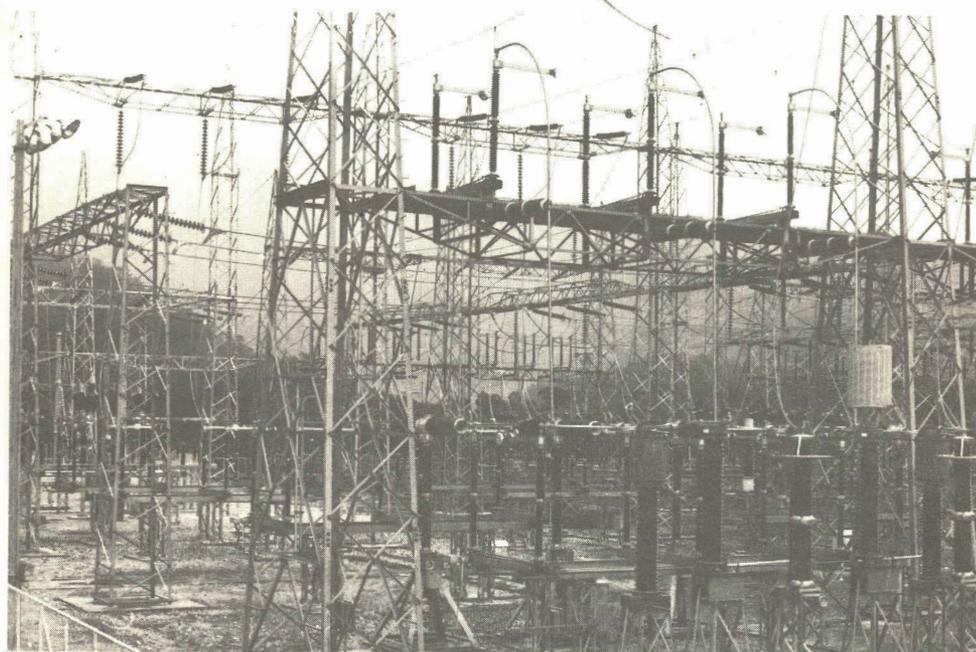


## PROYECTO ELECTRICO

### Operación de Subestaciones de energía



**BLOQUE MODULAR:**

2

OPERACION DE SUBESTACIONES DE ENERGIA

**Módulo instruccional:**

13

SISTEMAS DE PROTECCION



*Empresas Públicas de Medellín*

ELABORACION DEL MATERIAL: Ing. HUMBERTO JARAMILLO T. – Instructor SENA –  
Regional Antioquia – Chocó.

COLABORACION TECNICA Ing. RAFAEL PEREZ C., Jefe Departamento Transmisión  
y Transformación de Empresas Públicas de Medellín.  
Ingos. Departamento Transmisión y Transformación de  
E. P. M.  
Dr. MARIO LOPEZ V., Jefe Departamento Capacitación y  
Desarrollo E.P.M.

COORDINACION – SENA Ing. ALIRIA BARRERA P. – Asesor de Empresas  
Regional Antioquia – Chocó

COORDINACION DISEÑO TECNICO Ing. HUMBERTO VENEGAS T. Asesor de Empresas  
PEDAGOGICO SENA – Regional Bogotá.

Derechos Reservados al

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA

Medellín, Colombia 1987

SISTEMAS DE PROTECCION  
MODULO INSTRUCCIONAL 13  
UNIDAD 1



**OPERACION DE SUBESTACIONES DE ENERGIA**





## C O N T E N I D O

INTRODUCCION

OBJETIVOS

I. CLASES DE PROTECCION

- A. Protección contra sobre-cargas
- B. Protección de máxima intensidad
- C. Protección de Distancia
- D. Protección diferencial
- E. Protección de Baja Frecuencia
- F. Protección de sobre y bajo voltaje

RESUMEN

BIBLIOGRAFIA



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

En toda la gran variedad de procesos, especialmente en los sistemas eléctricos es indispensable el establecimiento de los diferentes circuitos de protección y control adecuados, con el objeto de evitar las perturbaciones o, al menos, disminuir los efectos de estas perturbaciones.

En este caso, es decir la generación, la transmisión y la transformación de la energía eléctrica, nos compete utilizar una serie de sistemas de protección, que basados en el empleo de una variedad de relés, nos permiten vigilar, proteger y controlar el sistema. Esto gracias a las diferentes características de construcción, funcionamiento y aplicación de éstos en las distintas variables eléctricas.

La unidad está orientada, al estudio de los principales sistemas de protección que encontramos en las subestaciones de energía como son entre otros:

La protección de sobrecorriente, la protección diferencial, la protección de distancia etc., utilizados por ejemplo en la protección de circuitos, barras, transformadores, líneas etc., en donde se presentan varias causas que pueden perturbar su funcionamiento normal.



## I. CLASES DE PROTECCION

### A. Protección contra sobrecargas:

Protege las máquinas, transformadores y líneas contra cualquier sobreelevación peligrosa de la temperatura que, como sabemos, es la consecuencia más directa de las sobrecargas. Este tipo de protección se basa en la medición directa o indirecta de la temperatura del objeto que se ha de proteger, permitiendo además la utilización racional de la capacidad de sobre-carga de éste mismo objeto.

La medida directa de la temperatura se realiza por medio de termómetros adecuados introducidos en los devanados de las máquinas o en el aceite de los transformadores.

La medida indirecta se hace por medio de una imagen térmica o relé-térmico, más o menos aproximada que reproduce las condiciones de carga y calentamiento del objeto que se ha de proteger.

Como el calentamiento es función del tiempo y de la intensidad, los relés - térmicos serán por definición, relés de retardo dependientes de la intensidad y tienen como características:

- Tienen en cuenta, no solamente las corrientes superiores a las corrientes de plena carga, sino también reproducen y miden el calentamiento debido a la corriente de servicio, cualquiera que sea su valor.
- Su inercia térmica está adaptada a la del objeto que deben proteger.

Frecuentemente se ha confundido la protección contra las sobre-cargas con la protección de máxima intensidad contra los cortocircuitos; y se ha provisto un sólo sistema de protección para estas dos funciones.

En realidad, para una buena coordinación, la protección contra sobrecargas exige tiempos muy largos y tan dependientes de la intensidad como fueron posibles, mientras que la protección contra cortocircuitos exige tiempos muy cortos e independientes de la intensidad.

### B. Protección de máxima intensidad:

De tiempos escalonados o de sobre-corrientes.

En general, se puede decir que los relé de sobrecorriente, baja corriente, sobretensión, baja tensión, se derivan directamente de los tipos básicos de atracción electromagnética o de inducción

Se emplean los relés de máxima intensidad, que se desbloquean cuando la corriente sobrepasa un valor previamente fijado. Estos relés son temporizados y sus retardos son crecientes, desde los receptores hacia el generador. Figura 1

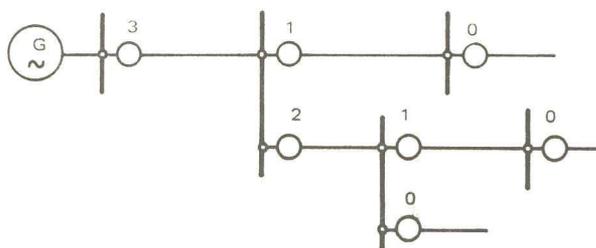


FIG. 1 Protección de una red por medio de relés de máxima intensidad temporizados, con retardos crecientes desde los receptores al generador (los números de los relés indican el orden de escalonamiento)

Este es el sistema más sencillo, el más antiguo y el más extendido. Puede realizarse con relés directos de desconexión mecánica.

Los tipos de funcionamiento de los relés próximos al generador son relativamente elevados. Para reducir estos tipos al mínimo, es necesario utilizar interruptores rápidos y relés de gran precisión de retardo independiente de la intensidad.

#### **Puesta en trabajo o reposición:**

La mayoría de los relés de sobrecorriente tienen una zona de ajuste para hacerlos adaptables a una gama de circunstancias de aplicación tan amplia como sea posible.

En general, el ajuste de los relés de solenoide o de armadura atraída (Electromagnéticas) puede ser por ajustes del entrehierro inicial, de tensión del resorte de retención, de los pasos ajustables, o de las tomas de la bobina. El ajuste de los relés de inducción es generalmente por tomas de la bobina y el de los relés de tensión por tomas o resistencias en serie o por tomas auxiliares de auto-transformador. Los relés de tensión y de baja corriente, no tienen en general zona de ajuste amplia, debido a que esperan funcionar dentro de una zona limitada de la magnitud normal de la magnitud de influencia.

Estos dos tipos de protección se utilizan básicamente para proteger los circuitos (niveles de tensión de 13.2 Kv y 44 Kv). Cuando actúan estas protecciones, por sobrecarga o por cortocircuito, se produce el disparo del interruptor y aparecen las señales ópticas y acústicas (aparecen la bandera y suena la alarma).

En algunos casos se emplean estas protecciones en las interconexiones y líneas pero ya se usan como respaldo de la protección de distancia.

#### **C. Protección de Distancia:**

En los relés de distancia hay un equilibrio entre la tensión y la corriente que puede expresarse en función de la impedancia. La impedancia es una medida eléctrica de la distancia a lo largo de una línea de transmisión.

Aplicando al sistema de protección de sobreintensidad por escalonamiento a las redes de gran extensión, resultaría demasiado altos los ajustes de tiempo de los relés de protección correspondientes a los últimos escalones. Como consecuencia se alargaría excesivamente el tiempo invertido en desconectar, al ocurrir un corto-circuito, con el consiguiente peligro para la seguridad de las máquinas e instalaciones, y para la estabilidad del sistema ya que las máquinas sin-

crónicas podrían salir de sincronismo. Por otro lado la duración de la caída de tensión provocada por un corto-circuito puede tener graves consecuencias para las industrias de fabricación continua conectadas a la red.

Para evitar estas dificultades se han ideado los relés de distancia, cuyo tiempo de funcionamiento es proporcional a la distancia en que ha ocurrido el defecto; de otra forma al producirse una avería en un punto cualquiera de la red, los relés más próximos a éste punto disparan antes que los más alejados.

Se resumen el principio de funcionamiento de un relé de distancia así: Cuando ocurre un corto-circuito en una línea, se produce una caída de tensión; en las proximidades de la avería, la tensión es mínima y va aumentando de valor a medida que nos alejamos del punto en que ha ocurrido el defecto. Se puede imaginar el relé provisto por dos elementos, uno amperimétrico que actúa en el sentido de curar contactos y otro, voltimétrico que actúa en sentido contrario.

En caso de corto-circuito en un punto de la línea, la intensidad será prácticamente constante a lo largo de ella, mientras que la tensión variará de tal forma que en los relés más próximos al corto-circuito el esfuerzo antagonista de los elementos voltimétricos será menor que en los relés más alejados. Por ésta razón funcionarán antes los primeros relés que los segundos. Si los esfuerzos de los dos elementos de cada relé se combinan de tal manera que el tiempo de funcionamiento sea directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la intensidad, el tiempo de funcionamiento del relé será proporcional al cociente:

$$Z = \frac{E}{I}$$

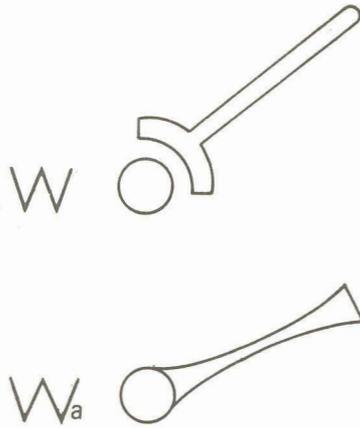
o sea la impedancia de la línea hasta el efecto.

Se explicarán las señalizaciones de algunos relés de distancia empleados en las Empresas Públicas:

Interpretación del relé de distancia B.B.C.

| Contacto del relé | Significado                  | Bloque de señal |
|-------------------|------------------------------|-----------------|
| PD                | Disparo                      | D               |
| PE                | Tierra                       | E               |
| PAR               | Falla fase R                 | R               |
| PAS               | Falla fase S                 | S               |
| PAT               | Falla fase T                 | T               |
| PtaW              | Disparo definitivo           | W               |
| PSW               | Disparo definitivo           | —               |
| Pta               | Corto 3 $\phi$ cerca al relé |                 |
| PSII              | Corto zona 2                 | II              |
| PSIII             | Corto zona 3                 | III             |
| PTRH              | Protección por carrier (HF)  | H               |

Posición de los suiches W y Wa, ver figura 2



1. Recierre monofásico; si persiste la falla abre las 3 fases.
  2. Recierre trifásico.
  3. Recierre monofásico.
  4. Apertura solamente (Interconexiones)
- A. Protege la línea y algo más  
 I. Protege sólo la línea

Figura 2

**Interpretación del relé de distancia ENGLISH ELECTRIC**

**Protección Primaria:**

1. Relé tipo YTG 33 K.

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Señal A/N ..... | Falla fase R a tierra |
| Señal B/N ..... | Falla fase S a tierra |
| Señal C/N ..... | Falla fase T a tierra |
| Señal C/A ..... | Falla entre fases R-T |
| Señal A/B ..... | Falla entre fases R-S |
| Señal B/C ..... | Falla entre fases S-T |

2. Relé VAA

|                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| Señal 85 x 1 ..... | Envío de señal por carrier  |
| Señal 85 x 2 ..... | Recibo de señal por carrier |

3. Relé VTT

Este relé opera cuando el carrier está fuera de servicio y hay alguna falla, para iniciar la operación del relé.

4. Relé de recierre VAR 85

Señal E ..... Muestra cuando se da una orden de recierre y el interruptor no cierra, ya sea por falta de presión de aceite, u otra causa.

Si se va a cerrar por el operador, es importante que se reponga ésta señal, pues de lo contrario no cierra-el interruptor.

**Protección BACK—UP**

1. Relé YTG 33 H para zona 1

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Señal A/N ..... | Falla fase R a tierra |
| Señal B/N ..... | Falla fase S a tierra |

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Señal C/N ..... | Falla fase T a tierra |
| Señal C/A ..... | Falla entre fases R-T |
| Señal A/B ..... | Falla entre fases R-S |
| Señal B/C ..... | Falla entre fases S-T |

## 2. Relé YTG 33 L para zona 2

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Señal A/N ..... | Falla fase R a tierra |
| Señal B/N ..... | Falla fase S a tierra |
| Señal C/N ..... | Falla fase T a tierra |
| Señal C/A ..... | Falla entre fases R-T |
| Señal A/B ..... | Falla entre fases R-S |
| Señal B/C ..... | Falla entre fases S-T |

## 3. Relé VAJ

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| Señal 86 A ..... | Apertura de la fase R |
| Señal 86 B ..... | Apertura de la fase S |
| Señal 86 C ..... | Apertura de la fase T |

## 4. Relé VAA

|                  |  |
|------------------|--|
| Señal 85 X ..... | Transferencia del disparo por carrier, tanto para la recepción como para la transmisión. |
|------------------|--|

## D. PROTECCION DIFERENCIAL

La protección diferencial funciona cuando el vector diferencial de dos o más magnitudes eléctricas similares excede una cantidad predeterminada. En general el funcionamiento de un relé diferencial como tal, no es tanto por la construcción del relé sino más bien a la forma de conectarse en circuito.

La mayoría de las aplicaciones del relé diferencial son del tipo diferencial de corriente. El ejemplo más simple se muestra en la figura 3. La parte punteada del circuito representa el elemento del sistema que está protegido por el relé diferencial.

Este elemento de sistemas puede ser una longitud de circuito, un arrollamiento de un generador, una parte de barras colectoras, etc. En cada conexión al elemento de sistema se muestra un transformador de corriente. Los secundarios de los transformadores de corriente se interconectan, y se conectan a la bobina de un relé de sobrecorriente a través del circuito secundario de los transformadores de corriente.

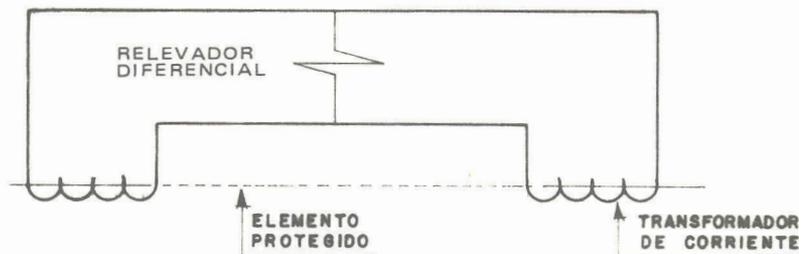


FIG. 3 Una aplicación sencilla de un relevador diferencial

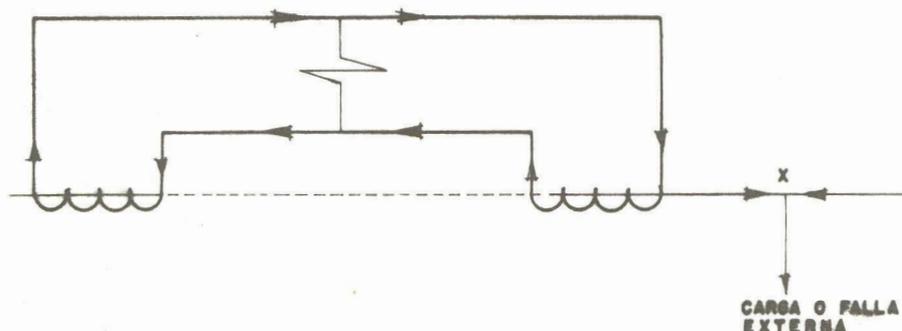


FIG. 4 Condiciones para una carga o falla externa.

Si en la figura 4 la corriente fluye por el circuito primario ya sea a una carga o a un cortocircuito localizado en X. Las condiciones son como se muestra en la figura 2. Si los dos transformadores de corriente tienen la misma relación de transformación y están conectados adecuadamente, sus corrientes secundarias circularán casi entre los dos transformadores de corriente como se indica por las flechas, y no fluirá corriente por el relé diferencial.

Pero si se desarrolla un cortocircuito en cualquier parte entre los transformadores de corriente; se darán entonces las condiciones de la figura 5. Si, como se observa, la corriente fluye hacia el cortocircuito de ambos lados, la suma de las corrientes secundarias de los transformadores de corriente fluirá por el relé diferencial. No es necesario que la corriente de cortocircuito fluya hacia la falla de ambos lados para originar que la corriente secundaria fluya por el relé diferencial.

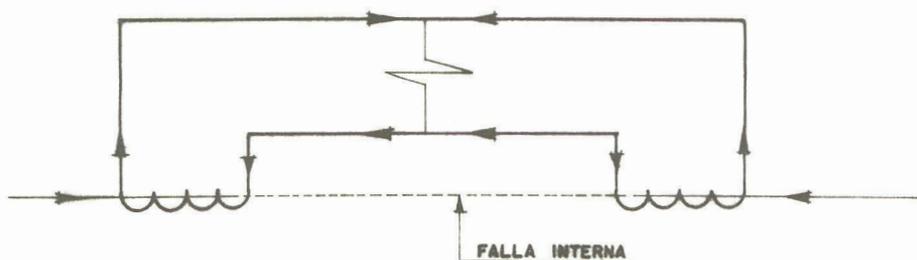


FIG. 5 Condiciones para una falla interna.

Un flujo en un solo lado, y aún alguna corriente que fluya fuera de un lado mientras que entra una gran corriente por el otro, originará una corriente diferencial.

Una forma más extensamente utilizada del relé diferencial es el tipo diferencial de tanto por ciento. Este es esencialmente el mismo que el relé del tipo sobrecorriente de equilibrio, pero se conecta en un circuito diferencial como el de la figura 6.

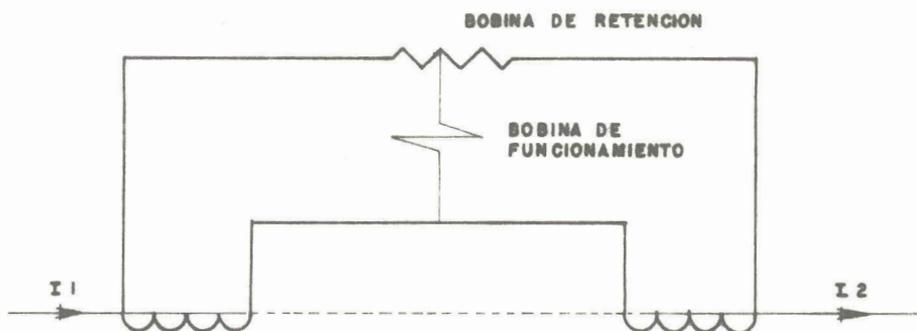


FIG. 6 Un relevador diferencial de tanto por ciento en un circuito de dos terminales.

La corriente diferencial requerida para funcionar este relé es una magnitud variable debido al efecto de la bobina de retención. La corriente diferencial en la bobina de funcionamiento es proporcional a  $I_1 - I_2$ , y la corriente equivalente en la bobina de retención es proporcional a  $(I_1 + I_2)/2$ , ya que la bobina de funcionamiento está conectada en el punto medio de la bobina de retención.

Los relés diferenciales de tanto por ciento pueden aplicarse a elementos de sistema que tienen más de dos terminales, como en la aplicación de la figura 5. Cada una de las tres bobinas de retención tiene el mismo número de espiras y cada bobina produce par de retención independientemente de las otras, y sus pares se suman aritméticamente. La característica de pendiente del tanto por ciento para un relé semejante variará con la distribución de las corrientes entre las tres bobinas de retención.

Los relés diferenciales de tanto por ciento son en general instantáneos o de alta velocidad. No se requiere la acción retardada para la selectividad porque la característica diferencial de tanto por ciento y otras características suplementarias hacen inmunes a estos relés de los efectos de transitorios cuando los relés están aplicados de un modo adecuado.

#### E. Protección de Baja Frecuencia:

Un relé de tensión puede estar provisto con una resistencia en serie con su circuito de la bobina para disminuir cambios en la puesta en trabajo, reduciendo el efecto de los cambios, en la resistencia de la bobina con el calentamiento. Una resistencia semejante ayudará también a disminuir el efecto del cambio de la frecuencia en las características. Puede utilizarse un condensador en serie para obtener resonancia en serie a la frecuencia normal cuando se va a evitar el funcionamiento con armónicas.

La protección de baja frecuencia tiene por objeto abrir circuitos en el sistema para aliviar la carga que deben coger las máquinas al salirse una máquina o una planta del paralelo.

La descarga por baja frecuencia es proporcional a la cantidad de carga botada por las plantas, figura 7.

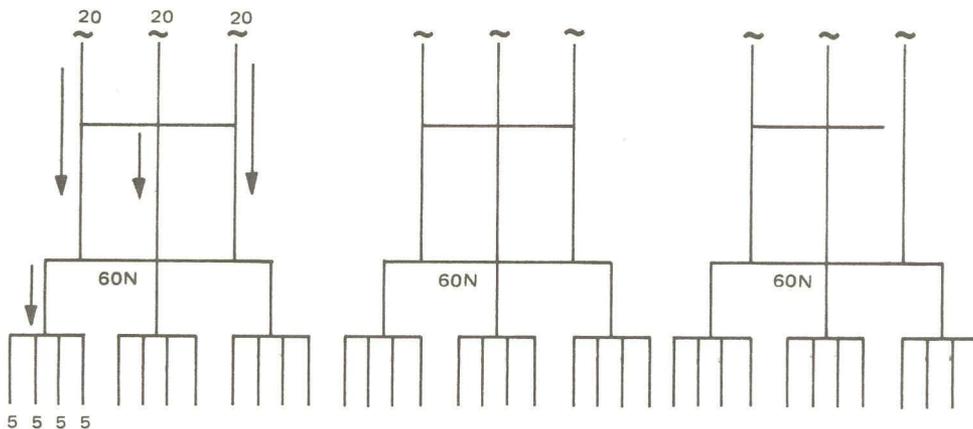


FIGURA 7

- Se tiene el sistema operando en condiciones normales.
- Se presenta la salida de sincronismo de una planta.
- Para aliviar la sobrecarga que van a coger las demás plantas, el relé de baja frecuencia abre los circuitos sometidos a él. La cantidad de carga abierta es proporcional a la descarga de las plantas.
- Una vez restablecida la falla, o se entren otras máquinas o plantas, se empieza a cargar circuitos de acuerdo a la frecuencia.
- En la subestación donde se presenta descarga por baja frecuencia, se debe avisar al Despachador de carga, quien debe ordenar la restablecida del servicio.
- Si el Despachador de Carga, ve que el daño en plantas es grande, debe dar aviso a los Ingenieros de Producción.

#### F. Protección de Sobre y Bajo Voltaje:

Los relés de sobretensión o baja tensión se derivan directamente de los tipos básicos de atracción electromagnética o de los de inducción. El prefijo sobre significa que el relé se pone en trabajo para cerrar un conjunto de contactos *a* cuando la magnitud de influencia excede a la cantidad para la cual está ajustado para funcionar. De la misma manera, el prefijo bajo significa que el relé se repone para cerrar un conjunto de contactos *b* cuando la magnitud de influencia disminuye por debajo de la cantidad de reposición para la cual está ajustado.

En general la protección de sobre-voltaje tiene por objeto abrir el sistema o parte de éste por sobretensiones debidas a cualquier causa.

La protección de bajo voltaje tiene por objeto de abrir circuitos en el sistema para aliviar la capacidad portadora de las líneas de transmisión al abrirse una o varias líneas.

La descarga por baja tensión es proporcional a la cantidad de líneas abiertas, fig. 8

- Se tiene el sistema operando en condiciones normales.
- Se presenta la apertura de una o varias líneas
- La carga que se está distribuyendo por todas las líneas trata de distribuirse por las líneas que quedan en servicio, pero las líneas tienen limitación de corriente, y para evitar esa sobrecorriente y sobrecarga, el relé de bajo voltaje abre los circuitos sometidos a él. La cantidad de carga abierta es proporcional a la capacidad de las líneas falladas.
- Una vez restablecida la falla, se cargan de nuevo los circuitos abiertos.

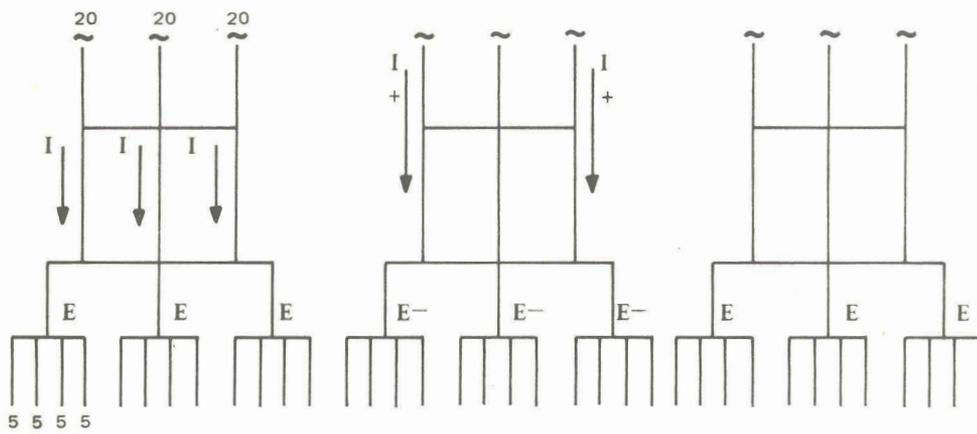


FIGURA 8

Las protecciones del transformador, diferentes, a las de sobrecorriente (instantáneo y temporizado) ya se han descrito en el capítulo del transformador como son: Relé Bucholz, imagen térmica, indicador de nivel, etc.

## RESUMEN

Esta unidad denominada "SISTEMAS DE PROTECCION", contiene dos aspectos principales. El primero, es el estudio de posibles perturbaciones que se presentan en el sistema y que van a incidir inmediatamente en la operación de las diferentes unidades de protección. En segundo lugar se analiza detalladamente el principio de funcionamiento de algunas de estas unidades, haciendo mención de sus características más importantes.

Por último se explican en particular, las señalizaciones de algunos relés de distancia empleados en las Empresas Públicas de Medellín, siendo ellos, la protección BROWN BOVERI, la protección ENGLISH ELECTRIC con su correspondiente protección de respaldo (protección BACK UP).

## BIBLIOGRAFIA

- CASTEL FRANCH, GIUSEPPE, Instalaciones Electricas, Barcelona, Editorial Gustavo Gili.
- DONAL G. FINK, H. WAYBE BEATY; JOHN M. CARROL. Manual Práctico de Electricidad para Ingenieros (I - II - III), 1a. ed. Barcelona, Editorial Reverté.
- GENERAL ELECTRIC SF<sub>6</sub> Circuit Breakers, Type FG1. SF Switchgear for Transmission, pl 9.
- GERIN, MERLIN. Disyuntores FA de Autosoplado de SF<sub>6</sub>. 72.5 a 765 Kv.
- NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. Interruptores de alta tensión para corriente alterna. (SG4 - 1968 R1973).  
Interruptores de Potencia de baja tensión (SG 3 - 1971).
- RAMIREZ, JOSE. Estaciones de Transformación y Distribución. Protección de sistemas Eléctricos, Enciclopedia CEAC de Electricidad, 1a. ed. Barcelona, octubre 1972.
- THE INSTITUTE OF ELECTRICAN AND ELECTRONIC ENGINEERS. Cierra Circuitos Automáticos para Sistemas de Corriente Alterna (IEEE 437 - 1974)
- Interruptores de Alta Tensión para Corriente Alterna (IEEE 417 - 1973, ANSI C37.079 - 1973).
- Conjunto de Interruptores de Potencia y Conmutadores para Corriente Alterna de Baja Tensión (ANSI C37 - 19 - 1963).
- WESTINGHOUSE, Interruptores de Gas SF Monopresión. Mando Tripolar. Monocámara. Madrid 1980.



