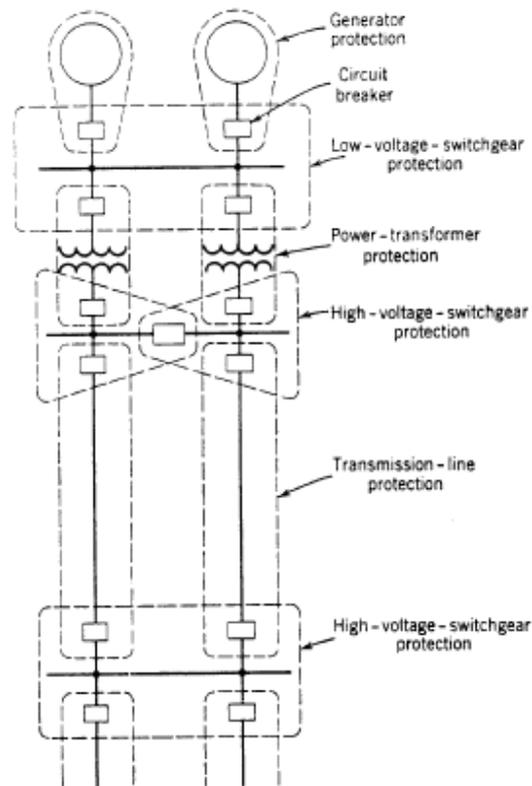


Material 4

Dispositivos de Protección



Profesor: Dr. Orly Ernesto Torres Breffe (CUBA)

CENACE

Ecuador

Material 4

Dispositivos de protección

Tema 2. Introducción a las Protecciones Eléctricas

Sumario:

- 📖 [Introducción](#)
- 📖 [Dispositivos primarios](#)
 - [Fusibles](#)
 - [Interruptores Automáticos](#)
 - [Recerradores](#)
- 📖 [Dispositivos secundarios](#)
 - [Relés](#)
- 📖 [Conclusiones](#)

Objetivo

Familiarizar a los estudiantes con las características fundamentales de los dispositivos de protección haciendo un desglose cronológico de su aparición.

Preguntas de control

1. ¿Qué dispositivos pueden conformar una protección?
2. ¿Son realmente instantáneas las protecciones?
3. ¿A qué dispositivos se le denominan primarios y cuales son los secundarios?

Bibliografía:

1. Altuve Ferrer Hector. Protección de Redes Eléctricas_ Santa Clara: Universidad de las Villas_ 1990, 254p.
2. Chernobrovov N. Protective Relaying. _ Moscow: Mir, 1974_ 1789p.
3. Fabricant V. L. Protección De Distancia / V. L. Fabricant _ Moscow:[sn], 1986_ 249p.
4. Fedoseev A. M. Protección por Relés de los Sistemas Eléctricos_ Moscow: [sn], 1984_743p.

5. Torres Breffe Orlys Ernesto. Laboratorio virtual de Protecciones Eléctricas Universidad de Camagüey_ 1999_ 133p.Tutor: Luis Corrales Barrios

4.1 Introducción

Son muchos los dispositivos de protección que se pueden encontrar en los sistemas eléctricos y en una clase no se podrán comentar, ni siquiera, las características fundamentales de todos, pero al menos se hará referencia a los de mayor utilización en la práctica nacional e internacional.

El primero de todos los dispositivos de protección es el fusible, el más antiguo de los conocidos hasta el momento. Luego con el avance de los conocimientos del electromagnetismo se comenzó con el diseño de los primeros interruptores y finalmente los relés. En la actualidad, con el desarrollo de la electrónica, estas unidades o relés que en su tiempo constituyeron la vanguardia de las protecciones, ahora forman parte de un dispositivo compacto que sirve como protección, medición y control de los elementos del sistema eléctrico.

El análisis del principio de funcionamiento y el conocimiento de las partes integrantes de los dispositivos de protección, tiene una importancia cardinal para comenzar a estudiar las protecciones eléctricas. Cada uno de estos dispositivos representa un método de protección y fueron creados cuando los anteriores no podían cumplir con las exigencias impuestas por el Sistema Eléctrico.

4.2 Fusibles

Los fusibles aunque son los más antiguos de los dispositivos de protecciones aún se utilizan con gran frecuencia en la protección de las redes de distribución urbanas. Estos dispositivos poseen el más sencillo de los funcionamientos posibles. Cuando una gran corriente pasa a través del fusor o lámina fusora, entonces se genera una alta temperatura que logra fundirla, quedando así desconectada la fase averiada.

Existe mucha variedad de fusibles y muchos de estos no tienen exactamente el mismo principio de funcionamiento, pero la variedad de estos está en dependencia del nivel de tensión, la aplicación y la importancia del elemento a proteger.

Existe una cosa muy importante a tomar en cuenta en los fusibles y es su característica de respuesta. Un fusible no tiene un tiempo único para su operación, sino por el contrario este depende del nivel de la corriente que lo atraviesa. Para corrientes mayores, mayores temperaturas y, por tanto, más rápida es la fusión de la lámina fusora y todo lo contrario ocurre para menores corrientes. Es decir, el tiempo de operación es inversamente proporcional a la corriente figura 4.1

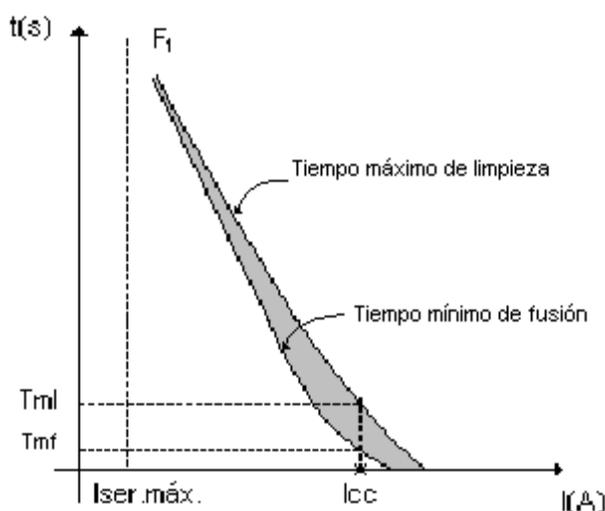


Figura 4.1. Característica hipotética de temporización de un fusible.

Además de la característica de tiempo inverso, es válido destacar que existe una diferencia entre el tiempo que necesita la lámina para comenzar a fundirse y el tiempo en que logra fundirse por completo. En este sentido los fabricantes suelen ofrecer dos curvas de temporización, la curva de tiempo mínimo de fusión y la de tiempo máximo de limpieza.

Como casi todos los dispositivos de tiempo inverso, jamás accionará para la corriente que los caracteriza. Es decir, un fusible de 100A jamás fundirá para una corriente igual a este y en el caso de los fusibles, este fenómeno suele ser exagerado; es decir, que un fusible de 100A comenzará la fusión con no menos de 300A. Este detalle es muy importante y útil a la hora de coordinar el funcionamiento de los mismos con respecto a otros tipos de dispositivos.

Es un dispositivo de protección primario; es decir, que no utiliza transformadores de corriente sino que por el contrario se conecta directamente en las fases de potencia del sistema eléctrico y, por tanto, debe tener la suficiente capacidad interruptiva; si no puede fundirse o explotar toda la instalación; bornes, porta fusibles, etc.

Los fusibles no pueden ajustarse; sólo se seleccionan, es decir, que el objetivo radica en hacer una buena selección del fusible para la protección contra determinado defecto que por lo general es el cortocircuito.

4.3 Interruptores Automáticos

Cuando se presentan muchos fallos en las redes protegidas por fusibles, el tiempo de restauración depende de la demora en cambiar el fusible o al menos la lámina fusora y en ocasiones, fundamentalmente en las redes de distribución industriales, el costo de las desconexiones suele ser elevado y, por tanto, se precisa de tiempos cortos de reenergización.

El interruptor automático puede reponerse, por lo general, de forma muy rápida mediante la acción mecánica luego de una actuación contra un cortocircuito. Además, suelen fabricarse con mayor capacidad y desde uno a tres polos en un mismo dispositivo.

Los interruptores automáticos a diferencia del fusible, se pueden encontrar con variantes ajustables o no ajustables. Es decir, en muchos casos sólo se debe seleccionar el dispositivo deseado, pero en otros casos algunos de los parámetros que caracteriza su actuación pueden configurarse.

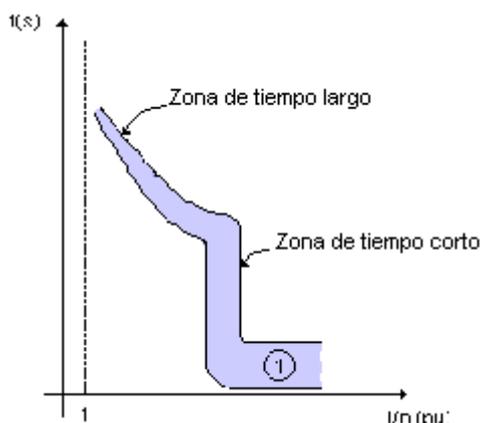


Figura 4.2. Característica hipotética de temporización de los interruptores

En la figura 4.2 se muestra la curva del comportamiento del tiempo de acción algunos interruptores automáticos, aunque se conocen muchos tipos de curvas en dependencia de la tecnología y el fabricante.

Los interruptores automáticos a diferencia de los fusibles, en su gran mayoría tienen varias zonas de operación. En la figura 4.2, se muestra la zona de tiempo largo o de acción lenta que suele ser de tiempo inverso y la zona de tiempo corto, que puede ser instantánea o no. En muchos interruptores estas zonas de tiempo corto pueden estar divididas en: zona de tiempo corto y zona instantánea (figura 4.3).

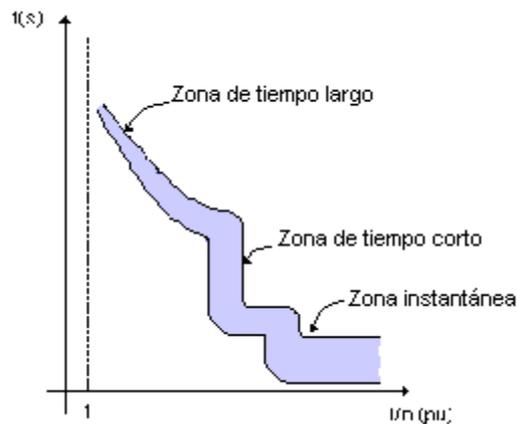


Figura 4.3. Característica hipotética de un interruptor con varias zonas de operación

Estas zonas de operación por lo general pueden ajustarse ya sean en la magnitud de la corriente o del tiempo. En ciertos interruptores sólo se puede ajustar algunos de estos parámetros, pero en cambio en otros, el fabricante permite la configuración total de las características o zonas de operación (figura 4.4), pero por lo general suelen ser más caros.

Principalmente por la irregularidad de sus características de operación, la coordinación entre interruptores o entre un interruptor y otro dispositivo de tiempo inverso suele ser más compleja que en los fusibles, y se haga necesario la utilización de programas de computación o la manipulación gráfica de sus características (t vs i)

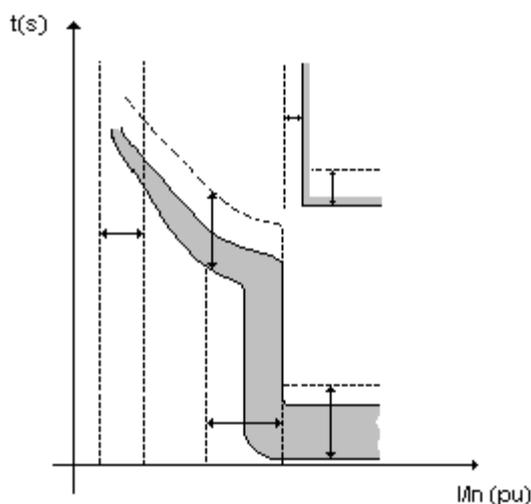


Figura 4.4. Parámetros de ajustes de un interruptor hipotético de varias zonas de operación

Algunos interruptores automáticos combinan en su interior, componentes de acción contra las fallas monofásicas a tierra, para lo que utilizan la corriente de secuencia cero. En la actualidad se están incorporando dispositivos de acción diferencial que poseen mucha sensibilidad y la demanda irá en ascenso.

Otros interruptores son capaces de indicar el tipo de acción que efectuó, si fue por la zona de tiempo corto o instantáneo (provocado por cortocircuitos) o por la zona de tiempo largo (provocado por sobrecorrientes debidas a sobrecargas, etc.) lo que permite mayor velocidad en la detección futura de la avería.

4.4 Recerrador o Reconectador

En las redes a la intemperie suelen ocurrir averías que son transitorias; es decir, que pudieran desaparecer si se desconectara, por un instante, la energía del sistema y se conectara rápidamente para que no afectase la continuidad del servicio. Es decir, es factible tener una pequeña desconexión que permita eliminar la zona de ionización que se crea en el lugar del cortocircuito, que no una desconexión permanente o frecuente por una causa de poca importancia.

El Recerrador es el dispositivo que permite realizar tal función, es capaz de detectar un fallo y provocar una desconexión por un tiempo muy pequeño para luego conectar nuevamente el circuito de forma automática.

Claro que no todos los fallos son transitorios y el proceso de conexión - desconexión se repetiría hasta que se llegue al máximo que suelen ser entre 3 y 4 conmutaciones o hasta que accionen las protecciones más cercanas al lugar del fallo.

Un punto importante a destacar es que el Recerrador debe ser más rápido que las protecciones que estén delante de él en la red, porque su función carecería de validez. En el caso de un cortocircuito alejado de él, en una línea protegida por un fusible, debería ser más rápido que el fusible, al menos para la primera conmutación, porque sino el fusible se fundiría eliminando el fallo de la forma no deseada.

Los Recerradores en algunos casos deben ser más rápidos que las protecciones adyacentes y en ocasiones deben ser más lentos. Para esto, se suelen crear con diferentes curvas de temporización en cada una de las conmutaciones. La primera de las conmutaciones suele ser de acción rápida (en ocasiones de tiempo definido o instantánea) (curva A) y las restantes de tiempo inverso con grandes demoras de tiempos (Curva B y C) (figura 4.5).

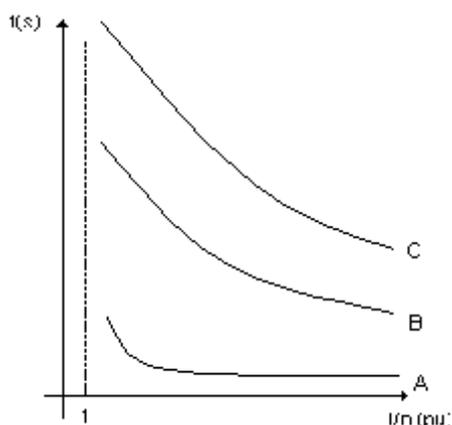


Figura 4.5. Característica hipotética de temporización de un Recerrador.

En los sistemas de distribución existen Recerradores que constituyen una unidad compacta en la que sólo se puede utilizar dos tipos de curvas con 3 posibles conmutaciones, por tanto, se hace necesario repetir una de ellas. Puede que la primera y la segunda conmutación se configuren rápidas y la tercera lenta, o a la inversa.

En la actualidad los dispositivos con Recierres permiten configurar completamente todas las características de cada una de las conmutaciones; así como bloquear las conmutaciones en caso de averías en el dispositivo interruptor o para el caso de corrientes excesivamente grandes.

4.5 Relés

Los dispositivos anteriores por lo general son primarios y no siempre presentan las bondades necesarias en cuanto a sus ajustes y se muestran rígidos o complejos. Para ganar en flexibilidad aparecieron los relés en todas sus variantes con grandes posibilidades de ajustes y menor costo.

Son muchas las variantes de relés que existen, pero lo normal es que constituye un dispositivo que se conecta al secundario de los transformadores de medición (corriente o tensión) y acciona directa o indirectamente al interruptor, que en este caso no será automático.

Los relés pueden medir corriente o tensión y en muchos casos las dos al mismo tiempo, extraen la componente que desean, la comparan, esperan el tiempo determinado por el tipo de temporización que posean; ya sea tiempo inverso o definido y actúan cerrando sus contactos. Por lo general los contactos de un relé no tienen la suficiente potencia como para controlar las bobinas de los interruptores y, por tanto, se hace necesario utilizar otros elementos intermedios.

Relés de Sobrecorriente de fase

Estos dispositivos son muy sencillos y su principio de acción está muy relacionado con el valor eficaz de la corriente. Este dispositivo mide el valor eficaz de la corriente que llega a sus bornes, y opera si el valor medido supera un valor preestablecido con anterioridad (ajuste). La operación la hará en dependencia del tipo de temporización que posea: Tiempo inverso o Tiempo definido.

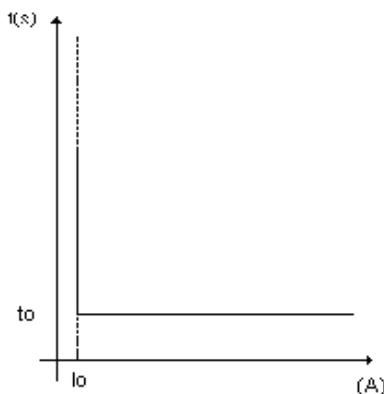


Figura 4.6. Característica hipotética de un Relé de Sobrecorriente de tiempo definido

En la figura 4.6 se muestra la acción de tiempo definido. Para corrientes mayores que (I_0) el relé operará en un tiempo siempre igual a (t_0). Es decir, que sin importar la magnitud de la sobrecorriente el tiempo de operación siempre será el mismo.

En la figura 4.7 se muestra la acción de tiempo inverso. Para corrientes mayores que (I_0) el tiempo dependerá del nivel de la sobrecorriente. Mayores sobrecorrientes menores tiempos. Estos dispositivos están caracterizados por tener un grado de inversión determinado y poseer una familia de curvas enumeradas entre las cuales es necesario seleccionar una. A esta numeración se le conoce como múltiplo o palanca de tiempo y constituye uno de los parámetros a ajustar.

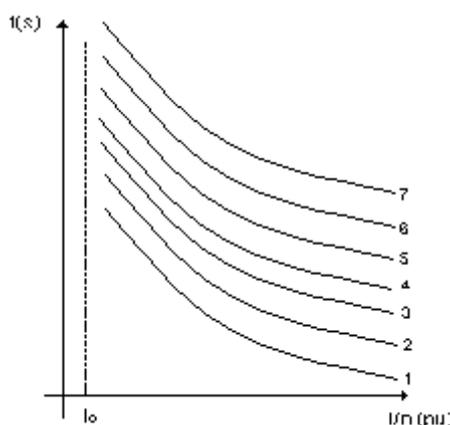


Figura 4.7. Característica hipotética de un Relé de Sobrecorriente de tiempo inverso

En la actualidad existen relés que extraen las componentes de secuencia cero de las corrientes de las fases y actúan de manera similar a los explicados anteriormente, pero con las corrientes de secuencia cero. Son conocidos en la norma ANSI como 50G y 51G. Estos últimos sólo actuarían para aquellos fenómenos con la tierra como los cortocircuitos monofásicos.

Relés de Sobre y baja tensión

En estos relés sucede de la misma forma a lo explicado en los Relés de Sobrecorriente pero con la tensión. Claro que se colocarían en el secundario de un transformador de potencial. Aunque son más comunes los de características de tiempo definido también aparecen los de tiempo inverso, pero su aplicación no está muy generalizada. Se conocen en la norma ANSI como 27 y 59.

Se pueden encontrar variantes de estos dispositivos pero que operen con algunos de las componentes armónicas de la tensión, por ejemplo el tercer armónico y son muy comunes en la protección de generadores contra fallos a tierra.

Relés de sobre y baja frecuencia

Estos como los anteriores explicados se clasifican como relés de magnitud. Es decir, relés que utilizan una sola magnitud o componente de la señal medida para su operación. En este caso, el relé de frecuencia está midiendo la frecuencia de la tensión aplicada a sus bornes de entrada y opera para cuando se viola el punto de ajuste del mismo.

Para un relé de sobre frecuencia 81O (ampliamente utilizado en la protección de sobre-velocidad de los generadores sincrónicos) si la frecuencia supera el punto de ajuste establecido, el relé cerrará sus contactos si este fenómeno permanece más tiempo del ajustado en el relé. El relé de baja frecuencia 81U (ampliamente utilizado en los interruptores de enlaces entre sistemas diferentes, protección separadora de sistemas) trabaja si la frecuencia disminuye por debajo del ajuste dado más tiempo que el establecido.

Relés Direccionales

En muchas ocasiones y principalmente en redes multilaterales se hace necesario medir con efectividad que corriente, durante un fallo, proviene de una u otra fuente; es decir, se hace necesario medir la dirección de la corriente de cortocircuito.

Los Relés Direccionales aparecen por dos razones, la primera es la imposibilidad de coordinar los relés de sobrecorrientes en las redes multilaterales y la segunda es la detección de un exceso de potencia en una dirección determinada de un sistema de potencia.

Existen dos variantes de Relés Direccionales: la de comparación de fase, principalmente conocida como Relés Direccionales de Sobrecorriente (67) y la de potencia, conocida como Relés Direccionales de Potencia (32).

El Relé Direccional de fase o Sobrecorriente (67) se instala acompañado de relés de sobrecorriente y su función es bloquear la operación de estos cuando cambia la dirección de la corriente en dirección contraria a la establecida. Este relé por lo general sólo mide el

ángulo de desfase entre la tensión y la corriente y opera cuando este se aleja de un valor establecido sin importar la amplitud de la tensión, ni de la corriente.

El Relé Direccional de potencia (32) a diferencia del anterior mide la potencia activa y, por tanto, guarda relación con el desfase entre la tensión y la corriente y sus magnitudes. También se pueden encontrar Relés Direccionales de potencia reactiva (40Q) pero su aplicación está menos difundida, quizás solo en la detección de pérdida de excitación de los generadores.

Relés de distancia

La magnitud de las corrientes de cortocircuitos depende, entre otras cosas, del nivel de generación del sistema. Para los estados de mínima generación, las corrientes de cortocircuitos suelen disminuir a valores muy pequeños y esto puede provocar la insensibilidad de algunos Relés de Sobrecorriente.

El Relé de Distancia aparece para evitar estos problemas, es decir, es un dispositivo inmune a los cambios de generación del sistema. Para su funcionamiento necesita medir las señales de tensión y de corriente, calculando la impedancia con la relación de estas dos variantes.

La impedancia de cortocircuito, que es la magnitud por la cual él opera, varía en dependencia de la distancia entre el lugar del fallo y la ubicación de la protección y es por ello que a estos relés se les conoce como Relés de Distancia. La impedancia disminuye a medida que el fallo se acerca al relé y aumenta a medida que se aleja, esto permite comprender que estos tipos de Relés son dispositivos de mínima; es decir, operarán cuando la impedancia disminuye por debajo de un valor establecido (ajuste).

Aunque el ajuste, por lo general, es un valor de impedancia, estos relés presentan diferentes características en el plano X (ordenadas) y R (abscisas) que los representa o los clasifica. Son muchas las variantes de Relés de Distancias (figura 4.8) y la más utilizada en el país es el tipo MHO o resistencia.

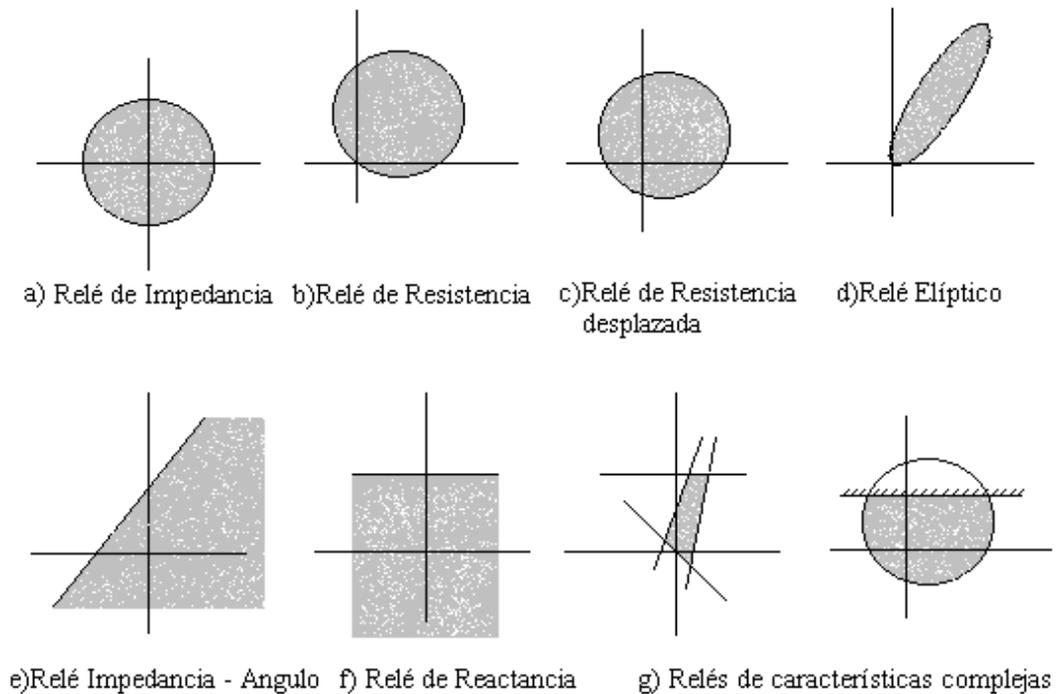


Figura 4.8. Característica hipotética de los Relés de Distancias

La verdadera operación se efectuará cuando el par ordenado (R_f y X_f), extraído de la impedancia de fallo (Z_f) medido por el relé, se encuentre en el interior de las características que represente al mismo.

Estos Relés son conocidos como relés complejos por la gran variedad de los mismos y la dificultad de sus ajustes, su numeración ANSI es 21. En la actualidad se crean dispositivos que combinan varios escalones de relés de distancia y con características dinámicas; es decir, que la figura que lo representa no tiene un tamaño estático. Estas características dinámicas son provocadas por un filtro o memoria que poseen para almacenar la tensión y cuando la tensión desaparezca producto a un fallo muy cercano, operar con el valor almacenado.

Relés Diferenciales de corrientes

En algunas redes o líneas, fundamentalmente las de Transmisión, son imprescindibles acciones rápidas de las protecciones para todos los fallos que se puedan presentar; es decir, una protección de acción instantánea que proteja el total de la línea sin dejar zonas muertas o de no - operación.

Entonces el problema radica en encontrar un método de protección que sea independiente de los cambios de la generación, como la protección de distancia, pero que a la vez no tenga zona muerta y en este sentido aparece la Protección Diferencial que es altamente sensible y absoluta, pero al mismo tiempo la más costosa de todas.

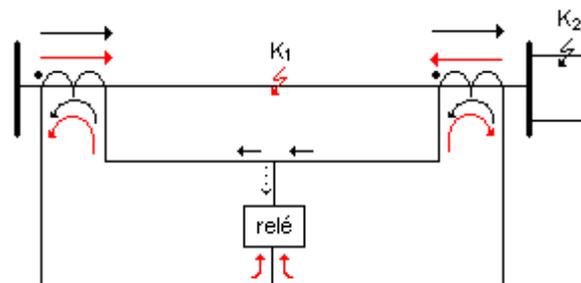


Figura 4.9. Principio de acción de las protecciones diferenciales

En la figura 4.9 se muestra el principio de operación, en un diagrama monolineal, de la Protección Diferencial. Esta consiste en un relé que operará para la diferencia que existe entre las corrientes en los extremos del elemento protegido. Para el caso del fallo externo (K2) no pasará corriente por el relé, por tanto, el Relé no debe operar. Para el fallo interno (K1), la corriente que pasa por el relé es la corriente de cortocircuito referida al secundario de los transformadores de corriente y el relé debe operar rápidamente (Torres, 1999).

Se puede utilizar un relé de sobrecorriente en la conexión diferencial y con esto, constituir una protección diferencial, pero se han encontrado bastantes problemas relacionados con la operación incorrecta de estas conexiones.

Un relé diferencial mide dos corrientes por cada paso, muchas veces no son solo dos, pero el principio de acción es el mismo. En este tipo de relés se ajusta una corriente y si el valor de la diferencia que se mide es superior al valor ajustado, el relé operará. Estos son conocidos como relés diferenciales instantáneos y su numeración ANSI es 87/50.



Figura 4.10. Característica hipotética de un relé de porcentaje diferencial

Se conocen los relés del tipo Porcentaje Diferencial que son un tanto más complejos pero más absolutos y sensibles (figura 4.10). Para su operación también utilizan dos señales de corrientes pero de estas extraen dos componentes: la corriente de operación (I_{op}) y la corriente de retención (I_{ret}). Con estas dos señales llevadas al plano cartesiano formado por las I_{op} como las ordenadas y las I_{ret} como las abscisas, se establecerá la operación del relé. Existen variantes con doble rampa (figura 4.11) que son mucho más sensibles e inmunes a las corrientes de desbalances que lo harían operar incorrectamente en caso de saturación de los transformadores de corriente para cortocircuitos externos. La corriente I_{s1} , la pendiente de cada rampa y el punto de cambio de rampa son parámetros ajustables.



Figura 4.11. Característica hipotética de un relé de porcentaje diferencial de doble rampa

Estos son los relés que conforman el método más exacto entre los conocidos en las protecciones eléctricas y, por lo general, se le aplican a los elementos de mayor importancia en los sistemas eléctricos de potencia (generadores y transformadores de potencia).

4.6 Conclusiones

Con esta conferencia no hemos pretendido abordar la totalidad de los dispositivos que existen para la protección de los sistemas eléctricos de potencia, fueron muchas variantes de aparatos que no se mencionaron: los Seccionadores, los Relés de resistencias que se utilizan para detectar fallo en los generadores y otras muchas variantes y modificaciones de los que se mencionaron.

En la actualidad han aparecido métodos o funciones que combinan muchos de los que se explicaron con anterioridad. Son comunes Relés de Sobrecorriente Restringidos por Tensión para la protección de generadores contra cortocircuitos externos. Son conocidos y muy aplicables en los motores eléctricos, los relés de sobrecorrientes restringidos por temperaturas y así son muchas las variantes y combinaciones utilizadas en la actualidad.

Finalmente el dominio de los dispositivos les permitirá tener una visión clara de la problemática que envuelve a las protecciones eléctricas y, además, les permitirá hacer una cronología de la aparición de los mismos tomando en cuenta sus ventajas y desventajas.

Preguntas de control

1. Enumere los dispositivos de protección estudiados y describa brevemente su principio de funcionamiento.
2. ¿Por qué razón aparecen los Recerradores?
3. Mencione un ejemplo de aplicación de los Relés Direccionales.
4. ¿Cuál es la ventaja fundamental de los Relés de Distancia con respecto a los relés de sobrecorriente?
5. ¿Se puede hacer una protección diferencial con relés de sobrecorriente? Explique