73
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESTUDIO DE LA PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA POR RELEVADORES Y ESTUDIO TECNICO DE LA PROTECCION DEL SISTEMA CHETUMAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
DARIO R. JURADO LIMA

DIRECTOR DE TESIS: ING. OSWALDO MERCADO SANCHEZ

MEXICO, D.F. 1989

FALLA DE ORIGEN

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

P R O L O G O

El presente trabajo fué desarrollado durante el Seminario "APLICACION DE PROTECCION CATODICA EN INSTALACIONES" y debido a que el grupo era bastante numeroso decidió el Profesor asignado Ingeniero Oswaldo Mercado Sánchez, que desarrollara el tema "ESTUDIO DE LA PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA POR RELEVADORES Y ESTUDIO TECNICO DE LA PROTECCION DEL SISTEMA CHETUMAL", todo ésto dentro del Seminario efectuado en 1969.

El trabajo contiene la información fundamental de la Constitución de los Relevadores, dando atención a la Protección de Transformadores, y como parte principal la Aplicación de la Protección al Sistema Chetumal.

Por último cabe aclarar que el trabajo desarrollado no pretende descubrir el hilo negro de la Protección por medio de Relevadores, sino es un pequeño estudio de la Protección aplicado a un Sistema Eléctrico.

DARIO RENATO JURADO LIMA.

C O N T E N I D O

CAPITULO I.- INTRODUCCION.....1

CAPITULO II.- CLASIFICACION Y CONSTITUCION DE LOS RELEVADORES DE PROTECCION, PROTECCIONES DE -- RESPALDO.....6

CAPITULO III.- RELEVADORES DE TENSION, CORRIENTE Y TENSION 14

CAPITULO IV.- RELEVADORES DE POTENCIA.....19

CAPITULO V.- RELEVADORES DE DISTANCIA.....22

CAPITULO VI.- RELEVADORES DIFERENCIALES.....29

CAPITULO VII.- PROTECCION DE TRANSFORMADORES.....36

CAPITULO VIII.- PROTECCION DE RESPALDO.....49

CAPITULO IX.- ESTUDIO TECNICO DE LA PROTECCION DEL SISTEMA CHETUMAL..... 58

BIBLIOGRAFIA 78

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

En la actualidad la demanda de energía eléctrica requiere de instalaciones sumamente costosas para generarla, transmitirla, y distribuirla.Asi como también en la actualidad existen industrias que por su gran magnitud no pueden prescindir ni un solo momento de la energía eléctrica sin que venga acompañado de grandes pérdidas.

De donde se hizo necesario asegurar dos tipos de intereses: el equipo invertido que en caso de falla puede llegar a dañarlo o destruirlo y el del usuario que debe ser protegido hasta donde sea posible sin sufrir interrupciones de energía.

También se dice que en estudios comparativos se ha demostrado que la inversión de la protección en comparación con la inversión total es de alrededor del 1 al 2% de la inversión total del mismo.

Los intereses anteriores se ven afectados por las fallas a las que todo equipo eléctrico ésta expuesto. Se pueden definir las fallas como situaciones anormales e insostenibles que se presentan tarde o temprano en todo sistema de potencia, producidas por innumerables causas, y las podemos definir en:

1.- Fallas intrínsecas.Son aquellas causadas por fenómenos internos en los elementos del sistema como pueden ser fallas de aislamiento, fallas de conducción y fallas de operación. Fallas de aislamiento es la desviación de la corriente de su trayectoria normal (corto circuito), como puede ser corto circuito en-

tre conductores aéreos y tierra, entre devanados de transformadores, entre devanados de generadores, etc.

Fallas de conducción. Es cuando los elementos conductores de un sistema desaparecen causando la interrupción de la corriente o una caída de potencial exagerada, como puede ser -- ocasionada por sismos, tormentas que hacen fallar mecánicamente las torres o los apoyos.- También podría ser por alta temperatura en - los generadores, por descompostura en los -- taps de los transformadores.

Fallas de operación. Es ocasionada por la mala operación de los equipos como puede ser - cuando se sobrecargan los cables, desajuste en los equipos de control de los relevadores en los transformadores por cambios inadecuados en los taps (corrientes circulantes), en - los excitadores de los alternadores causados por falta o exceso de corriente de campo, -- desconexión de una sección en paralelo, etc.

2.- Fallas extrínsecas. Son las causadas por fenómenos externos de origen atmosférico.

Estas fallas se presentan ante descargas atmosféricas (rayos) al caer sobre las líneas de transmisión o en las cercanías de las mismas causando sobretensiones que pasan en mucho la tensión nominal, creando situaciones fortuitas que se distinguen por aumentos de potencial fuera de control, por la brevedad de su duración y extraordinaria magnitud. Este tipo de fallas también pueden ser causa--

das por iones flotantes en la atmosféra -- - que se ponen en contacto con las líneas, por la influencia eléctrica de nubes cargadas -- que cruzan o pasan cerca de las mismas.

Dando como resultado de estas fallas un gran descubri--- miento "EL ARTE Y LA CIENCIA DE LA PROTECCION POR RELEVADO-RES".

Características que deben reunir los relevadores.

a.-Tiempo de operación y aún más la facili-- dad para ajustarlo.Esta ha sido una de las - principales propiedades que ha contribuído - al desarrollo tan amplio de la protección -- por relevadores ya que se puede lograr una - coordinación perfecta en tiempo de apertura de los interruptores, de tal manera que se - aislan las regiones afectados por las fallas abriéndose primero los interruptores próxi-- mos a la falla o los que convengan para la - mejor operación del sistema.

b.-La sensibilidad de un relevador es otra - característica, de ellos pues protege a equi pos costosos de fallas ligeras.

c.-La selectividad de los relevadores, es la característica que tienen de reconocer las - fallas que dañen, la buena operación del sis tema. Como por ejemplo no debe operar un re-levador de sobrecorriente debido a una sobre carga de un transformador a menos que éstas- pasen de ciertos límites y que duren tiempos fuera de lo previsto.

d.- Seguridad en su operación es una caracte rística importantísima puesto que, no puede

permitirse que el relevador deje de trabajar en el momento preciso. Para ésto es necesa-- rio, que sean suficientemente robustos sus - contactos y sus bobinas deben ser capaces -- de llevar las corrientes que por ella puedan circular. No solamente implica la buena cons trucción de la cubierta sino sus sistemas -- auxiliares como es la alimentación de la co- rriente continua. Deben los relevadores es-- tar prontos a operar aunque solo sea una vez al año o frecuentemente. Su mantenimiento de be de ser constante (se han desarrollado cu- chillas de prueba en los tableros o moderna- mente peines que salen de la misma caja para facilitar las pruebas).

e.- En lo referente a los contactos de los relevadores que cierran o se abren, se ha -- desarrollado un sistema que establece los -- llamados normalmente cerrados o normalmente abiertos. La razón de haberse llamado en tal forma obedece a que la bobina o bobinas que actúan los contactos, se encuentran en condi cion normal cuando por ellas pasa una co---- rriente que no sea lo suficiente para operar sus contactos, ya que un buen sistema de re- levadores debe estar en estas condiciones la mayor parte del tiempo y recibir corrientes actuantes sólo cuando se deseé la operacion del sistema, volviendo a su condición nor--- mal cuando se ha terminado su misión.

f.- Reposición (reset),no es otra cosa que - el restablecimiento de las condiciones norma les del relevador después de que éste ha ope

rado. Esta reposición puede hacerse de dos formas: reposición eléctrica y reposición -- manual. La primera se considera automática - ya que al dejar de existir las condiciones - de operación vuelven a quedar los contactos en su posición original, y la reposición --- manual es tal, que es necesaria la intervención del hombre.

g.- Los relevadores son proporcionados por - el fabricante para su montaje en dos tipos - para sobreponer en tableros de ebonita, mármol, pizarra, etc. y para embutir, colocándolos en tablero de lámina.

C A P I T U L O I I

CLASIFICACION Y CONSTITUCION DE LOS RELEVADORES DE PROTE-- CCION. PROTECCIONES PRINCIPALES Y DE RESPALDO.

1.- CLASIFICACION Y CONSTITUCION DE LOS RELEVADORES.

Existen diferentes tipos de relevadores usados en la protección de los sistemas de potencia accionados por señal - eléctrica, pero sin embargo solamente existen dos princi--- pios fundamentales en que se basa la operación de los re-- vadores.

A.- Atracción electromagnética.
B.- Inducción electromagnética.

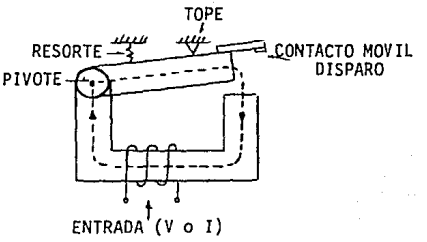
A.- Los relevadores tipo atracción electromagnética operan bajo el principio de una fuerza electromagnética producida por un flujo magnético, y es proporcional al cuadrado de - la corriente que circula por la bobina.En C.A. la fuerza - está dada por la expresión.

$$F = KI^2$$
$$= K(I_{máx}.\text{Sen } Wt)^2$$
$$\frac{1}{2} K(I^2_{máx}.- I^2_{máx}.\text{Cos } 2\ Wt)$$

Entonces la fuerza electromagnética se puede descomponer - en dos:

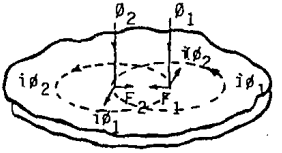
$(\frac{1}{2} K I^2_{máx}.)$ componente independiente del tiempo

$(\frac{1}{2} K I^2_{máx}. \text{Cos } 2\ Wt)$ componente dependiente -- del tiempo que oscila a - a doble frecuencia.



RELEVADOR DE ARMADURA ATRAIDO TIPO BRAZO SOPORTADO.

B.- Los relevadores tipo inducción electromagnética.Estos relevadores son los más usados para propósitos de prote---- cción y operan bajo el principio de los motores de indu---- cción. La fuerza de operación se desarrolla en un elemento móvil que puede ser un disco u otra forma de rotor de material no magnético. en la fig. anexa se muestra una sección de disco atravesada por dos flujos alternos ($\emptyset_1$ y $\emptyset_2$)que -- se encuentran defasados entre sí, cada flujo induce al a---



travesar el disco (generalmente de hierro), corrientes ---- Eddy ($i\emptyset_1$ e $i\emptyset_2$) que circulan en un plano perpendicular a - la dirección del flujo. La corriente producida por uno de -

los flujos reacciona con el otro flujo y viceversa para --- producir las fuerzas que actúan en el rotor.

como se trata de flujos alternos de forma de onda seno-- idal podemos escribir:

$$\emptyset_1 = \Phi_1 \text{Sen } Wt \ldots\ldots(1), \quad \emptyset = \Phi_1 \text{Sen } (Wt+\theta) \ldots\ldots(2)$$

θ es el ángulo de defasamiento entre los dos flujos. Considerando despreciable la autoinductancia de las corrientes que circulan en el disco podemos escribir:

$$i\emptyset_1 \propto \frac{d\emptyset}{dt}, \quad i\emptyset_1 = K_1 \Phi_1 \text{Cos } Wt \ldots\ldots(3)$$

$$i\emptyset_2 \propto \frac{d\emptyset}{dt}, \quad i\emptyset_2 = K_2 \Phi_2 \text{Cos}(Wt+\theta) \ldots\ldots(4)$$

Notamos en la figura que las fuerzas están en oposición y - consecuentemente podemos escribir la fuerza neta como sigue

$$F = (F_2 - F_1), \quad F \propto (\emptyset_2 i\emptyset_1 - \emptyset_1 i\emptyset_2) \ldots\ldots(5)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1), (2), (3), (4) en (5) tenemos:

$$F \propto K_1 K_2 \Phi_1 \Phi_2 (\text{Sen}(Wt+\theta)\text{Cos}Wt - \text{Sen}Wt\text{Cos}(Wt+\theta)$$

Agrupando las constantes en K.

$$F = K \Phi_1 \emptyset_2 \text{Sen}\theta$$

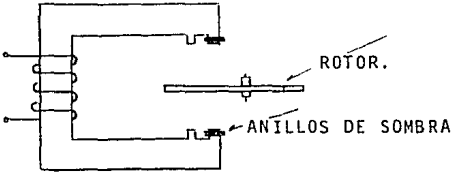
Este tipo de relevadores es muy usado en los esquemas que - usan alimentación en C.A. para el circuito de control.

Los relevadores de inducción dan la posibilidad de ajustar su velocidad de acción y se pueden obtener diferentes for-- mas de curvas tiempo corriente, dependiendo de si el rotor es de disco o de copa se conoce como relevador de disco de inducción o relevador de copa. Los tipos mas comunes de estos relevadores se conocen como de polos sombreados o de tipo wattmetro.

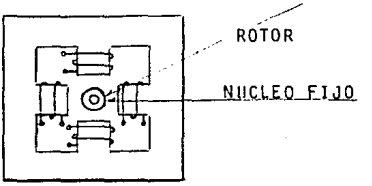
En el relevador de polos sombreados el flujo principal se - divide en dos flujos defasados en el tiempo y el espacio --

con el auxilio de un anillo de sombra.

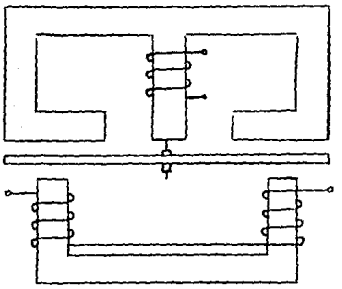
En el relevador tipo wattmetro hay dos sistemas magnéticos, obteniéndose un desplazamiento entre ellos poniendo dife--- rentes valores de resistencias entre ellos, o energizando - cada circuito por fuentes separadas cuyas salidas se encuentran defasadas, en este tipo de relevadores se pueden tener muchas variantes de construcción.



RELEVADOR DE INDUCCCION TIPO POLO SOMBREADO.



RELEVADOR DE INDUCCION TIPO COPA.



RELEVADOR DE INDUCCION TIPO WATTMETRO

TERMINOLOGIA DE RELEVADORES.

PAR DE OPERACION.-Tiende a cerrar los contactos del relevador.

PAR DE RETENCION.- Se opone al par de operación o sea tiende a mantener los contactos abiertos o cerrados.

PICK-UP.- Es el valor de corriente, voltaje o combinación de los conceptos anteriores del cual los contactos del relevador operan.

DROP-OUT.- Es el valor de corriente, voltaje o combinación de los dos, abajo del cual los contactos del relevador regresan a su posición normal.

CARACTERISTICA.- Es la variación del pick-up o drop-out puesta en una gráfica. Si coinciden será una sola característica de balance o par cero.

RELEVADOR DE SELLO.- Energizado por el contacto principal cierra sus contactos en paralelo con éste y lo releva de la tarea de condu-

cir corriente excesiva y asegura el -- disparo

SELECTIVIDAD.- Característica inherente del relevador para discriminar entre una falla en determinada - sección y condiciones anormales en otra parte del sistema.

CONSISTENCIA.- Es la exactitud con la cual el relevador se ajusta a su característica.

BANDERA.- Es un dispositivo visual, usualmente operado por gravedad, para indicar la operación del relevador

RELEVADOR INSTANTANEO.- Sin retraso de tiempo intencional.

RELEVADOR CON RETRASO DE TIEMPO.- Diseñado con medios para lograr ese retraso.

BURDEN.- Es la potencia consumida por el relevador expresa en V.A. si es C.A. o watts si es C.D. a voltaje y corriente nominales.

TIEMPO DE OPERACION.- Tiempo contado desde el momento de -- presentarse la falla hasta que el relevador opera sus contactos.

OVER REACH-UNDER REACH.- Errores en la medición del relevador que dan por resultado opera--- ción falsa o falla de operación.

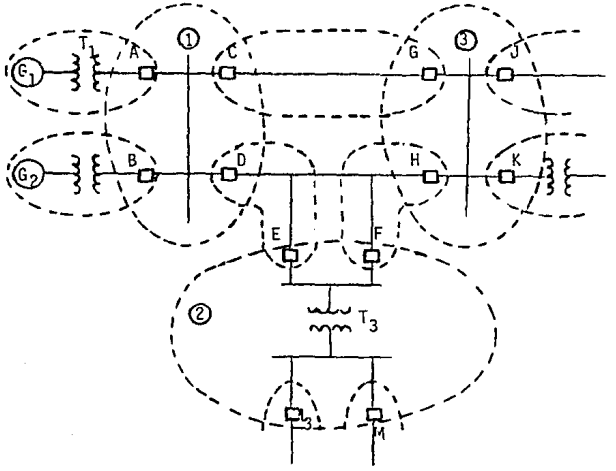
ALCANCE.- El límite remoto de la zona de protección abarcada por el relevador (término usado en relevadores de distancia)

BLOQUEO.- Medida que evita la operación de algun relevador aún recibiendo este orden de operar.

2.- PROTECCIONES PRINCIPALES Y DE RESPALDO

Un sistema de protección por relevadores puede clasifi-- carse en varios subsistemas, uno de éstos es el llamado --- sistema principal o primario y es la primer defensa contra fallas en el sistema de potencia. Este sistema primario de protección se puede representar como un conjunto de zonas - traslapadas de protección que encierra completamente al ---

sistema de potencia, por lo general estas zonas de trasla-- pe encierran o incluyen a los interruptores dado que éstos son los que separan al sistema de potencia en segmentos.



Los relevadores primarios disparan en forma instantánea sus respectivas zonas cuando se detecta una falla en algu-- na de ellas. En relación con la figura anterior una falla - en el transformador T_1 requeriría de la operación del inte- rruptor A con lo que saldría de servicio el generador G_1, por otro lado una falla entre los buses 1 y 3 requeriría - que los interruptores C y G operarán como sistema pri- mario.

Pero deben de ser confiables los relevadores, pero si -- por alguna razón fallan los primarios la solución es usar - los relevadores de respaldo.

Un concepto de la protección de respaldo es el "local" y o-

pera después de un cierto tiempo de retardo en caso de que no halla operado la primaria.

Analicemos lo anterior, supongamos la falla en T_1 lo primero que operaría sería el interruptor A, supongamos que no actúa, entonces se energiza al mismo tiempo de la falla un timer como por ejemplo 10 ciclos de la frecuencia del sist. éste contador actuará sobre la barra 1 operando los inte--- rruptores B,C,y D con lo que la protección local de respaldo agrega una medida de seguridadal sistema primario o principal.

De acuerdo a lo anterior la protección local se puede definir como una segunda línea de defensa contra los corto -- circuito, entonces una tercera defensa es la protección respaldo remota.

A diferencia de la protección de respaldo local que consiste de timers y circuitos lógicos, la protección remota - consiste de zonas separadas localizadas uno o dos buses mas allá del área que protegen.

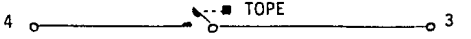
Los relevadores de respaldo también usan timers, para -- así dar oportunidad de que operen los relevadores primarios y los de respaldo locales de operar primero.

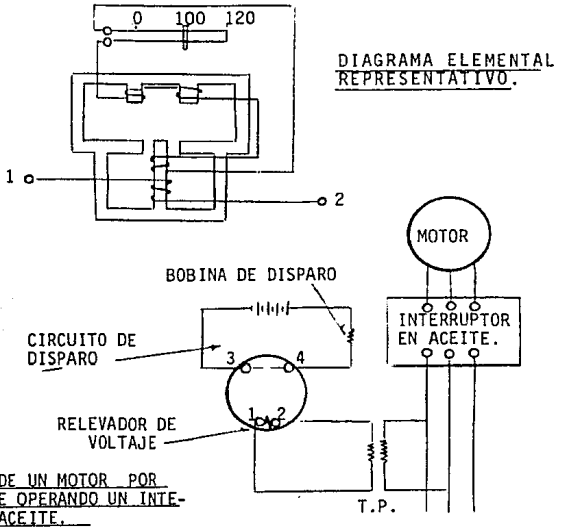
C A P I T U L O III

RELEVADORES DE TENSION, CORRIENTE Y DE TIERRA.

a.- RELEVADORES DE TENSION O VOLTAJE.

Los relevadores de tensión son los mismos que los re---- levadores direccionales de corriente, nada más difieren en el devanado, y la resistencia de la bobina de armadura. Y - se utilizan en circuitos de potencia de C.D. para responder a una cierta polaridad de la tensión. Si se destina el relevador para una inversión de la polaridad de la tensión del circuito, éste está polarizado por un imán permanente.





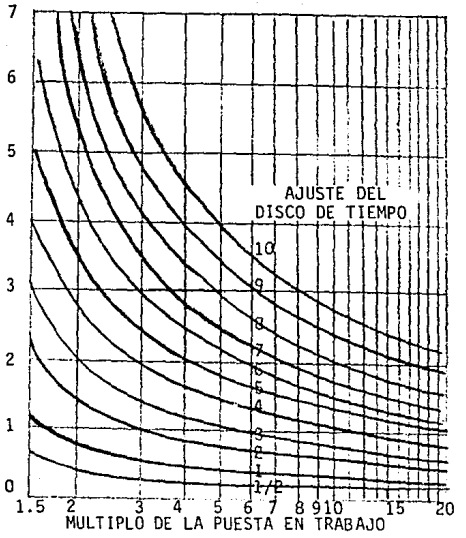
PROTECCION DE UN MOTOR POR SOBREVOLTAJE OPERANDO UN INTERRUPTOR EN ACEITE.

DESCRIPCION DE LA PROTECCION POR SOBREVOLTAJE DEL MOTOR

Un transformador de potencial en el lado de la fuente de alimentación del interruptor en aceite es conectado a las terminales 1 y 2 los cuales hacen que fluya corriente a través de la bobina principal, una regla deslizante ajustadora en serie con la bobina superior da un medio de ajuste para la corriente en la bobina superior para un voltaje dado. Supongamos que el voltaje normal del circuito es de 2300 Volt el T.P. tiene una relación de 2300/115 Volts y se desea que el disparo se produzca cuando una caída de voltaje abajo de 2000 volts, vemos que resulta un ajuste de 100 volts en el relevador de ajuste de la regla, cualquier voltaje más alto de 2000 volts hará que el disco se mueva a la derecha en contra de la fuerza del resorte hasta que llegue al tope, pero si cae abajo de los 2000 volts la fuerza del resorte será mayor que la fuerza magnética y hará que el disco gire a la izquierda cerrando los contactos y disparando el interruptor. Esta es una acción de tiempo inverso, ésto es: mientras menor sea el voltaje menor será la fuerza de oposición al resorte y más rapido se efectuará el cierre de los contactos. Si se desea que el relevador opere a otro voltaje como por ejemplo 1800 Volts o menos deberá colocarse en la marca de 90 Volts. El método de ajuste difiere en cada fabricante, pero los principios son los mismos que los descritos.

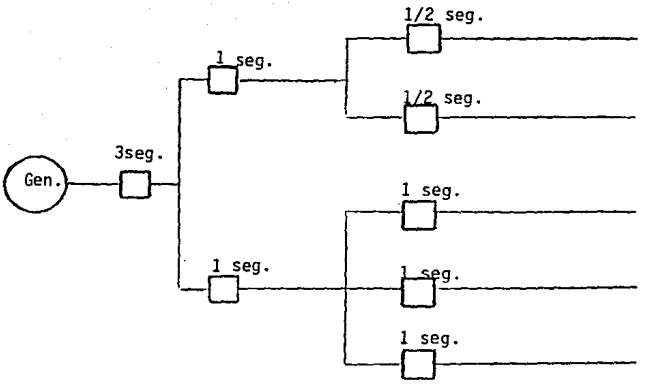
b.- RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.

Existen tres tipos de relevadores de sobrecorriente: instantáneo, tiempo retardado y combinado (generalmente se usan los combinados). Sus características de tiempo de apertura permiten formar cascadas, éstos son generalmente del tipo de induccion electromagnética pero pueden contar con un elemento instantáneo de acción alectromagnética.



CURVAS DE TIEMPO INVERSO.

En la figura cada una de las curvas indica el funcionamiento del relevador en cada una de sus posibles posiciones. En el eje de las absisas se muestran los múltiplos de la corriente mínima de operación esa - será nuestra base. Por ejemplo si tomamos la curva 10 ésta operará entre 2.5 y 20 veces la corriente mínima y con tiempo entre 3 y 7 segs. Estas características de los relevadores de sobrecorriente que produce el elmento de inducción nos permite aplicarlos a un sistema en cascada como el siguiente ejemplo, e indica que los interruptores más lejanos de la fuente pueden operar más rápidamente, en cambio los se encuentran inmediatamente pueden ajustarse a un tiempo mayor, todo ésto sobre la ba-



se de una misma corriente que fuera 5 veces la mínima de operación, el último relevador operará en 1/2 seg., el penúltimo en 1 seg. y el primero en 3 seg.

Sobre la base de otra corriente el tiempo de operación sería distinto de acuerdo con las curvas de ajuste de cada relevador, sin embargo primero operarían los últimos y después los más cercanos a la fuente de energía.

El elemento instantáneo no está basado en el principio de inducción, sino de fuerza electromagnética es de ajuste muy alto es decir opera con corrientes muy altas y su acción es muy alta.

Un ajuste extra es el de sobrecarga imaginemos que circulan 300 Amps normales, con transformadores de corriente de 300/5, su relación es de 60, ajustemos a 450 Amps. entre 60 nos da 7.5 ponemos 8. Si se desea que ésta sea de 25,50 ó 100 tendremos entonces la mínima corriente de operación del relevador o sea la máxima corriente permisible, 375, 450 ó 600 amps. y reducido a la baja tensión en los T.C. 6.25, 7.5 ó 10, escogeremos la derivación más cercana del relevador.

Los relevadores más comunes tienen las siguientes deriva--- vaciones:

4, 5, 6, 8, 10, 12, 16
1.3, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0
De tierra:

0.5, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0

En el ejemplo que estamos analizando para 6.25 amps. pondríamos la derivación 6, para 7.5 la derivación 8, y para 10 amps. la derivación 10. Esto da multiplicando por 60; -- 360, 480, 600 amps. y son las corrientes mínimas de operación según el ajuste que se quiera.

Imaginemos que deseamos que abra un interruptor con una corriente sostenida de 450 amps. y además que abra después de 1.9 segs. con una corriente de corto circuito de 3750 -- amps. y los T.C. de relación 60:1 se procederá de la manera siguiente; 3750/60= 62.5 amps. que a su vez la dividimos -- entre la corriente mínima de operación que fué de 8, nos da 7.8 de corriente mínima, si aplicamos estos datos a las --- curvas encontraremos que 7.8 la corriente mínima de operación y de 1.9 segs. la curva que satisface el problema es - de 6.

c.- RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE A TIERRA.

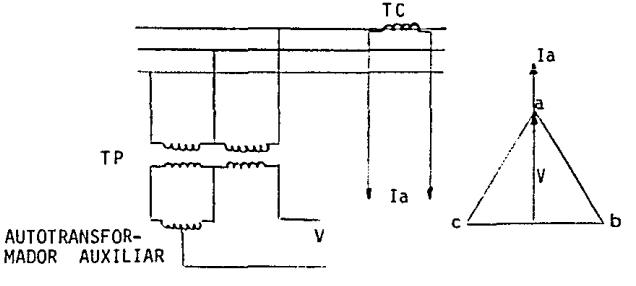
Si conectamos un relevador de sobrecorriente en el punto neutro de sus TC solo es sensitivo a las fallas a tierra. Dado a que no sienten las corrientes balanceadas de línea, no detectan corrientes de carga y por lo tanto se pueden ajustar para operar a valores mucho mas bajos de corriente que los relevadores de fase.

C A P I T U L O I V

RELEVADORES DE POTENCIA

Los relevadores de potencia generalmente se utilizan --- para condiciones diferentes de los relevadores de cortocircuito. Estos relevadores se polarizan por una tensión de un circuito, y se seleccionan cuidadosamente las conexiones de corriente y las características del relevador. De tal manera que el par máximo en el relevador aparece cuando el factor de potencia es unitario. El relevador de potencia se -- pondrá en servicio cuando el flujo es en un sentido y se repondrá cuando pasa la dirección opuesta.

En un circuito monofásico, se utiliza un relevador di--- reccional que tenga par máximo cuando la corriente - - - - éste en fase con la tensión de éste. Puede utilizarse el -- mismo relevador en un circuito trifásico si la carga está - equilibrada, con una tensión de polarización debe estar en -- fase con la corriente de una de las fases.

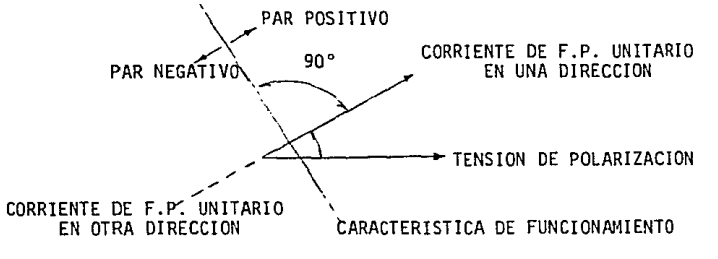


CONEXIONES Y DIAGRAMA VECTORIAL PARA UN RELEVADOR DE POTENCIA DONDE -- NO SE DISPONE DE LA TENSIÓN DE FASE A NEUTRO.

Se utiliza un relevador polifásico cuando la carga está desbalanceada o tres relevadores monofásicos cuyos pares -- se suman para un conjunto de contactos. Las magnitudes de - influencia de un relevador puede ser una de las siguientes combinaciones.

Elemento No.	Tensión	Corriente
1	Vac	Ia
2	Vcb	Ic
3	Vba	Ib

Entonces un relevador de potencia distinguirá el flujo - de potencia en una dirección o la otra desarrollando par -- positivo (puesta en trabajo) para una dirección, y par ne-- gativo (reposición) para la otra. La componente de la co--- rriente de factor de potencia unitario se invertirá a medi- da que se invierta el flujo de potencia, como se muestra en diagrama para un relevador conectado cuando el par máximo - exista cuando la corriente adelanta a su tensión en 30°.



CARACTERISTICA TIPICA DE FUNCIONAMIENTO DE UN RELEVADOR DE POTENCIA

En general los relevadores de potencia se utilizan para - la respuesta a cierta direccion del flujo de corriente bajo-

condiciones trifásicas equilibradas y para magnitudes de tensión casi normales. Entonces cualquier combinación de corriente y tensión puede utilizarse en tanto el relevador tenga el ángulo necesario de par máximo, de tal manera que éste se desarrollará para corriente de factor de potencia unitario en el sistema trifásico.

Se dispone de relevadores de potencia que tienen corrientes mínimas de puesta en trabajo ajustables. Estos pueden calibrarse en función de los amperes mínimos de puesta en trabajo a la tensión nominal o de los watts mínimos de puesta en trabajo. Por lo tanto dichos relevadores pueden ajustarse para responder a cualquier potencia deseada que se proporciona en una dirección dada. Estos relevadores son watthorímetros con los totalizadores del contador reemplazados por contactos y tienen un resorte de control.

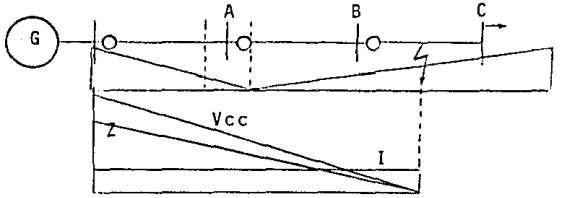
Los relevadores de potencia tienen características de acción retardada para evitar el funcionamiento no deseado durante las inversiones de potencia momentáneos, como ondas de potencia cuando hay cortocircuitos. Esta acción retardada puede ser una una característica de tiempo inverso inherente del mismo relevador o puede proporcionarse por un relevador separado de acción retardada.

C A P I T U L O V

RELEVADORES DE DISTANCIA.

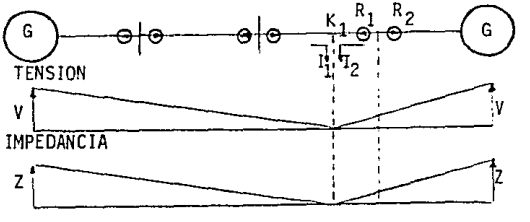
La protección con escalonamiento rígido en sentidos -- opuestos no es posible tratándose de líneas de forma anular que se alimentan por varios puntos. Tal sistema de -- protección falla también en las redes de mallas. En esos casos hay que recurrir a un dispositivo en que los tiem-- pos de desenganche no estén ajustados rígidamente, sino - que se adapten a la posición del lugar de la avería.

Para aclarar el principio de protección de lo antes -- mencionado, consideraremos en primer término el caso sencillo de un tramo alimentado unilateralmente y que solo - tiene una carga.



Si se produce en la línea un cortocircuito, la corriente de éste a lo largo de aquella adquiere un valor cons-- tante (suponiendo que en A y B no se tome corriente alguna), mientras que la tensión irá creciendo, en cambio desde el lugar hasta la central (ver esquema). La impedancia Z=V/I que se puede medir en los distintos puntos de - la línea es nula en el lugar del corto circuito (supues-- to corto circuito franco) y se va haciendo mayor en di--- rección de la central. Si se instalan relevadores cuyos -

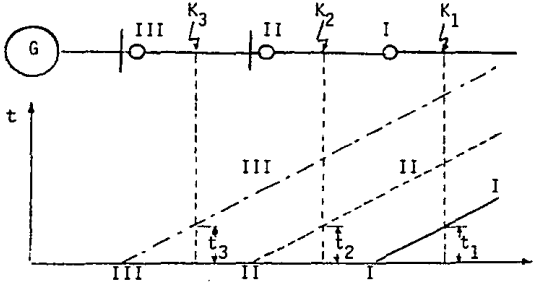
tiempos de desenganche sean proporcionales a las impedancias, determinadas por un artificio de medida y por consiguiente, también a las distancias hasta el lugar del corto circuito, entonces aquel que se encuentre próximo al lugar de la avería será el que responda más rápidamente porque es el que mide la menor impedancia y por lo tanto el que tiene que denotar un tiempo de funcionamiento mínimo. La excitación de un relevador de esta clase puede hacerse por medio de otro de sobreintensidad o bien por medio de un relevador que responda cuando la impedancia descienda por debajo de un valor dado. Si tenemos una línea alimentada por dos costados, tal como se indica en el esquema de abajo entonces en el caso de una avería por cortocircuito en K_1, los relevadores R_1 y R_2 medirán iguales impedancias, sin embargo, solamente el relevador R_1 debe responder; por consiguiente, para evitar falsos desenganches, ambos relevadores deben recibir dispositivos direccionales que permitan ese desenganche sólo cuando el flujo de corriente venga de la barra colectora.



No es absolutamente necesario partir de las impedancias de la línea para fijar los tiempos de desenganche de los relevadores, se obtiene igual resultado empleando las reactancias, con la ventaja, de que en éstas últimas

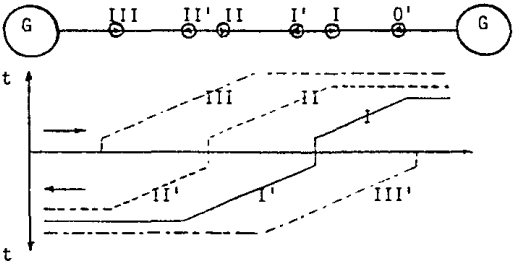
los arcos de cortocircuito que en las redes de elevada -- tensión alcanzan en corto tiempo relativamente grandes -- longitudes y apreciables resistencias óhmicas, no influ-- yen en ellos, en contraposición a los relevadores de impedancia, los cuales, por causa del arco miden una distan-- cia demasiado grande al punto de corto circuito y como -- consecuencia, se disparan después de un tiempo demasiado largo. El relevador de reactancia tiene, sin embargo, la desventaja de que en caso de oscilaciones en la red, tiene más propensión a ocasionar desenganches falsos que uno de impedancia, por lo que, comúnmente los relevadores de distancia rápidos actuales no emplean la medida de reac-- tancia pura. La influencia de la resistencia del arco --- eléctrico se compensa en su mayor parte por medio de co-- nexiones especiales. Además, los actuales relevadores de distancia rápidos trabajan muy de prisa, de tal modo que disminuyen la posibilidad de que se formen largos arcos eléctricos, con lo cual se falsea menos la medición.

Los relevadores de distancia pueden tener distintas -- curvas o líneas características, antes se empleaban casi-siempre características contínuas, en que el tiempo de -- funcionamiento del relevador era directamente proporcio-- nal a la distancia. Sea un tramo alimentado por un solo - costado, provisto de los relevadores de distancia señalados en el esquema de abajo.



El tiempo de desenganche del relevador I será nulo para un corto circuito que se produzca en el origen del tramo y aumentará proporcionalmente con la distancia a ese origen. Por consiguiente, la línea inclinada nos dará la medida del tiempo de desenganche t_1 para el cortocircuito en cualquier punto del tramo, lo mismo sucede para los relevadores II y III cuyos tiempos de desenganche están dados por las líneas inclinadas II-II y III-III respectivamente. En el primer caso responde el relevador I, en el segundo el relevador II y en el tercero el relevador III. Si al producirse un cortocircuito en K_1, falla se el relevador I, entonces después de un tiempo algo más largo el relevador II se hará cargo de la desconexión. La protección de impedancia ofrece, por tanto, al igual que la protección escalonada normal, una especie de reserva para el caso en que falle un relevador.

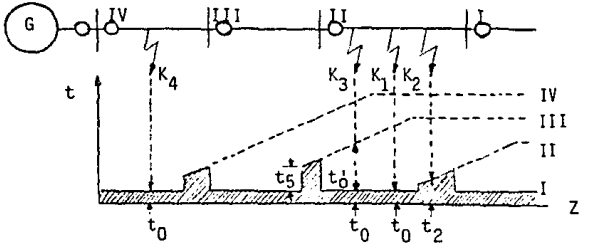
En un tramo alimentado por los dos costados del esquema de abajo las curvas graduales se desarrollan semejantemente.



En el esquema, las líneas graduales para los relevadores que responden en caso de flujo de corriente hacia la derecha, se han llevado por encima del eje de las abscisas, y las líneas para los relevadores que responden con corrientes hacia la izquierda, se han llevado por debajo.

Se ha supuesto que los relevadores necesitan también en - caso de impedancia nula, un pequeño tiempo para respon--- der. Además, se ha previsto que cada relevador tiene un - tiempo de marcha máximo, que no se puede rebasar, por --- grande que sea la impedancia. Una protección de distancia o trabaja satisfactoriamente en el caso de que las longitudes de los tramos sean muy diferentes, ya que, en los - tramos cortos los tiempos de desconexión son muy pequeños mientras que en los tramos de mayor longitud se hacen relativamente grandes cuando el cortocircuito se origina -- en el extremo del tramo.

Para ver claramente el modo de funcionar del relevador de impedancia rápido consideraremos la protección de una línea alimentada por un solo extremo. A los distintos --- relevadores de impedancia se les da una característica -- tal, que al 80% de cada tramo de la línea corresponda el - tiempo acortado t_0 del esquema de abajo.



Como se observa, solamente después de este tiempo t_0 - comienza con un pequeño salto la característica ascendente del relevador. Si aparece por ejemplo un cortocircuito en el punto K_1 entonces el desenganche se efectúa con el tiempo base t_0. Si el cortocircuito se produce bastante -

cerca del extremo del tramo en K_2, tendremos el desenganche después de un tiempo mayor t_2. Si el cortocircuito es en K_3, o sea muy al principio del tramo el tiempo de desenganche coincide igualmente con el tiempo acortado t_0.- El relevador III conectado delante no desengancha porque su tiempo es superior en t_0 al tiempo del relevador II. - Para evitar en todo caso el desenganche del relevador III es preciso que t_0 tenga una magnitud determinada, la cual puede variar por medio de una elección adecuada del salto de tiempo t_5 (desplazamiento paralelo de la característica de desenganche) en el relevador III. Si, en el caso de cualquiera de los cortocircuitos supuestos, fallase el relevador II o el interruptor, entonces responderá en todo caso, con un tiempo mayor el relevador III adscrito al tramo anterior y si éste también fallase entraría en juego el relevador IV con un tiempo algo mayor. Así pués, en la protección por impedancia se tiene una reserva, ya que siempre cada relevador es protegido por el que está conectado delante de él. Al adoptar las características de los distintos relevadores montados en serie hay que tener cuidado, para evitar falsos desenganches, que no se crucen sus características y que los relevadores vecinos presenten entre si suficiente distancia de tiempo.

En la protección de distancia hay que considerar que los relevadores no miden la impedancia o reactancia efectiva de la línea, sino un valor que viene dado por los transformadores de corriente y de tensión. Si por ejemplo la impedancia de la línea es $Z=V/I$ y a través de los transformadores de medida se aplica al relevador una tensión $V'=V/r_{tv}$ y una corriente $I'=I/r_{tl}$ (r_t= relación de transformación), entonces la impedancia medida por el relevador resulta ser $Z'=V'/I'=V/I.\frac{r_{ti}}{r_{tv}}$, existiendo por --

lo tanto entre la impedancia medida y la efectiva la si-- guiente relación:

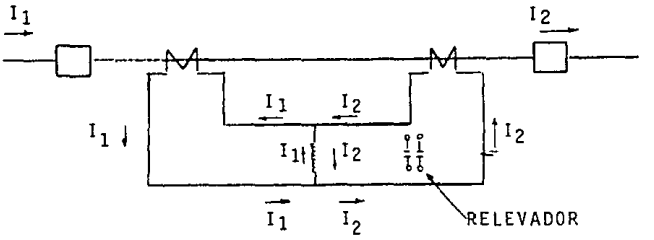
$$Z' = Z \cdot \frac{r_{t1}}{r_{tv}}$$

C A P I T U L O V I

RELEVADORES DIFERENCIALES

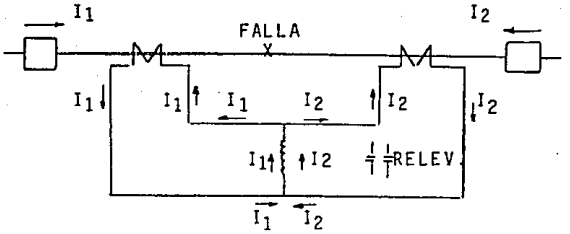
Los relevadores diferenciales tienen un amplio mârgen de aplicación pues lo mismo se puede proteger una longitud de un circuito, un embobinado de un generador, un bus, etc.-- y en todos ellos opera con el máximo de selectividad y el menor tiempo de desconexión.

La protección diferencial estriba esencialmente en la - diferencia de dos magnitudes eléctricas al compararlas --- vectorialmente dentro de un relevador, como se muestra en el esquema de abajo. La diferencia de las corrientes que - pasan por la bobina es igual a cero, en condiciones normales, ya que la corriente I_1 es igual a la corriente I_2



Si existiera una falla en el interior de esa longitud,- las corrientes I_1 e I_2 serán distintas en magnitud y en - sentido. Entonces aparecería una corriente que en el relevador cerraría unos contactos y éstos a su vez, abrirían - los interruptores extremos de la línea, como se muestra en el esquema de la hoja siguiente.

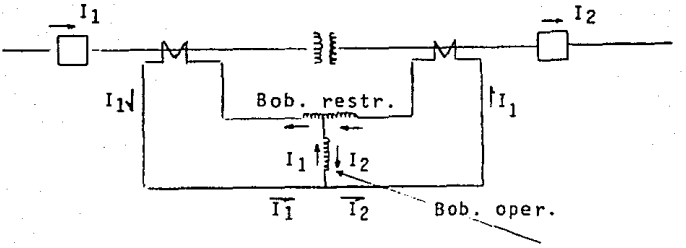
Si la falla tuviera lugar en el exterior de la zona --- protegida por los relevadores diferenciales estaríamos ---



otra vez en la primera condición, pero en este caso las -- corrientes I_1 e I_2 serán mayores que las normales.

Esta sección protegida puede ser substituída por cual-- quier equipo eléctrico como pueden ser: generadores, trans formadores, líneas, etc. Sin embargo, como las corrientes de entrada y salida pueden ser distintas debido a los cam- bios de voltaje, será necesario que los TC den la relación de transformación correcta en amperes, a fin de que la can tidad de energía que entra por un lado, sea igual a la que sale por el otro, y que la diferencia vectorial de las co- rrientes entrantes y salientes, sean igual a cero, para -- que la condición de estabilidad permanezca inalterable. -- En caso de una falla interna, existirá un desbalanceo y al comparar las corrientes, habrá una diferencia que hará o-- perar la protección.

Conel fin de estabilizar el funcionamiento de estos re- levadores diferenciales, se ha incluído en ellos una bobi- na más, a la cual se le ha llamado restrictora. Los efec-- tos de las bobinas son opuestos y el funcionamiento de és- tas se explica en el esquema de la siguiente hoja.La bobi- na operadora trabaja en proporción a la diferencia de las corrientes I_1-I_2, a medida que esta diferencia es más acen



tuada, tiene mayores efectos. La bobina restrictora está - formada por dos partes , una es atravezada por una corriente proporcional a I_1, y la otra proporcional a I_2, y como la derivacion está en el punto medio de los ampere-vuelta de las dos mitades, son proporcionales a $(N/2 \cdot I_1 \cdot N/2 \cdot I_2)$ (siendo N, el número de vueltas), lo que da por resultado que la suma de éstas dos partes es igual a $N/2(I_1-I_2)$ - Por lo tanto: bobina restrictora $a(I_1-I_2)/2$

Existe sin embargo una cantidad admitida de no operación comprendida entre estas dos corrientes I_1 e I_2, que - permite que en la diferencia esté incluida cierta cantidad de energía que puede representar las pérdidas naturales de un transformador o algunas otras corrientes de fuga naturales del sistema y aún las diferencias que marcan los TC, cuando se saturan sus núcleos con corrientes muy altas y por lo tanto, esta diferencia I_1-I_2 es imposible mantenerla en cero. Esta es la razón por la que los relevadores se adaptan para incluir una diferencia de corriente antes de operar.

Cuando nuestras corrientes aumentan por ejemplo en un corto circuito exterior a nuestra zona protegida la diferencia también aumentaría y no conviene que nuestros relevadores operen aún en este caso por lo que se construyen

estos aparatos para operar no con la diferencia de corriente sino con el por ciento de diferencia con respecto a una de las corrientes, I_1 e I_2 (generalmente la mas pequeña) - la cual si permanece constante denominándose por esta razón relevadores tipo Porcentaje Diferencial.

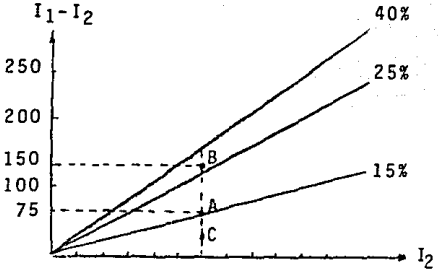
CARACTERISTICAS DE POR CIENTO DE PENDIENTE DE UN RELEVADOR DIFERENCIAL.

Esta característica de los relevadores diferenciales -- es de las más interesantes y nos muestra rápidamente las condiciones dentro de las cuales va a operar. Se pueden encontrar por ejemplo ajustes en el aparato para dar 10, 15, 25, 40, atc. por cientos de pendiente que el operador puede escoger de acuerdo con las condiciones del sistema. Así por ejemplo, la corriente que atraviesa un sistema de 500 amps. y se va a permitir una máxima - diferencia de corrientes de 75 amps., el por ciento de la diferencia será: $(75 \cdot 100)/500 = 15\%$

De donde se ve que habrá que ajustar el relevador a 15% de pendiente.

La característica de pendiente se explica de la manera siguiente, la bobina operadora depende o está su funcionamiento en proporción a la diferencia de las corrientes $I_1 - I_2$, en cambio la bobina restrictora se rige por la semisuma de las corrientes: $(I_1 - I_2)/2$, o sea la corriente -- media.

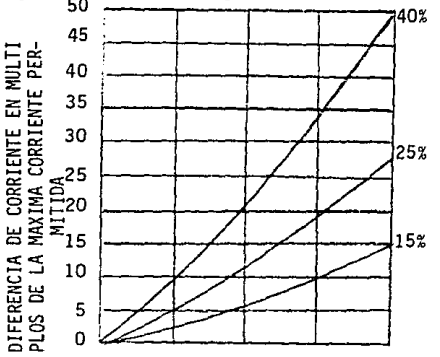
Los relevadores se construyen para operar no solo con la corriente media, sino con la corriente más pequeña o - sea la que entra y sale del sistema, para mayor comodidad en los cálculos y ajustes. Usando entonces la diferencia de corrientes y la corriente I_2 que suponemos es la --- parte de corriente no afectada se puede trazar el siguiente esquema.



La recta que teóricamente pasa por el orígen y que se - ha marcado con 15% de los valores de la diferencia de co-- rrientes para cualquier valor de la corriente I_2 que man-- tienen al relevador sin operar, pero si I_2 da 500 amps. -- se tiene una diferencia mayor de 75 amps., es decir, que - caemos en el punto A, los contactos permanecerán cerrados, pero en su límite y a cualquier diferencia mayor para esta misma corriente por ejemplo 150 amps. punto B hará traba-- jar al relevador. Cuando la diferencia está por abajo de - esta recta de pendiente 15% por ejemplo el punto C, los -- contactos permanecerán cerrados y la bobina restrictora -- aumentará su esfuerzo por mantenerlos en su posición de no operación.

En general para cualquier curva de pendiente determina- da por el ajuste del relevador, si el punto que representa las condiciones del sistema diferencialmente protegido cae debajo de la recta, no operará el relevador, pero si cae - en la parte superior cerrará contactos y éstos darán paso a la corriente del circuito de apertura de uno, dos o va-- rios interruptores del sistema, que aislen una falla en la parte encerrada por los transformadores de corriente que - se instalen para este objeto.

Los fabricantes publican las curvas verdaderas que en - general son parecidas a éstas, sin embargo se ajusta a este principio y la construcción de sus elementos variando - ligeramente. ver figura.



Múltiplos de la máxima corriente permitida que pasa a - través del sistema. Los ejes se marcan en múltiplos de la máxima corriente de operación, o máxima corriente permisible de operación.

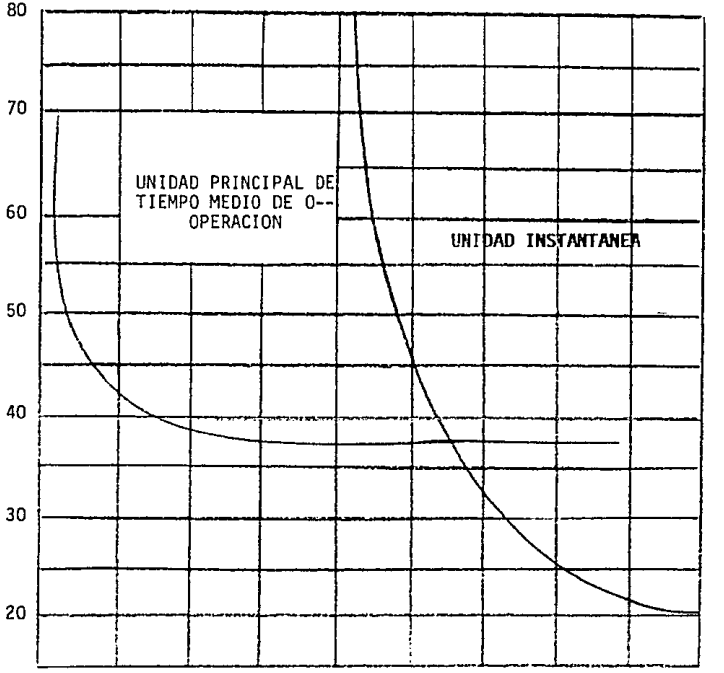
CARACTERISTICAS DEL TIEMPO.-

Los relevadores diferenciales no necesitan tener características de tiempo retardado o tiempo inverso como los - de sobrecorriente u otros, su construcción cae dentro de - la clasificación de relevadores instantáneos aún cuando -- hay unos más rapidos en su operación que otros. La razón - para ser instantáneos es que al proteger una zona completamente determinada y encerrada entre los transformadores de - corriente detectores, no es necesario considerar secuencias de operación con respecto a otra parte del sistema -- y mientras más rápidamente se libre el equipo de una falla menores serán los efectos de deterioro.

Para dar idea de la rapidez de operación, de este tipo

de relevadores se muestra una curva de tiempo de un relevador BDD especial para transformadores, donde se nota que el tiempo cae dentro de milésimos de segundo.

Existen relevadores diferenciales que adicionalmente a su elemento normal, tienen uno que opera con corrientes muy altas y que se designa como elemento instantáneo de sobrecorriente aún cuando está operando también con las corrientes diferenciales, es decir cuando ocurre una falla en el interior del sector protegido por este sistema ver - fig. de abajo.



C A P I T U L O V I I

PROTECCION DE TRANSFORMADORES.

A.- PROTECCION DE FALLAS A TIERRA
B.- PROTECCION DIFERENCIAL
C.- PROTECCION BUCHHOLZ

A.- PROTECCION DE FALLAS A TIERRA.

Relevadores direccionales se han construido para la protección de transformadores para fallas a tierra que han dado mayor sensibilidad y selectividad que los relevadores de sobrecorriente de tierra, como fácilmente se podrá deducir solamente se podrá aplicar a transformadores con neutro a tierra.

Su principio es la comparación de dos cantidades, una de las cuales se toma para polarizar. Estos relevadores direccionales son del tipo de inducción sobre un disco y tienen unidades instantáneas electromagnéticas.

Desde el punto de vista de la polarización se dividen en dos tipos: las de polarización por corriente y las de polarización por voltaje.

Las primeras se utilizan en la conexión a tierra del neutro del transformador de potencia como se ve en la figura número 1.

Cuando se presenta una falla a tierra en el alimentador se genera una corriente que pasa por el neutro del transformador y ésta mediante el T.C. que existe en el neutro se envía al relevador, al mismo tiempo los T.C. envían las señales de desbalanceo al otro elemento del relevador y éstas se hacen operar cerrando sus contactos.

Mediante ajustes de estos relevadores se pueden obtener retardos y variaciones en el tiempo de operación cuyas características también son de tiempo inverso o instantáneo.

Los relevadores de polarización por potencial utilizan un juego de transformadores de potencial conectados en estrella - delta como se muestra en la figura 2.

FIG.1

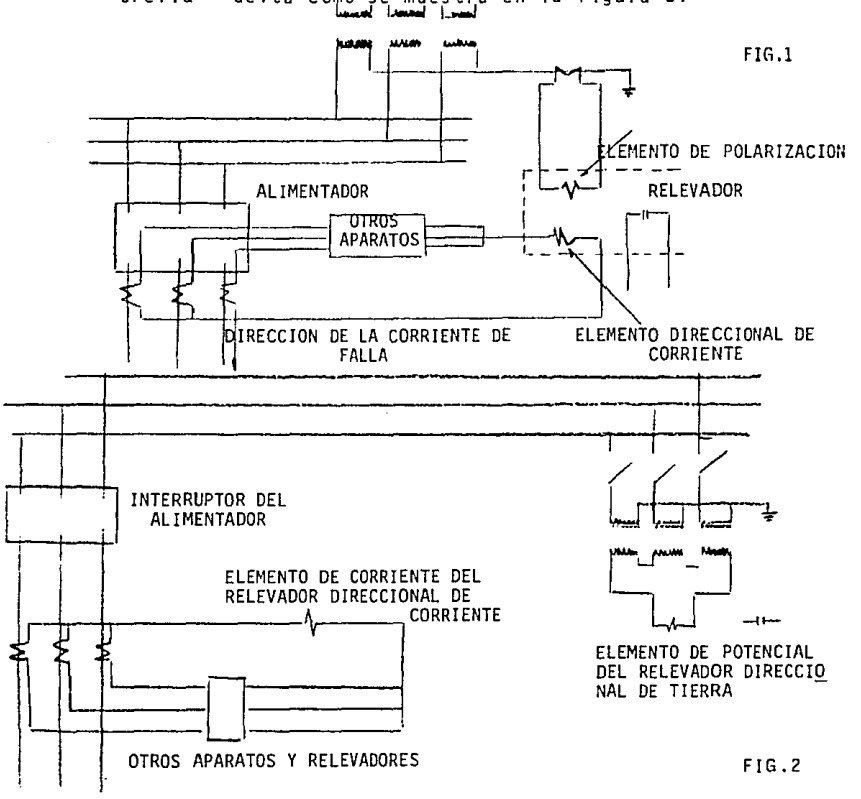


FIG.2

El método para obtener la característica direccional - en los relevadores de tierra, debe ser comprendido perfectamente para poder aplicarlos correctamente.

El término polarización debe entenderse como aquella característica que tienen ciertas cantidades vectoriales de no cambiar de sentido y que nos puedan servir de referencia para medir los ángulos de desplazamiento de aquellos otros que si cambian de dirección. Esto desde luego debe ser cosa relativa entre ellos, pero las que tomamos como base es la que se ha dado en llamar de polarización.

Tal referencia puede tomarse de cualquier parte del sistema, cuya corriente o voltaje no cambian relativamente a las inversiones que tenga la corriente en otra parte del sistema, como es en la corriente del neutro del transformador de potencia conectado en estrella-delta.

B.- PROTECCION DIFERENCIAL.

La protección diferencial de transformadores de potencia se emplea como protección contra fallas interiores y exteriores situadas dentro del margen de protección de los transformadores de corriente.

Utilizándose para detectar ciertas fallas, como por ejemplo: descargas eléctricas en los bornes del transformador.

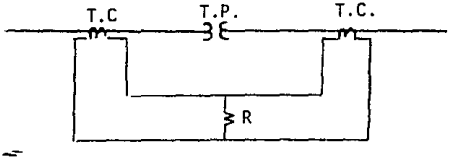
En general, para decidir sobre la instalación de una - protección diferencial se debe considerar los siguientes puntos: tamaño del transformador a proteger, disponibilidad de transformadores de reserva, tiempos de cambio y reparación del transformador a la red, etc. Como criterio - fundamental para el empleo de la protección diferencial -

se puede indicar que para grandes transformadores de potencia con una potencia arriba de 8 MVA siempre se debe prever una protección diferencial.

En especial la protección diferencial se emplea cuando se conectan transformadores en paralelo.

Un relevador diferencial para transformador compara las corrientes que entran y salen en la zona protegida por intermedio de transformadores de corriente cuyas relaciones de transformación son tales que sus corrientes secundarias sean iguales en condiciones normales de operación.

La figura 3 muestra el arreglo esquemático de la protección diferencial para transformadores de potencia.



La polaridad de los transformadores de corriente circula normalmente sin pasar a través del relevador durante las condiciones de carga normal y externas. La bobina del relevador recibe el vector suma de las corrientes secundarias de los T.C., la cual normalmente es cero.

No obstante, el principio tan sencillo en que se basa la protección diferencial para transformadores de potencia, presenta en la práctica tres desventajas.

La primera está relacionada con la característica de -

los transformadores. En virtud de que los relevadores diferenciales reciben magnitudes de los secundarios de los T.C. es necesario que dichos transformadores reproduzcan exactamente las intensidades primarias, incluso con las intensidades máximas que circulan en el caso de corto circuito externo. Esta condición es difícil de conseguir por una serie de dificultades entre las cuales se puede citar: la - dificultad de encontrar dos transforms. con la misma curva de saturación, ya que ésta depende de la calidad de hierro con que se hayan construido sus núcleos. Por lo tanto si se tienen dos transformadores con diferentes curvas de saturación se presenta el problema de que uno de ellos alcanza la zona de saturación primero que el otro. Desde ese - momento deja de transformar la intensidad primaria permaneciendo la secundaria casi constante, mientras que el otro transformador sigue transformando correctamente. Esta intensidad circula por el relevador haciéndolo operar erró-- neamente.

Lo anterior, hay que evitarlo y se logra en la actualidad estabilizando la protección diferencial.

Por otro lado, como los transformadores de corriente - son requeridos en circuitos de diferentes voltajes (alta y baja tensión del transformador protegido) pueden surgir diferencias apreciables en las respectivas corrientes secundarias cada vez que ocurra una falla, aunque estas corrientes tengan valores iguales con cargas normales.

La segunda desventaja está relacionada con los derivadores (taps) de los transformadores. Todos los grandes -- transformadores están provistos de cambiadores de relación para operar en vacío y tener posibilidades de cambiar la - relación de transformación para operar satisfactoriamente

con diferentes exigencias. Como la relación del transformador varía al cambiar los taps, la relación entre las corrientes del primario y secundario de los T.C. pueden estar hechas para un solo punto del rango del cambiador de taps. En otros puntos un desbalance de corrientes circulará en el relevador diferencial.

La tercera desventaja se refiere a la corriente magnetizante. Al desconectar un transformador de potencia la corriente de magnetización sigue la curva de histéresis del núcleo hasta cero, y la densidad de flujo hasta un valor residual B_r el cual es aproximadamente 60% de $B_{máx}$. En condiciones normales el flujo y el voltaje aplicado están defasados aproximadamente 90°. Si cuando se energiza de nuevo el transformador en el instante de la onda de voltaje que corresponde normalmente a la densidad el actual B_r en el núcleo, la energización será una suave continuación de la operación anterior sin dar lugar a un fenómeno transitorio. En la práctica, el instante de cierre del interruptor está fuera de control, y por lo tanto, prácticamente es inevitable un transitorio magnético.

La corriente de magnetización transitoria máxima ocurre si el transformador es energizado, cuando la onda del voltaje pasa por el cero correspondiente a la densidad máxima de signo contrario a la densidad residual B_r. En este caso, medio ciclo después, la densidad de flujo en el núcleo alcanzará un valor de $2B_{máx.} + B_r$ produciéndose una sobre saturación en el circuito magnético, dando lugar a que la corriente de magnetización alcance valores pico del orden de varias veces los valores de cresta normales a plena carga.

Estos picos son atenuados de acuerdo con la constante

de tiempo prevaleciente:

$T = Lo/6$

T=cte. de tiempo

$Lo = Xo/w$ $w = 2\pi f$

Xo= reactancia sin carga para la condición de saturación prevaleciente.

R=resistencia en el sistema de la fuente al banco.

f=frecuencia del sistema.

Debido a que Lo depende de las condiciones de saturación la constante de tiempo T se incrementa al disminuir la corriente es decir, la saturación. En grandes transformadores, de 5-10 seg. pueden ocurrir antes de que la corriente de magnetización haya sido reducida a su valor normal.

Analizando el registro oscilográfico de esta corriente transitoria, puede verse que consiste principalmente de una componente de C.D. atenuada, una fundamental de la frecuencia del sistema, una segunda armónica, aparte de un gran número de armónicas de orden mayor pero de baja amplitud. Los valores relativos de estas componentes, referidos en por ciento de la fundamental son:

Fundamental	100 %
Componente de C. D.	40-60 %
Segunda armónica	30-70 %
Armónica restantes (rms)	10-20 %
Valor rms resultante	110-140 %

La probabilidad de que ocurra la máxima corriente transitoria, al energizar un transformador monofásico es pequeña.

En transformadores o banco trifásicos es prácticamente imposible conectar las tres fases simultáneamente sin producir una corriente transitoria, ya que si el instante de cierre es el más favorable para una de las fases, será desfavorable para las otras dos. Además, en los transformadores trifásicos de construcción normal, también se produce una corriente de magnetización transitoria en la fase energizada al momento del voltaje máximo, debido a la acción magnética de las otras dos fases, tal corriente transitoria es simétrica, es decir no contiene componente de C.D., mientras que la distribución de los valores relativos de las otras componentes, sigue más o menos la indicada anteriormente.

La corriente de magnetización transitoria máxima de un banco trifásico, de tres hilos, es generalmente menor en intensidad que la producida por un banco monofásico, sin embargo, las corrientes resultantes son más complicadas tomando en cuenta que las corrientes de línea deben sumar cero. En un banco estrella-delta de tres transformadores monofásicos el valor máximo de la corriente transitoria es 2/3 del valor máximo en una de las unidades, en operación monofásico.

Al energizar un banco de transformadores, que opera en paralelo con otro ya energizado, la mayor parte de la componente transitoria de C.D. del primer banco tiende a regresar a través del segundo banco, en vez de regresar a través de la resistencia de las líneas de alimentación, saturándola y causándole que experimente también un fenómeno transitorio de relativa larga duración.

La corriente de magnetización transitoria fluye por la bobina de operación del relevador diferencial, y generalmente, es suficiente para operarlo y disparar el interrup-

tor, desconectando de nuevo al transformador.

La magnitud de la corriente transitoria puede reducirse utilizando un interruptor de dos pasos, el cual conecta una resistencia en serie en el primer paso, que reduce el voltaje aplicado al transformador a una fracción del voltaje del circuito, el segundo paso pone en corto circuito la resistencia.

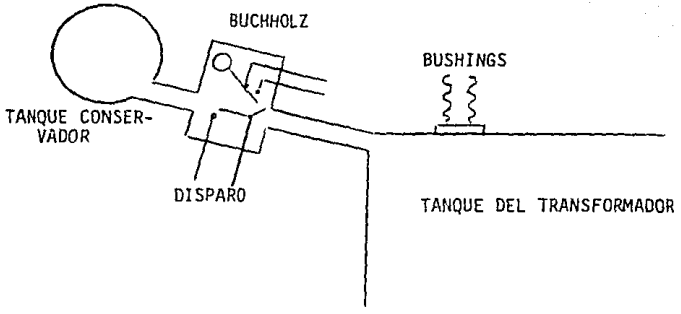
También se puede reducir la magnitud del transitorio - eliminando la densidad de flujo residual al desconectar el transformador, desmagnetizándolo por medio de un condensador conectado en paralelo.

C.- PROTECCION BUCHHOLZ.

El fenómeno producido en transformadores de aceite al ocurrir una falla fué aprovechado por M. Buchholz para el desenganche del dipositivo de protección que aisla al - -- transformador averiado. Según la clase de avería se producirá gas, como por ejemplo el gas producido por las corrientes parásitas, corto circuitos entre espiras, conexiones - defectuosas, o también se produce gas en forma violenta -- por arcos voltáicos de gran energía. El relevador reaccionará al almacenarse en él, suficiente gas haciendo sonar - una alarma o encendiendo una luz de aviso, o bien desconectará el transformador si a causa de una falla fluye el --- aceite aislante hacia el tanque conservador con una velocidad mayor de la ajustada, también el relevador vigila el - nivel del aceite del tanque conservador, (Ver esquema).

En el esquema se muestra el relevador Buchholz, éste - está montado en la tubería que va del tanque del transformador al tanque conservador, la posición más adecuada para detectar los gases que se forman en el transformador es --

ésta: la tubería generalmente se conecta inclinada para - garantizar una operación adecuada.

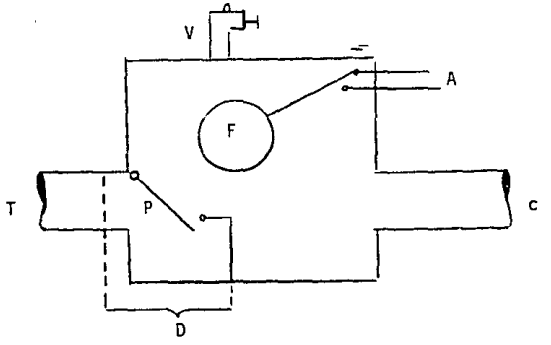


Generalmente los relevadores están formados interiormente por dos flotadores, uno en la parte superior y otro en la parte inferior. Si a causa de una avería interna se forman burbujas gaseosas, éstan ascienden y alcanzan al - relevador, en el cual desplazan poco a poco al líquido. - Como consecuencia disminuye el empuje ascencional del flotador superior, el cual se mueve hacia abajo lo que hace bascular un tubo de mercurio que cierra un contacto disparándose una señal. El personal es así prevenido y puede investigar la causa del disparo, y si continúa, desconectar el transformador para observarlo detenidamente.

Los cortos circuitos en el interior del transformador van ligados siempre a un desarrollo de gases, a consecuencia de ello el aceite es impulsado hacia el tanque conservador.

El relevador Buchholz consiste esencialmente de un depósito cerrado, con un flotador F en la parte superior y

una paleta giratoria P frente al orificio de comunicación con el tanque T. Normalmente el depósito está lleno hasta salir el aceite por la válvula V, cuando se abre ésta; el flotador toca la tapa y la paleta está caída. Cuando ocurre una falla voluminosa en el devanado, el arco que se forma desplaza al aceite y lo arroja hacia el tanque conservador. Al pasar por el relevador en dirección a C, el aceite empuja y levanta la paleta hasta hacer contacto con un botón inferior (o mover un interruptor de mercurio) -- que cierra el circuito D conectado al disparo del interruptor principal, y la desconexión se produce. Si la falla ha sido de poca importancia, los gases producidos en el aceite van hacia arriba y se acumulan en la parte donde está el flotador, haciendo que baje éste y cierre un circuito A y someterlos a análisis, se acostumbra tomar muestras de los gases y analizarlos para tener idea del tipo de falla que se producirá si no se toman en cuenta las medidas adecuadas. Los gases formados por la acción de arcos eléctricos incluyen hidrógeno, hidrocarbones y monóxido de carbono.



Cuando un transformador es puesto por primera vez en - servicio, el aire atrapado en los embobinados puede producir señales de alarma innecesaria. En transformadores de - alta tensión es costumbre expulsar el aire efectuando un - vacío durante el llenado de aceite del tanque transforma-- dor.

Los relevadores Buchholz pueden ajustarse para dar la alarma cuando el gas acumulado alcanza un determinado volúmen que depende del tamaño del transformador como se indica en la tabla 1.

VOLUMEN DE GAS PARA OPERAR LA ALARMA.

Tamaño de transformador	Diámetro Tubería	Rango de ajuste	Ajuste normal
hasta 1 MVA	2.5 cm.	100-120 c.c.	110 c.c.
de 1-10	5.0 cm.	185-215 c.c.	220 c.c.
arriba de 10 MVA	7.5 cm.	220-280 c.c.	250 c.c.

TABLA 1

Cuando ocurre una falla en un embobinado dentro de aceite, el arco genera gas rápidamente (a más de 50 cm^3/KW-seg) lo que origina una agitación en el aceite que mueve rápidamente la paleta que causa el disparo a través de los con-- tactos unidos a la paleta.

La paleta es ajustada para operar a velocidades del -- aceite que están por encima de las originadas por el arranque y paro de las bombas de aceite, como se muestra en la tabla 2.

El ángulo de desplazamiento del switch para hacer el - contacto es alrededor de 15°más el ángulo de la tubería, - que debe ser lo más pequeño posible y con un mínimo de 2° de inclinación para permitir que el gas llegue hasta el --

tanque conservador.

En el esquema anterior la paleta que mencionamos tiene una cubeta semejante a la de la unidad detectora de gas. - Esta cubeta es usada para el disparo en el caso de la pérdida completa de aceite.

VELOCIDADES DEL ACEITE PARA PRODUCIR LA OPERACION

Tamaño del transformador	Diámetro tubería	Rango de ajuste	Ajuste normal
Hasta 1 MVA	2.5 cm.	75-125cm/seg	90cm/seg a 5°C
De 1-10 MVA	5.0 cm.	80-135cm/seg	100cm/seg a 5°C
Arriba de 10 MVA	7.5 cm.	95-155cm/seg	110cm/seg a 5°C

TABLA 2

C A P I T U L O V I I I

PROTECCION DE RESPALDO

La función de los relevadores de protección es operar, en respuesta a fallas de corto circuito solamente, aquellos interruptores que aislen el circuito de falla de la fuente de potencia para lograr que los daños al equipo y las interrupciones de servicio se reduzcan al mínimo.

Al presentarse una situación anormal, los relevadores primarios de una cierta protección deberían siempre operar invariablemente y por ninguna razón se puede permitir prescindir de dicha acción ya que los problemas que trae consigo la salida de servicio del circuito protegido y la sincronización y puesta en paralela una vez reparados los daños son de suma consideración, aparte de los problemas económicos inherentes. Si se pudiera en la práctica lograr lo anterior no sería necesaria una protección de respaldo, no obstante, la justificación de ésta radica en el hecho de que los relevadores primarios pueden fallar a la hora de operar como puede ser una falla en cualquiera de los siguientes puntos:

1.- Alimentación de corriente o voltaje a los relevadores.
2.- Alimentación de voltaje de disparo.
3.- Relevadores de protección.
4.- Circuito de disparo o mecanismo de disparo.
5.- Interruptores.

Por ésto para cubrir estas posibilidades de falla de los relevadores se prevé una protección de respaldo cuyos relevadores se arreglan de tal manera que no puedan ser afectados por las mismas causas antes dichas.

Pueden seguirse dos criterios para la protección de respaldo:

A.- Proveer dos tipos de relevadores con características que los relevadores en un lugar respalden a aquellos en otro lugar que pudieran fallar a la hora de operar.

B.- Duplicar algunos o todos los equipos de protección de la localidad.

La primera solución, (protección de respaldo remota) ha sido usada por muchos años, pero en la actualidad para sistemas modernos pueden ser algunas veces inefectivo debido al efecto de avance entre el relevador de respaldo y la falla que puede reducir la corriente y aumentar el voltaje en el relevador de tal forma que evitan su operación.

La segunda solución (duplicación de relevadores, T.C., etc.) implica gastos y complicaciones extras.

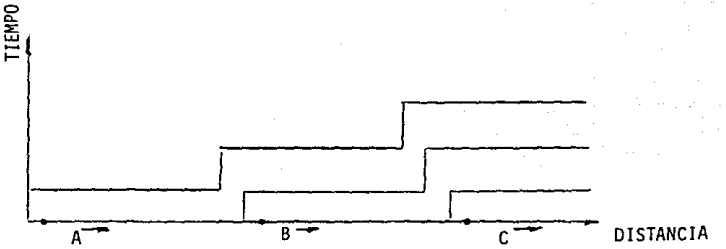
La mejor solución consiste en tomar primero aquellas precauciones que reduzcan los riesgos de falla a un riesgo calculado muy pequeño y entonces emplear una protección de respaldo local o remota aplicada a una extensión justificada por la importancia del circuito.

PROTECCION DE RESPALDO REMOTA.

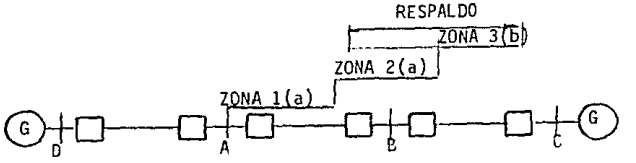
Es la forma más económica y simple para protección ya que es enteramente independiente del abastecimiento local de energía. Para esta forma de protección se utilizan relevadores de sobrecorriente o de distancia.

Donde el alcance de respaldo de los relevadores de distancia se encuentra limitado por la longitud de la línea, un mejoramiento puede obtenerse por la localización de la

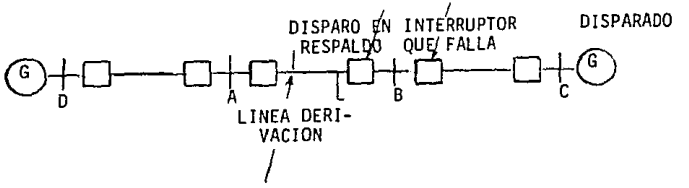
unidad de la zona 3 en el otro extremo de la sección de la línea e invirtiendo su dirección. (ver esquema)



El tercer escalón del relevador de distancia en A ver esquema (a) normalmente da respaldo remoto en la sección BC si el interruptor en B falla al disparar. Este respaldo puede igualmente ser previsto, invirtiendo la unidad de la tercer zona en B de tal manera que cubra la sección BC.



(a)



Donde la limitación de respaldo se alcanza, se debe al - avance normal de la potencia en el bus afectado, la excesiva alta impedancia del relevador de respaldo puede provo-- car disparos indeseables en sobrecargas.

Para evitar lo anterior debe procurarse:

a.- Proveer la zona de respaldo del relevador de distancia A con una característica de impedancia no lineal

b.- Proveerla con característica elíptica la cual la habilitara para tener un alcance más corto de impedancia a lo largo del eje de las abscisas (R) que a lo largo del eje de las ordenadas X.

c.- Donde los buses están divididos, un relevador detector de falla puede conectarse para dividir las ba--- rras durante una falla y reducir el aumento local de la falla.

Donde no se puede usar protección de respaldo remota en forma efectiva, el relevador de circuito y el interruptor de circuito deben tener respaldo local.

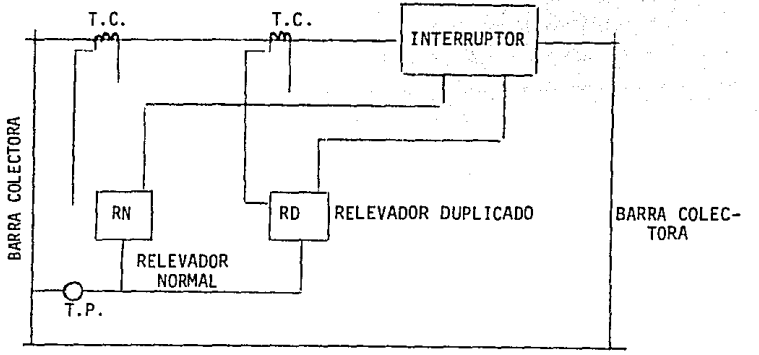
PROTECCION DE RESPALDO LOCAL.

Esta solución implica gastos y complicaciones extras y - el valor de duplicar cada componente depende de su responsabilidad.

Un análisis de las respuestas al siguiente cuestionario indica que el orden en que los diferentes equipos puedan - fallar es el siguiente:

a.- Relevadores 43 %
b.- Interruptores 13.5 %
c.- Alambrado de C.A. 12 %

d.- Mecanismos de disparo 7 %
e.- Transformadores de corriente 7 %
f.- Alambrado de C.D. (incluyendo circuitos de disparo - 5 %
g.- Transformadores de potencial 3 %
h.- Interruptores (switches) auxiliares 3 %
i.- Bobinas de disparo 2.5 %
j.- Abastecimiento de C.D. 1 %



Eléctricamente el equipo puede ser agrupado en tres zonas requiriendo supervisión o respaldo:

a.- El circuito de corriente comprendiendo los transformadores de corriente, las bobinas de corriente del relevador y los alambres de conexión.
b.- El circuito de potencia comprendiendo los transformadores de potencial, las bobinas de los relevadores de potencial y los alambres de conexión.
c.- El circuito de corriente directa comprendiendo las bobinas de disparo, los interruptores auxiliares, las bobinas de los relevadores de C.D. y el alambra-

do de conexión entre ellas.

Los menores problemas son experimentados con el inciso - (a), circuitos de C.A. de tal manera que alguna forma de - relevadores de sobrecorriente es la mejor base para la protección de respaldo. Los incisos (b) y (c) sugieren que el respaldo local deba estar dividido en dos secciones; relevadores de respaldo e interruptores de respaldo porque fallas de la unidad o sus auxiliares pueden obstaculizar - el disparo.

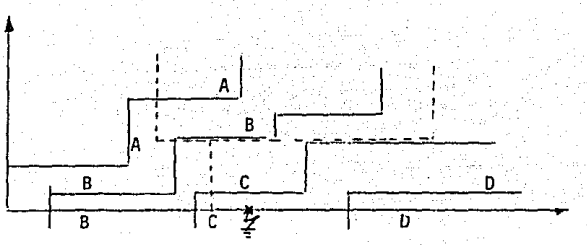
RELEVADORES DE RESPALDO.

Duplicación de los relevadores normales proporcionarían protección de respaldo sin retardo de tiempo porque trabajarían en paralelo, pero ello implicaría considerables costos y complejidad, de aquí que solo se justifique en interconexiones muy importantes.

El mejor arreglo para los relevadores de respaldo consiste en usar un principio de operación diferente del de los relevadores principales y ser alimentado de transformadores de corrientes separados. Por ejemplo en líneas de transmisión, relevadores de distancia se usan para protección piloto de respaldo (hilos o carrier) y viceversa.

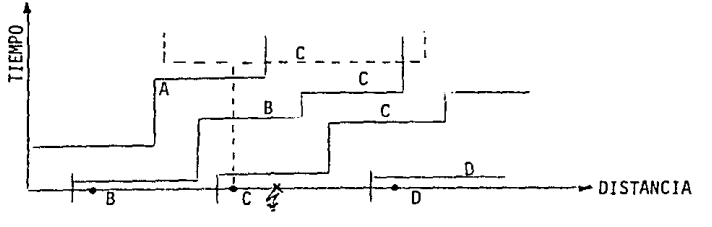
Similarmente protección diferencial longitudinal y transversal pueden proporcionar respaldo mutuo en generadores o líneas. Relevadores Buchholz y electromagnéticos son usados juntos en protección de transformadores.

Una solución para líneas áreas es proveer relevadores de un paso (impedancia o mho escalonado), que están retrasados 0.5seg y que sobrealcanzan ambos extremos del circuito protegido. (Ver esquema siguiente).



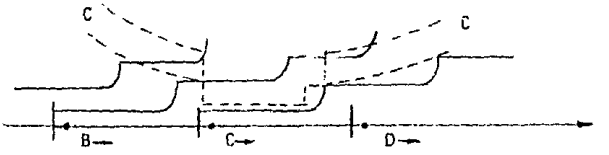
La forma de protección de la figura anterior da un alto grado de protección de respaldo sin gastos ni tiempo de retraso excesivo. En sistemas conectados sólidamente a tierra en cada estación es más simple usar un relevador de -- distancia de un paso para fallas de fase únicamente y un - relevador de sobrecorriente de tiempo inverso con una unidad instantánea en paralelo, para fallas a tierra. Esto - es, no únicamente simple sino que a menudo más rápido y -- más confiable porque la mayoría de las corrientes de se-- cuencia cero viene del transformador local a tierra.

La protección de respaldo más económica se logra con relevadores de característica corriente-tiempo definida no - direccional como se ve en el esquema que sigue.



ESQUEMA (A)

Debido a que el alcance del relevador de sobrecorriente varía con las condiciones de generación y puede cubrir más de una sección de línea, debe fijarse un tiempo de cuando menos un segundo por ejemplo, correspondiendo al tiempo de la tercer zona de un relevador de distancia. Tiempos más - rápidos de respaldo pueden alcanzarse con un relevador no direccional de tiempo-corriente inverso con una unidad instantánea. (Ver esquema), alimentada por transformadores de corriente separados si están disponibles.



El método de sobrecorriente es barato y seguro, opera - únicamente sobre transformadores de corriente.

Analizando para una falla en X del relevador de corriente-tiempo definida es normalmente despejada por un relevador de distancia en B si el relevador en C falla al operar. Si el relevador de respaldo en B no puede operar lo hará - el relevador de sobrecorriente-tiempo en C.

El hecho de que el relevador en B operara antes del relevador de sobrecorriente-tiempo en C para una falla cercana al bus en C, causando el aislamiento de la estación en C, no es diferente de la operación normal sin el relevador de sobrecorriente-tiempo. En casos donde ésto es inaceptable existe la alternativa de duplicar los relevadores normales. (ver esquema A)

Una operación más sensitiva y a menudo disparos más rápidos pueden ser provistos por un relevador de corriente de secuencia negativa debiendo tener un retardo de tiempo fijo si está respaldando relevadores de distancia o piloto y una característica de tiempo inverso si respalda relevadores de tiempo inverso.

Para respaldo de fallas a tierra, un relevador de secuencia cero muy sensitivo puede ser usado en la misma forma.

C A P I T U L O I X

ESTUDIO TECNICO DE LA PROTECCION DEL SISTEMA CHETUMAL.

Consta de una subestación elevadora de 2400/13200 volts con una capacidad instalada de 2500 KVA con dos transformadores de 500 KVA y uno de 1500 KVA.

El sistema proporciona energía a las poblaciones de Chetumal, Bacalar, Calderitas, Subteniente López, Huay-pix, - Xul-ha, Juan Sarabia, Ramonal, Ucum, Sac-xaam, y Palmar -- a través de 67.756 Kms. de línea de transmisión a un voltaje de 13200 volts.

También se le da energía a los pozos de la Secretaría - de Recursos Hidráulicos, a través de una línea de transmisión de 5.9 Kms., con una capacidad instalada de 135 KVA.

Uno de los principales consumidores de energía eléctrica es la Fábrica de Maderas Industrializadas de Quintana - Roo, S.A. misma que industrializa la madera de la región.- Otros de los principales consumidores del sistema son: una constructora de tubos para drenaje, una fábrica de hielo,- una quebradora de piedra y el alumbrado público ornamental el resto de los consumidores es del tipo de cualquier sistema.

EQUIPO INSTALADO

4 motores diesel de las siguientes características:

2 alemanes marca M.A.N.:

- 6 cilindros
- 500 H.P.
- 400 r.p.m.
- ciclo diesel 4 tiempos

1 marca Worthington:

- 6 cilindros

718 H.P.
600 r.p.m.
4 tiempos

1 marca General Motors:

16 cilindros
1440 H.P.
720 r.p.m.
2 tiempos

4 generadores de las siguientes características:

Los motores M.A.N. se encuentran directament acoplados a los generadores Siemens Schucker.

425 KVA
2400 volts
102 amps.
0.8 f.p.
3 fases
60 ciclos
400 r.p.m.
conexión en estrella

El motor Worthington se encuentra acoplado al genera--- dor marca Westinghouse con las siguientes especificaciones de placa

600 KVA
2400 volts
144 amps.
0.8 f.p.
3 fases
60 ciclos
600 r.p.m.
conexión en estrella

El motor G.M. se encuentra acoplado al generador marca Elliot Co. Ridway Works, con las siguientes especifica---- ciones de placa:

1250 KVA
2400 Volts.
301 Amps.
0.8 f.p.
3 fases
60 Ciclos
720 R.P.M.
Conexión delta

Tres transformadores con las siguientes características
2 transformadores con los siguientes datos de placa:

P_n= 500 KVA
V_n= 2.4/13.2 Kv.
X_n= 0.0453 p.u.

1 transformador con los siguientes datos de placa:

P_n= 1500 KVA
V_n= 2.4/13.2 Kv.
X_n= 0.0459 p.u.

Tres alimentadores de 300,000 CM, para energizar a los tres transformadores de la subestación.

Tres interruptores en aceite con las siguientes especificaciones:

Interruptor en aceite marca IEM de operación manual, mecanismo tipo B.C.A., con bobina de sobrecorriente de 5 Amps.

Cuatro restauradores tipo industrial marca Westinghose los cuales el fabricante da curvas de apertura.

Para los circuitos 100 y 200 -- con las siguientes especificaciones de placa:
Marca Lina Material, tipo 3H

Corriente normal 35 Amps.
Corriente mínima de apertura 70 Amps.
Corriente máxima de falla 840 Amps.

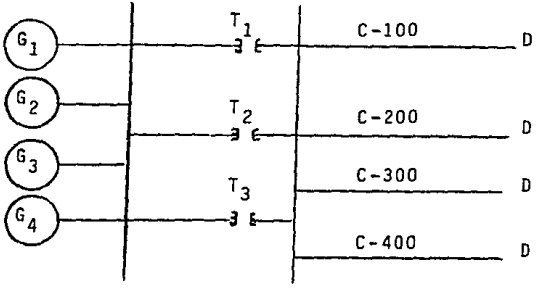
Para el circuito 300, tenemos un restaurador marca ---- Line material, tipo "R", con una bobina de las siguientes especificaciones de placa.

Corriente normal 50 Amps.
Corriente mínima de apertura 100 Amps.
Corriente máxima de falla 3000 Amps.

Para el circuito 400 tenemos un restaurador marca Line Material, tipo 3 H, con una bobina de las siguientes especificaciones de placa:

Corriente normal 25 Amps.
Corriente mínima de apertura -- 50 Amps.
Corriente máxima de falla 625 Amps.

CALCULO DE CORTO CIRCUITO



TABULACION DE GENERADORES Y TRANSFORMADORES

CIRCUITO	P_n KVA	V_n KV	X_n P.U.	X_B P.U.
G_1	425	2.4	0.2	0.236
G_2	425	2.4	0.2	0.236
G_3	600	2.4	0.2	0.1666
G_4	1250	2.4	0.2	0.0800
T_1	500	2.4-13.2	0.0453	0.0453
T_2	500	2.4-13.2	0.0453	0.0453
T_3	1500	2.4-13.2	0.0459	0.0153

P_B= 500 KVA

V_B= 2.4 KV

Del ELECTRICAL TRANSMISION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK de la Westinghouse, tenemos que para una distancia -- equivalente de 1.14 m. (cruceta de 2m.) y para un alambre de cobre AWG # 4 tenemos:

X_a= 0.609 ohms.
X_d= 0.1604 ohms.
X_u= 0.7694 ohms/milla
X_u= 0.4775 ohms/Km.

TABULACION DE LINEAS

NUMERO	LONG.KMS.	X/MILLA	X	X_B(P.U.)
100	8	0.4775	3.825	0.0109
200	2.4	0.4775	1.15	0.00328
300	4.75	0.4775	2.275	0.00650
400	43	0.4775	21	0.06000

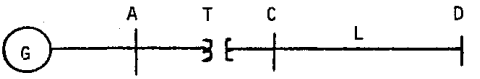
$X'/B = X P_B/V_B^2$ $a^2 = X \cdot 500000/(2.4 \cdot 10^3)^2 (13.2/2.4)^2$

X '/B= X·0.500/175

X '/B= X·0.00286 P.U.

LA IMPEDANCIA DE FALLA GENERAL ES:

$X_F = (G_1//G_2//G_3//G_4)+(T_1//T_2//T_3)+L$



- LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE LOS GENERADORES EN PARALELO ES:

$X_{G_B} = 0.236//0.236//0.166//0.080 = 0.0371$ P.U.

4.25+ 4.25+ 6.0 + 12.5 =27.0

$X_{G_B} = 0.0371$ P.U.

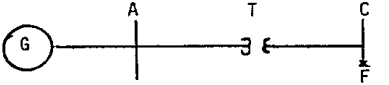
- LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE LOS TRANSFORMADORES ES:

$X_{T_B} = 0.0453//0.0453//0.0153 = 0.00913$ P.U.

$X_{T_B} = 0.00913$ P.U.

FALLAS MAS COMUNES EN EL SISTEMA.

1.- La falla máxima que librarían los restauradores sería cuando estuvieran los cuatro generadores trabajando a su máxima capacidad y la falla estuviera a la salida de -- cualquiera de los circuitos.



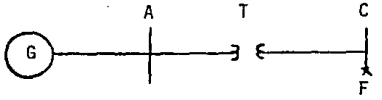
$X_F = 0.0371 + 0.00913 = 0.04623$ P.U.

$P_F = P_B/X_F = 500/0.04623 = 10820$ KVA

P_F= 10820 KVA.

$I_{F_{cc}}$ = 10820/(1.73)(2.4)(5.5)= **473** Amps.

2.- Si se tiene la falla a la salida de cualquier circuito, con la mínima generación que serían las unidades -- 1 y 2 :

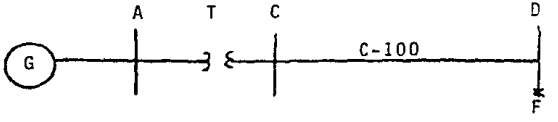


X_G= G_1//G_2= 0.236//0.236= 0.118 P.U.

X_F= 0.118 + 0.00913= 0.12713 P.U.

$I_{F_{cc}}$ = (3840)/(1.73)(2.4)(5.5)= **172** Amps.

3.- Si se tiene la falla en el punto más alejado del -- circuito 100, con la mínima potencia alimentadora:



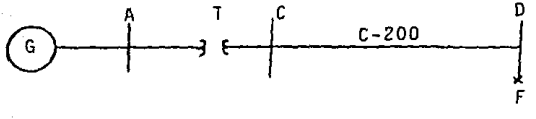
X_F= X_G + X_{Ts} + X_{C-100}= 0.118 + 0.00913 + 0.0109

X_F= 0.138 P.U.

P_F= 500/(0.138)= 3625 KVA.

I_{F_d} = 3625/(1.73)(2.4)(5.5)= **159** Amps.

4.- Si se tiene la falla en la parte más alejada del -- circuito 200, con la mínima potencia alimentadora:

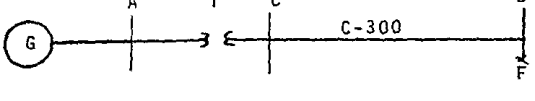


X_F= 0.118 + 0.00913 + 0.00328= 0.13141 P.U.

P_F= 500/0.13141= 3810 KVA

I_{F_d} = 3810/(1.73)(2.4)(5.5)= **166** Amps.

5.- Si se tiene la falla en el punto más alejado del -- circuito 300, con la mínima potencia alimentadora:



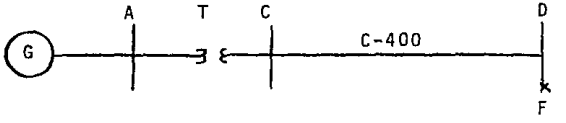
X_F= 0.118 + 0.00913 + 0.00650

X_F= 0.1336 P.U.

P_F= 500/(0.1336)= 3750 KVA.

I_{F_d} = **164** Amps.

6.- Si se tiene la falla en el punto más alejado del -- circuito 400, con la mínima potencia alimentadora.



X_F= 0.118 + 0.00913 + 0.06= 0.187 P.U.

P_F= 500/0.187= 2675 KVA

I_F=2675/(1.73)(2.4)(5.5)= **118** Amps.

SELECCION DE LA PROTECCION PARA LOS TRANSFORMADORES

Lo más indicado para proteger aparatos eléctricos de -- potencia es la protección llamada diferencial la cual ---- opera solamente cuando se detecta la falla dentro del in-- tervalo comprendido entre transformadores de corriente. Es ta protección es del tipo instantáneo.

El uso de esta protección no siempre resultará costea-- ble al propósito perseguido, ésto es, si por ejemplo al -- ocurrir una falla en alguno de los circuitos alimentadores esta corriente dañara algun transformador, podría resultar

gran pérdida al dañarse el transformador comparada con la inversión que se tuvo con la protección de sobrecorriente por lo tanto se debería ver la ventaja que representaría - instalar o no la protección diferencial a estos transformadores.

En primer lugar vemos que el costo de los transformadores de menor capacidad es grande comparándola con la posible protección diferencial. Este costo alcanza un pocentaje estimado del 40%, lo cual no es costeable.

Esto no quiere decir que tales transformadores no se -- puedan proteger, puesto que debe existir una protección -- primaria económica que garantice tal finalidad, que para - este caso es la protección de sobrecorriente.

Ahora bien, la experiencia ha demostrado que para ca--- pacidades superiores a 1000 KVA, sí se justifica la pro--- tección diferencial de aparatos que cumplan con tal requisito de capacidad, por lo tanto en nuestro caso el trans-- formador de mayor potencia podremos usar la protección --- diferencial aparte de la protección de sobrecorriente --- que también instalaremos.

Como protecciones de respaldo tenemos para esta zona -- como las más apropiadas relevadores de sobrecorriente que se instalarán entre el bus de 2.4 Kv. y los generadores.-- La decisión para escoger esta protección la ha dictado la práctica.

ESTA ES LA JUSTIFICACION DE NUESTRO PROYECTO PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DEL EQUIPO Y LA DE LOS USUARIOS.

COORDINACION DE TIEMPO DE APERTURA ENTRE LOS RESTAURADORES, INTERRUPTORES DE LOS TRANSFORMADORES E INTERRUPTORES DE LOS GENERADORES.

Para el tiempo de apertura de los interruptores de los

alimentadores con los restauradores consideraremos un corto circuito de 200 amps. en cualquiera de los circuitos de alta tensión:

Cálculo de las corrientes en baja tensión de los alimentadores.

Transfs. 1 y 2

$200/I_1 = 2.4/13.2$; $I_1 = 1100$ Amps.

$I_{BASE} = 500/(1.73)(2.4) = 120$ amps.

$I_T(P.U.) = 1100/120 = 9.16$ P.U.

$X(P.U.)_{Transf.Total} = 0.00913$ P.U.

$V(P.U.) = (0.00913)(9.16) = 0.0836917$ P.U.
$I(P.U.) = (0.0836917)/(0.0453) = 1.8474982$ P.U.
$I = 1.8474982(120) = 220$ Amps.

Transf. 3

$I_{BASE} = 1500/(1.73)(2.4) = 360$ Amps.

$I_T(P.U.) = 1100/360 = 3.05$ P.U.

$V(P.U.) = (3.05)(0.00913) = 0.0279$ P.U.
$I(P.U.) = 0.0279)/(0.0153) = 1.82$ P.U.
$I = 1.82(360) = 660$ Amps.

Como vemos en los alimentadores 1 y 2 circulan 220 Amps. respectivamente por cada circuito, que divididos por la -- relación de transformación de los TC que es de 30 nos da - una corriente de 7.3 Amps.

Cálculo del tap:

$I_N = 500/(1.73)(2.4) = 120$ Amps.

Entonces: Tap= 120/30=(Tap 4)

Múltiplo de la $I_{mín.apert.} = 7.3/4 = 1.82$

Si con este valor entramos a la curva elegida del releva--

dor que para nuestro caso es del tipo sobrecorriente CO-9 marca Westinghouse ver fig. 1 y tomamos un contador de -- tiempo # 1, nos dará un tiempo de apertura de 1.7 seg.

Para el alimentador 3:

Cálculo del tap:

I_N= 1500/1.73(2.4)= 360 Amps.

Entonces: Tap= 360/60= (Tap 6)

Múltiplo de la $I_{mín.apert.}$= 1.83

Si con este valor entramos a la curva elegida del relevador que para nuestro caso es del tipo sobrecorriente --- CO-9 y con un contador de tiempo del # 1, vemos que nos da un tiempo de 1.7 seg.

ANALICEMOS LOS RESTAURADORES:

Entonces para el corto circuito de 200 Amps. en el lado de alta tensión el tiempo de operación de los restaurado-- res:

Circuito 100 y 200: Utilizando la curva de -- operación extra retardada nos da un valor de 0.9 seg. (ver fig. 2)

Circuito 300: Utilizando la curva rápida nos da un valor de 0.15 (ver fig. 3)

Circuito 400: Utilizando la curva extra re--- tardada nos da un tiempo de operación de ---- 0.5 seg. (ver fig. 4)

Esto nos dice que el tiempo de apertura de los relevado--- res de los alimentadores es mayor que el tiempo de aper--- tura de los restauradores en aproximadamente 50% de tiem-- po más que el tiempo mayor de apertura de los restaura---- dores. Esto es aceptable

Ahora veamos el tiempo de apertura de los relevadores

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

de sobrecorriente de los generadores.

La falla como habíamos visto de 200 Amps.---- en el lado de alta tensión referido a la baja tensión es de 1100 Amps.

Veamos cuales son las aportaciones de los --- generadores.

$I(P.U.) = 1100/120 = 9.17$ P.U.

$X_T(P.U.) = 0.0371$ P.U

$V(P.U.) = 0.0371(9.17) = 0.34$ P.U.

$I_{G_1-G_2}(P.U.) = 0.34(0.236) = 1.44$ P.U.

$I_{Base} = 500/(1.73)(2.4) = 120$ Amps.

$I_{G_1-G_2} = 120 amps.(1.44 P.U) = \underline{172.7}$ Amps.

$I_{G_{3pu}} = 0.34/0.1666 = 2.04$ P.U.

$I_{G_3} = 120$ amps.$(2.04) = \underline{245}$ Amps.

$I_{G_4}(P.U.) = 0.34/0.08 = 4.25$ P.U

$I_{G_4} = 120 Amps.(4.25$ P.U.$) = \underline{510}$ Amps.

$I_{N(G_1-G_2)} = 425/1.73(2.4) = \underline{102}$ Amps.

$I_N(G_3) = 600/1.73(2.4) = \underline{144}$ Amps.

$I_{N(G_4)} = 1250/1.73(2.4) = \underline{300}$ Amps.

Cálculo de taps.

$Tap_{G_1-G_2} = 102/30 = 3.4 \doteq 3.5$

Tap_{G_3} = 144/50= 2.88 ≐ 3

Tap_{G_4} = 300/50= 6

Cálculo de múltiplos de la corriente

Múltiplo $I_{mín.\ apert.}$=172.7/30= 5.77

5.77/3.5= 1.65 (Gen_1 y Gen_2)

Múltiplo $I_{mín\ apert._{G_3}}$=245/50= 4.9

4.9/3= 1.638 (Gen_3)

Múltiplo $I_{Mín.apert.}$= 510/50= 11.0

11/6= 1.83 Gen_4

Refiriendonos a la fig.5 y tomando al relevador CO-11, vemos que para los generadores 1 y 2 con 1.65 múltiplo -- de la corriente mínima y con el contador de tiempo #1 nos da un tiempo de operación de 3.5 segs. Ahora bien para --- 1.638 como múltiplo y con la palanca #1 nos da aproxima--- damente nos da 3.5 segs. de operación para el generador -- número 3. Por último para el generador número 4 y con el - múltiplo de la corriente mínima de operación nos da un --- tiempo de operación este relevador de 2.75 segs.

Con lo cual se logrará la coordinación de tiempo de a-- pertura deseada de los interruptores de los generadores,-- transformadores,y restauradores.

RELEVADOR TIPO CO CIRCUITO DE APERTURA

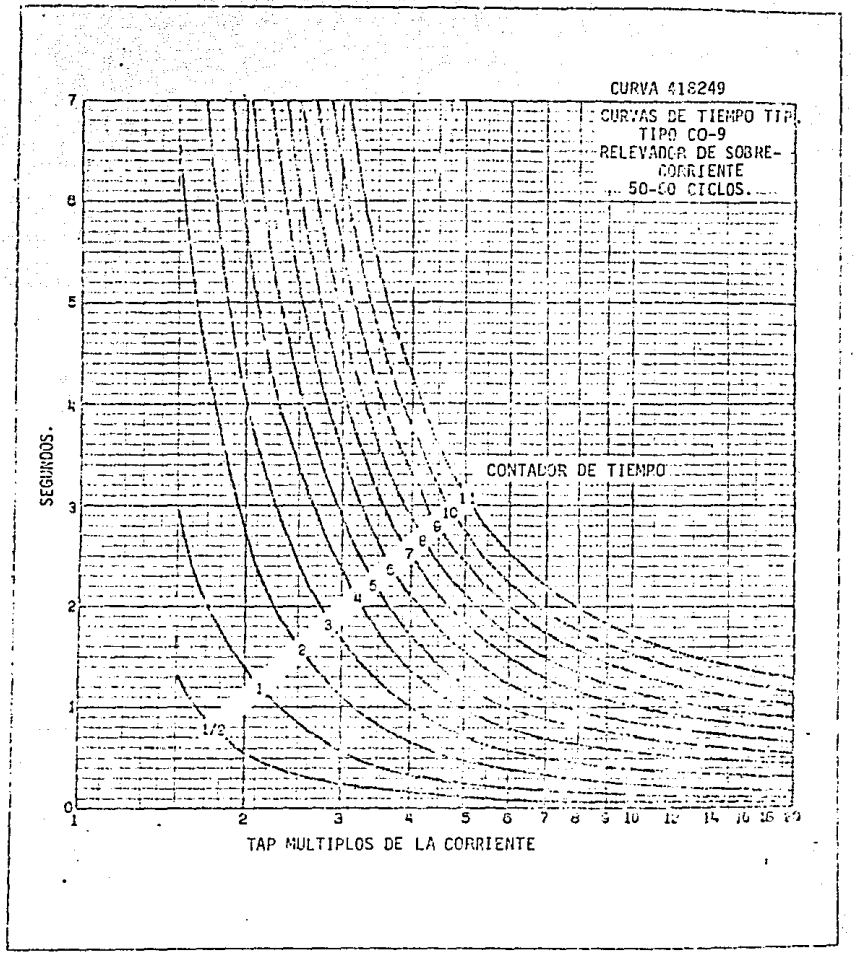
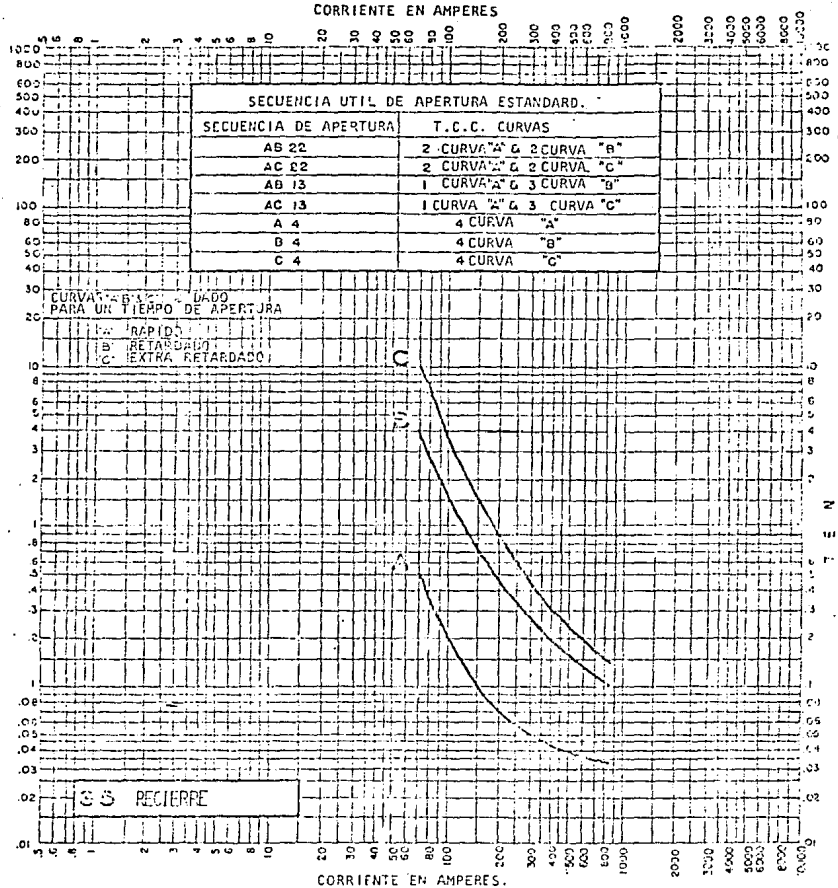


FIG. 1



CURVAS DE TIEMPO-CORRIENTE PARA KILE TIPO "H" (UNA FASE) Y TIPO "3" (TRES FASES) CIRCUITO DE RECIERRE EN ACEITE. BASADO EN --- PRUEBAS HECHAS A UN VOLTAJE MAXIMO NOMINAL CERCA DE 25°C. TEMPERATURA DEL ACEITE. VARIACIONES DE LAS CURVAS ± 10% Y EL FACTOR DE POTENCIA DE ACUERDO CON AIEE & NEMA STANDARDS.

CURVA DE APERTURA DEL RESTAURADOR TIPO 3H, 3HA

FIG. 2

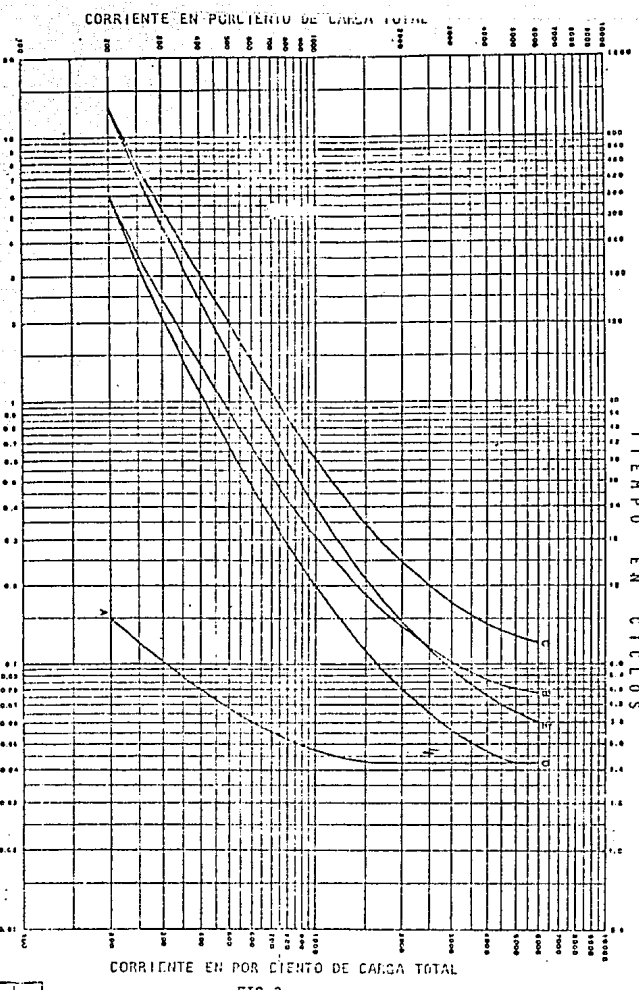
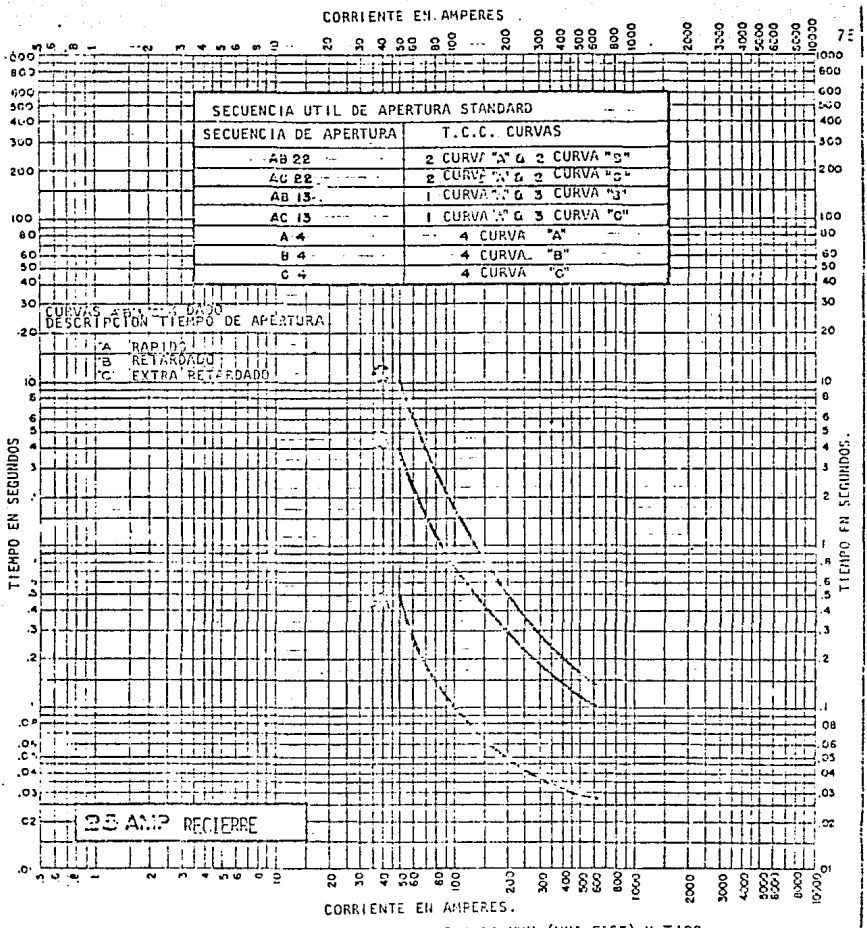


FIG 3

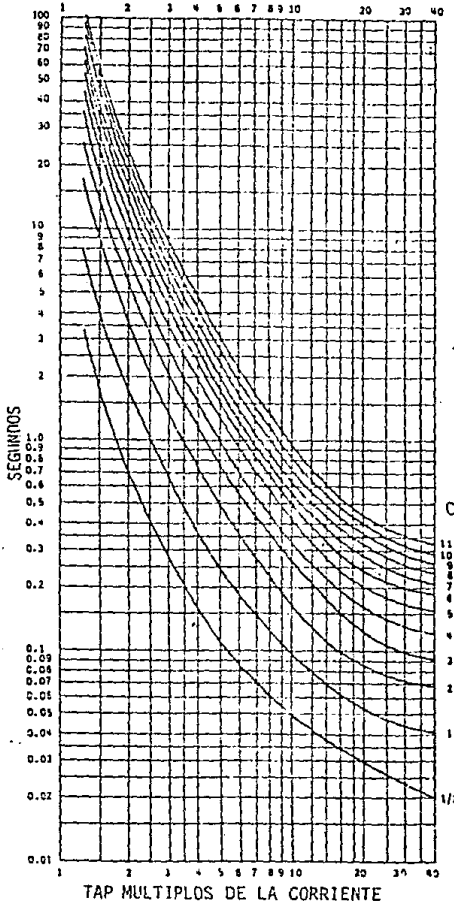
CURVAS CARACTERISTICAS DEL RELEVADOR TIPO



CURVAS TIEMPO-CORRIENTE PARA KILE TIPO "H" (UNA FASE) Y TIPO "3" (TRES FASES) CIRCUITO DE RECIERRE EN ACEITE. BASADO EN PRUEBAS HECHAS A UN VOLTAJE MAXIMO NOMINAL CERCA DE 25°C TEMPERATURA DEL ACEITE. VARIACIONES DE LAS CURVAS + 10% Y EL -- FACTOR DE POTENCIA DE ACUERDO CON AIEE & NEMA STANDARDS

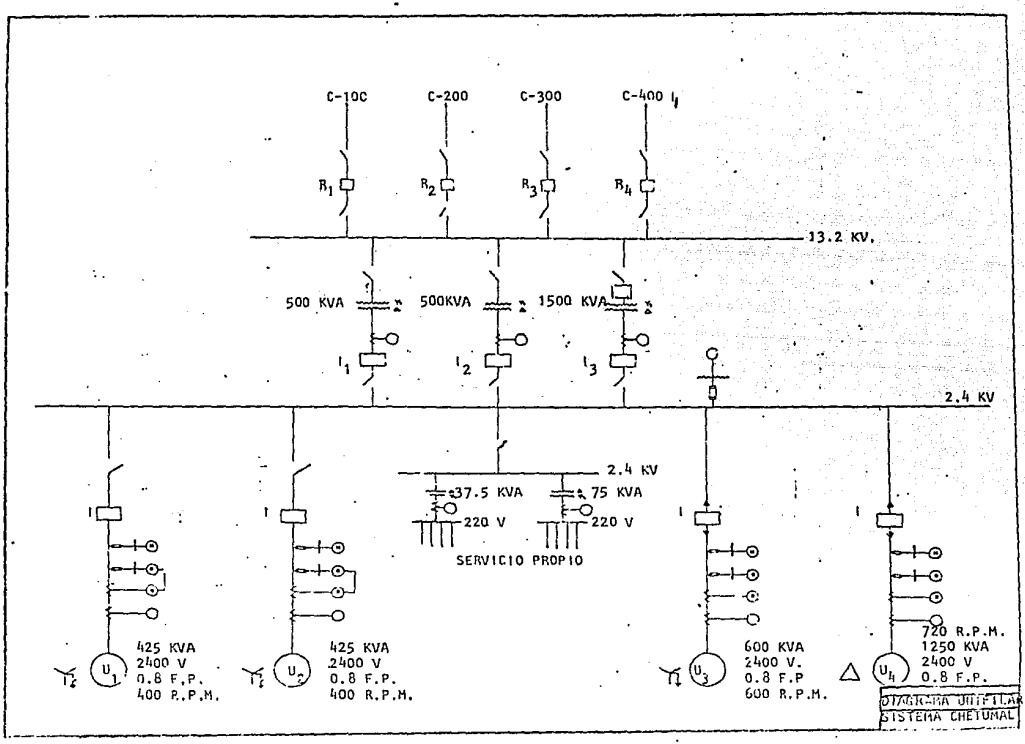
CURVA DE APERTURA EN:
RESTAURADOR TIPO 3 H, 25Z

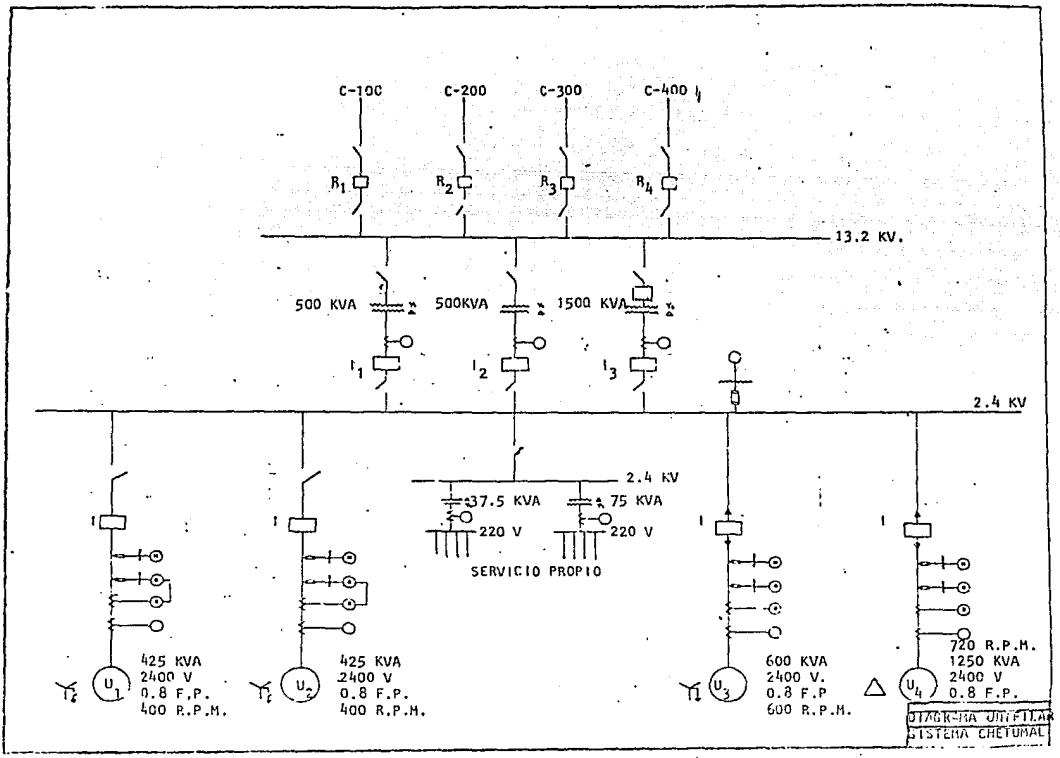
FIG. 4



CURVAS DE TIEMPO TIPICAS
TIPO CO-11
RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE
50-60 CICLOS

FIG. 5


C-100
C-200
C-300
C-400
R1
R2
R3
R4
13.2 KV.
500 KVA
500KVA
1500 KVA
I1
I2
I3
2.4 KV
2.4 KV
37.5 KVA
75 KVA
220 V
220 V
SERVICIO PROPIO
425 KVA
2400 V
0.8 F.P.
400 R.P.M.
U1
425 KVA
2400 V
0.8 F.P.
400 R.P.M.
U2
600 KVA
2400 V.
0.8 F.P
600 R.P.M.
U3
720 R.P.M.
1250 KVA
2400 V
0.8 F.P.
U4
DIAGRAMA UNIFILAR
SISTEMA CHETUMAL


C-100
C-200
C-300
C-400
R1
R2
R3
R4
13.2 KV.
500 KVA
500KVA
1500 KVA
I1
I2
I3
2.4 KV
2.4 KV
37.5 KVA
75 KVA
220 V
220 V
SERVICIO PROPIO
425 KVA
2400 V
0.8 F.P.
400 R.P.M.
425 KVA
2400 V
0.8 F.P.
400 R.P.M.
600 KVA
2400 V.
0.8 F.P
600 R.P.M.
720 R.P.M.
1250 KVA
2400 V
0.8 F.P.

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

1.- LINEAS E INSTALACIONES ELECTRICAS
C. LUCA M.

2.- PLANTAS ELECTRICAS
C. LUCA M.

3.- ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK.
Westinghouse Electric Co.

4.- APLIED PROTECTIVE RELAYING
Westinghouse Electric Co.

5.- MANUAL STANDARD DEL INGENIERO ELECTRICISTA
A.E. Knowlton.

6.- ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION
G. Zoppetti J.

7.- INDUSTRIAL POWER SYSTEMS HANDBOOK
Beeman.

8.- INSTRUCTIVO OPERACION DE RELEVADORES
Westinghouse Electric Co.

9.- THE ART AND SCIENCE OF PROTECTIVE OF RELAYING
Mason

10.- TESIS "SISTEMA CHETUMAL"
ALFONSO Rosales Gaytan