital dentro de la industria eléctrica, desde su generación, transmisión y distribución hasta su consumo industrial.

Las facetas básicas de la aplicación para la protección con relevadores, como son: rehabilitación, selectividad, velocidad de operación, simplicidad y economía, se ven rebasadas por mucho con los relevadores multifunción.

Ya que ahora con la ayuda de la electrónica digital, en un solo chasis de pequeñas dimensiones, podemos tener todas las protecciones necesarias para cualquier elemento eléctrico a proteger en todas sus facetas. Lo que antes se tenía con relevadores independientes (para cada tipo de protección) hoy se puede tener todas las protecciones encapsuladas en un pequeño espacio con la plena seguridad y confianza de que nuestros equipos están bien protegidos y que estas protecciones trabajan de manera eficiente, con la ventaja de que tienen funciones adicionales que con el otro tipo de protecciones no se contaba, como son muestreos, cálculos y localización de fallas, graficación, cálculos periódicos de potencias real y reactiva, valores *rms*, envío y recepción de información con otras unidades, coordinación de control y protecciones, etc., esto sin mencionar con la alta selectividad y confiabilidad a la que trabajan.

Su principal ventaja reside en que son económicos (relativamente) y nos dan más recursos para mejorar los esquemas de protección. Otra ventaja que tienen estos relevadores es que cuentan con sistemas de autoprueba, que verifican el buen funcionamiento del relevador; si por alguna razón una de sus funciones o protecciones tuviera alguna falla, inmediatamente se da la indicación de alarma, sin que esto afecte a las demás.

También proporcionan interfases hombre-máquina para que el usuario tenga acceso a la información almacenada, haga ajustes, introduzca valores y conozca los eventos por medio de pantallas de LCD en el propio relevador, o bien, por medio de terminales remotas conectadas a una PC.

Por todas estas razones, podemos concluir que los relevadores multifunción están revolucionando el área de las protecciones eléctricas y que a nosotros como ingenieros nos ayudan en gran medida a hacer nuestro trabajo dentro de esta área de mejor manera.

APÉNDICE

NUMEROS ANSI

Número de dispositivo	Descripción.
1	Elemento principal.
2	Relevador de arranque o cierre con retraso de tiempo.
3	Relevador de enlace o revisión.
4	Contactor principal.
5	Dispositivo de paro.
6	Interruptor automático de arranque.
7	Interruptor automático de ánodo.
8	Dispositivo de desconexión de control de potencia.
9	Dispositivo de retorno.
10	Unidad interruptora de secuencia.
11	Reservado para una aplicación futura
12	Dispositivo de sobrevelocidad.
13	Dispositivo de velocidad síncrona.
14	Dispositivo de bajavelocidad.
15	Dispositivo de igualación de velocidad o frecuencia.

16	Reservado para una aplicación futura.
17	Interruptor de disparo o descarga.
18	Dispositivo de aceleración o desaceleración.
19	Contactador de transmisión de arranque – corrimiento.
20	Válvula operada eléctricamente.
21	Relevador de distancia.
22	Interruptor de circuito igualador.
23	Dispositivo de control de temperatura.
24	Reservado para una aplicación futura.
25	Dispositivo para checar la sincronía y sincronización.
26	Dispositivo de aparatos térmicos.
27	Relevador de bajovoltaje.
28	Reservado para una aplicación futura.
29	Contactador de desconexión.
30	Relevador anunciador.
31	Dispositivo de excitación separada.
32	Relevador adicional de potencia.
33	Interruptor de posición.
34	Interruptor principal de secuencia.
35	Dispositivo de operación de escobillas, o corto circuito del anillo rozante.
36	Dispositivo de polaridad.
37	Relevador de baja corriente o baja potencia.
38	Dispositivo de protección de cojinetes.
39	Reservado para una aplicación futura.
40	Relevador de campo.
41	Interruptor automático del circuito de campo.
42	Interruptor automático de circuito de operación.
43	Dispositivo selector o transferencia manual.
44	Relevador de inicio de la unidad de secuencia.
45	Reservado para una aplicación futura.
46	Relevador de corriente, inversión de fase o balance de fase.
47	Relevador de voltaje de secuencia de fase.
48	Relevador de secuencia incompleta.
49	Relevador térmico de máquina o transformador.

50	Relevador instantáneo de sobrecorriente.
51	Relevador de tiempo de sobrecorriente de CA.
52	Interruptor instantáneo de circuitos de CA.
53	Relevador de generador de CD o excitador.
54	Interruptor instantáneo de alta velocidad de circuito de CD.
55	Relevador de factor de potencia.
56	Relevador de aplicación de campo.
57	Dispositivo de corto circuito o aterrizamiento.
58	Relevador rectificador de potencia de carga fallada.
59	Relevador de sobrevoltaje.
60	Relevador de balance de voltaje.
61	Relevador de balance de corriente.
62	Relevador de retraso de paro o abertura.
63	Relevador de presión de líquido, o gas, o nivel o flujo.
64	Relevador de protección de tierra.
65	Regulador.
66	Dispositivo de escalonamiento o de paso a paso.
67	Relevador de sobrecorriente direccional de CA.
68	Relevador de bloqueo.
69	Dispositivo permisivo de control.
70	Reóstato eléctricamente operado.
71	Reservado para una aplicación futura.
72	Interruptor instantáneo de un circuito de CD.
73	Contactador de resistencia de carga.
74	Relevador de alarma.
75	Mecanismo de cambio de posición.
76	Relevador de sobrecorriente de CD.
77	Transmisor de pulsos.
78	Medidor de ángulo de fase, o relevador de protección de fuera de paso.
79	Relevador de reestablecimiento de CA.
80	Reservado para una aplicación futura.
81	Relevador de frecuencia.
82	Relevador de reestablecimiento de CD.
83	Relevador de control automático de selección, o de transferencia.

84	Mecanismo de operación.
85	Relevador conductor, o cable piloto o receptor.
86	Relevador de enlace de salida.
87	Relevador de protección diferencial.
88	Motor auxiliar o motor generador.
89	Interruptor de línea.
90	Dispositivo regulador.
91	Relevador direccional de voltaje
92	Relevador direccional de potencia y de voltaje.
93	Contactador de cambio de campo.
94	Relevador de disparo o desenganche libre.
95 al 99	Usados únicamente para aplicaciones específicas o instalaciones individuales donde ninguno de los números asignados funcionan como se indica en los números del 1 al 94 dados.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Blackburn, J. Lewis
Protective relaying principals and applications
Ed. Marcell Dekkers Inc.

- ✓ Chapman, J. Stephen
Máquinas eléctricas
Ed. Mc. Graw Hill.

- ✓ Elmore, Walter A, ABB Power T and D Company
Protective relaying theory and applications
Ed. Marcell Dekkers Inc.

- ✓ Mano, M. Morris
Diseño digital
Ed. Prentice may.

- ✓ Mason, C. Russell
El arte y la ciencia de protección con relevadores
Ed. John Wiley and sons.

- ✓ Stevenson, D. William
Análisis de sistemas de potencia
Ed. Mc. Graw Hill

- ✓ Tocci, J. Ronald
Sistemas digitales. Principios y aplicaciones.
Ed. Prentice may.

- ✓ Westinhouse Electric Corporation
Applied protective relaying
Ed. A new "silent sentinels" publication.