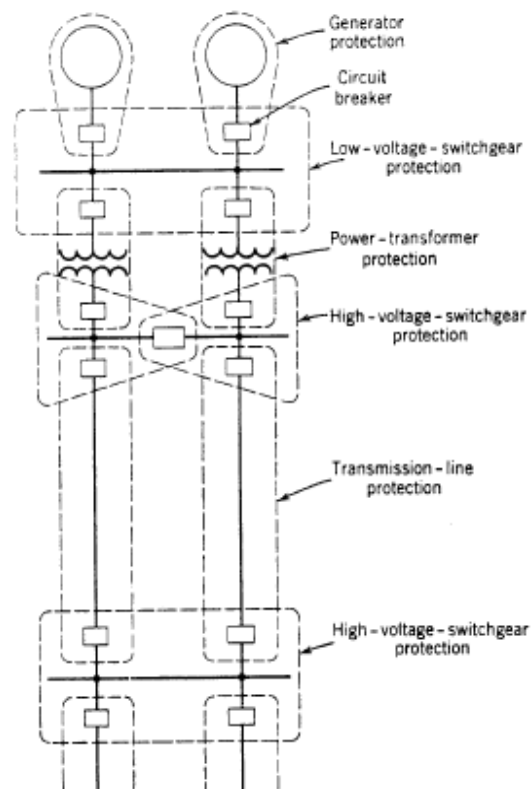


Protecciones Eléctricas

Material 3

Generalidades de las Protecciones Eléctricas



Profesor: Dr. Orly Ernesto Torres Breffe (CUBA)

CENACE







ECUADOR

Material 3

Generalidades de las Protecciones Eléctricas

Tema 2. Introducción a las Protecciones Eléctricas

Sumario:

-  [Introducción](#)
-  [Importancia y Misión de las Protecciones Eléctricas](#)
-  [Esencia o invariante en el estudio de las Protecciones Eléctricas](#)
-  [Características de los Elementos de Protección](#)
-  [Breve historia de las protecciones eléctricas](#)
-  [Conclusiones](#)

Objetivo

Brindar a los cursantes los conceptos fundamentales y necesarios para introducirse en el aprendizaje de la ciencia de las protecciones eléctricas.

Preguntas de control

1. ¿Cuáles son los elementos fundamentales empleados en un Sistema Eléctrico de Potencia?
2. ¿Son evitables los cortocircuitos y otras averías en los elementos de un Sistema Eléctrico de Potencia?
3. ¿Podrán permanecer por tiempo indefinido las averías en un Sistema Eléctrico de Potencia? ¿Por qué?

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. Donald Beeman...[et al]. Industrial Power Systems. Handbook_La Habana: Instituto del Libro, 1969 _971p.
4. Fedoseev A. M. Protección Por Relés De Los Sistemas Eléctricos_ Moscow: [sn], 1984_743p.
5. GE Power Management (2004). CD-ROM.
6. L&K Internacional video training. Protección del Sistema de Energía. PSP 1. Fundamentos básicos.1991.
7. Mason C. Russell. The Art and Science of Protective Relaying / C. Russell Mason _ La Habana: Pueblo y Educación, 1975 _ 585p.
8. Pérez B. R. Fuentes L. O. Diagnóstico de grandes transformadores a distancia en una subestación Venezolana. Simposio Internacional de Eléctrica._ 2005.
9. Torres, Orlys. Desarrollo de Herramientas para la creación, modelación y comprobación de protecciones eléctricas. Tesis en opción al título de doctor en ciencias técnicas._ 2005, 106 p.

3.1 Introducción

Las averías en los Sistemas Eléctricos de Potencia son inevitables [3]. Estas averías pueden no solo ocurrir por el desgaste natural del aislamiento del elemento que está funcionando, sino incluso por la manipulación o instalación inadecuada de los operadores. Un cortocircuito puede no solo destruir el elemento donde haya ocurrido sino producir la pérdida de estabilidad de las máquinas generadoras e incluso la destrucción de otros elementos del sistema, de ahí que se necesita de un sistema que trabaje al unísono con el sistema eléctrico de potencia y que desconecte rápidamente el elemento que está averiado. Este sistema es conocido como "protecciones eléctricas" y debe accionar solo cuando ocurre una avería y no debe influir en la operación normal del Sistema Eléctrico de Potencia. Un Sistema Eléctrico de Potencia de calidad es, dentro de otras cosas, un sistema que reaccione establemente frente a la averías, un sistema adecuadamente protegido.

El primer Sistema Eléctrico de Potencia fue construido por la compañía Norte Americana General Electric en 1878 y desde esa época se reportan los primeros dispositivos de

protección (fusibles) [9]. De ahí que la ciencia de las protecciones eléctricas es tan antigua como el Sistema Eléctrico de Potencia mismo y tiene solo un poco más de un siglo de existencia.

Para poder comprender la asignatura Protecciones Eléctricas es importante conocer cual es el objeto de estudio de la misma, dominarlo a la perfección y comprender que la asignatura es imprescindible para un ingeniero eléctrico en formación.

El **objeto** de estudio de este curso es “Las Protecciones eléctricas utilizadas en los Sistemas Eléctricos de Potencia” y el **objetivo** fundamental será “proteger eficazmente al personal operativo y los elementos fundamentales del Sistema Eléctrico de Potencia contra los defectos y averías que en ellos puedan presentarse.

El **problema** fundamental que se presentan a la hora de proteger eficazmente un Sistema Eléctrico de Potencia es lograr la diferenciación adecuadamente entre un régimen de avería intolerable y un régimen transitorio permisible por muy severo que este sea. Durante el régimen de avería, la protección debe actuar y desconectar la energía del elemento averiado, pero nunca desconectar la energía durante un régimen transitorio permisible.

La asignatura posee dos temas principales: Protección de Redes Eléctricas y Protección de Máquinas Eléctricas. Posee un conjunto de actividades iniciales (Introducción) y finales (Resumen) que serán de mucha utilidad para la comprensión de los contenidos y el desarrollo de las habilidades generales de la asignatura.

3.2 Importancia y Misión de las protecciones

Es difícil hacer un resumen sobre la importancia o la misión de las Protecciones Eléctricas y estos conceptos irán cambiando a medida que nos adentremos más en el estudio de ésta, la más importante ciencia dentro de la Disciplina Sistemas Eléctricos. Un sistema incorrectamente protegido no tendrá calidad, sin importar si ha sido correctamente diseñado y que se esté siendo explotando de forma optima.

A continuación se darán algunas nociones sobre las protecciones eléctricas, su misión e importancia, aunque en la literatura señalada se podrán encontrar otros detalles al respecto.

- **Misión de las Protecciones Eléctricas.** *Desconectar tan rápido como sea posible, la parte del sistema eléctrico que esté averiada.[6]*

Los sistemas eléctricos no están exentos de la ocurrencia de averías [1]. Por mucho que se mejoren los aisladores y los materiales aislantes con que se fabriquen los elementos del sistema, el riesgo de la avería siempre está presente y por tanto las protecciones deben estar listas para la desconexión de la zona o parte del sistema averiada en cualquier momento.

La misión anteriormente expuesta es la que por años se ha mantenido, pero en la actualidad se está comenzando a madurar la idea de que las protecciones determinen de forma “predictiva”, cuando ocurrirá el fallo y por tanto, actuar antes que este ocurra. El diagnóstico on-line de los elementos del sistema no está muy difundido [7], pero con la utilización de las actuales protecciones basadas microprocesadores, ya se está logrando que las protecciones calculen de manera aproximada el tiempo de vida útil de los equipos y por tanto así enfatizar en su cuidado [5]. La ciencia de las probabilidades y las estadísticas juegan un papel importante en todo este nuevo concepto.

- **Importancia de la utilización de las protecciones.** *Evitar daños mayores en el elemento averiado y la propagación de estos daños a otros elementos del sistema eléctrico de potencia.*

Siguiendo la primera de las dos misiones de las protecciones, cuando ocurre un cortocircuito son conocidos los elevados niveles que alcanzan las corrientes durante su ocurrencia [2] y por tanto, su permanencia, no solo sería fatal para el elemento averiado, sino también para otros elementos que no participan directamente en el fenómeno transitorio.

Las altas corrientes generan grandes temperaturas en el punto de descarga o de cortocircuito y si estos no son desconectados con extrema rapidez, el elemento averiado quedaría destruido completamente y no podrá ser siquiera reparado. La carcasa de las máquinas se funden en conjunto con sus devanados, explosiones peligrosas para la seguridad del personal operario, entre otras, son algunas de las consecuencias que traen consigo las averías, y para evitar estos desastres, se deben instalar protecciones y que su acción sea eficaz. Los niveles de las corrientes de cortocircuitos trifásicos pueden superar

en 10 veces las corrientes nominales del equipo averiado [4] y solo bastará que este permanezca unas centésimas de segundo y el equipo puede quedar inutilizable.

Los tiempos de actuación casi siempre son, en caso de cortocircuitos, menores que 0.5 segundos; por tanto, los sistemas eléctricos necesitan elementos que actúen con gran velocidad. Evidentemente estos no pueden ser logrados con la acción física del hombre y se necesitan elementos autónomos para actuar contra los fallos en los sistemas eléctricos y estos son llamados Protecciones Eléctricas [7].

3.3 Esencia o invariante en el estudio de las Protecciones Eléctricas.

Los elementos del Sistema Eléctrico de Potencia son muchos, al igual que son varias las protecciones en ellos utilizadas por lo que esta asignatura pudiera ser excesivamente extensa y difícil de comprender, pero al igual que en todas las ciencias en ésta también existe un núcleo teórico, una esencia en su estudio. En este caso lo principal es entender, que se deben proteger los elementos del sistema contra los defectos que ocurren con mayor frecuencia en ellos y siguiendo este concepto comenzar estudiando los elementos como tal, las causas de sus averías, etc.

Este punto de vista es importante, para la comprensión y orientación en este estudio. Algo diferente a esto, se observa frecuentemente en la literatura especializada. Se comienza por el estudio de los métodos de protección de forma directa y generalmente trae consigo el fracaso para muchos principiantes en la materia, los cuales pasan mucho trabajo para comprender los contenidos esenciales de uno u otro método de protección.

La lógica para aprender protecciones eléctricas se muestra en un diagrama de bloques que se anexa al final del documento, pero puede también ser comprendida mediante los siguientes pasos:

1. Dispositivos convencionales de protección:
 - 1.1 Principio de funcionamiento
 - 1.2 Partes constructivas
 - 1.3 Curvas de temporización
2. Defectos y regímenes fundamentales:
 - 2.1 Tipos fundamentales

- 2.2 Características de los parámetros eléctricos durante el fenómeno
- 2.3 Efectos que provocan en el elemento a proteger
- 3. Métodos de protección:
 - 3.1 Selección del parámetro o los parámetros a medir para detectar el fallo
 - 3.2 Formas de medición
 - 3.3 Características de respuesta del elemento de protección
 - 3.4 Funcionamiento durante fallos para todas sus variantes
 - 3.5 Criterio de detección del fallo (Ajuste)
- 4. Normas de las protecciones:
 - 4.1 Selectividad
 - 4.2 Sensibilidad
 - 4.3 Velocidad de respuesta.
- 5. Proyecto de protección:
 - 5.1 Selección de variantes
 - 5.2 Esquemas de protección
 - 5.3 Simulación

Lo primero que es necesario estudiar son los dispositivos que se emplean en una protección, sus principios de acción, sus partes constructivas, características de temporización, pero de forma muy breve, dado que éstos son muchos y variables, cada fabricante ofrece una forma diferente en cuanto a su construcción y forma de ajustar.

Seguidamente se estudian todos los defectos que pueden ocurrir en el elemento a proteger, definiendo los diversos tipos, variabilidad de los parámetros eléctricos (i , u , P , Q , f) y sus componentes, así como los efectos que estos pueden causar al elemento en sí. Este último aspecto define el fallo como un defecto grave o un simple régimen anormal, los cuales se tratan de forma diferente.

Si es un defecto grave, debe ser desconectado con extrema rapidez, verificando que el sistema eléctrico no pierda su estabilidad por ésta causa. Si se considera solo que es un régimen anormal transitorio, entonces se puede esperar algún tiempo o aplicar algunas medidas con el fin de eliminarlo sin tener que desconectar el elemento.

Luego de realizada esta labor que en muchos casos no es compleja, dado que el estudiante para ello a recibido las asignaturas de **Procesos Transitorios y Máquinas Eléctricas**, se procede a aplicar un método de protección contra cada uno de estos defectos.

Es posible que un método incluya o proteja al elemento contra varios defectos a la vez, pero de forma general tenemos que seleccionar uno para cada defecto. La selección del método no es más que definir los parámetros eléctricos (o sus componentes) que se medirán para detectar el defecto, las formas en que se medirán y si serán utilizados elementos de máxima o de mínima. También si el tiempo de respuesta dependerá o no de la magnitud del fallo.

Los elementos de máxima son aquellos que verifican si el valor del parámetro eléctrico supera a un valor establecido (ajuste) y los elementos de mínima, accionarán si el valor del parámetro eléctrico es menor que el ajuste.

Seguidamente se simulará su funcionamiento para diferentes versiones de este defecto (en diferentes zonas del elemento protegido) y se define, lo que se considera lo más complejo en el análisis o selección de un método, que es el criterio de detección del fallo (ajuste). Este último es considerado así, dado que es el valor (parámetro eléctrico) que determina si estamos en presencia de un fallo o de un régimen aún normal para ese elemento.

Después de realizado los cálculos para el ajuste de las protecciones contra este defecto, se procede a la verificación de las normas o propiedades de las protección (selectividad, sensibilidad, velocidad de respuesta), si no cumple con éstas, se debe cambiar de método.

Este proceso se repite para cada uno de los defectos seleccionado en el primer punto. Generalmente al finalizar, se tienen varias variantes para cada defecto y se seleccionará la económicamente factible para ese momento. Se construirán los esquemas finales de protección en forma de un proyecto.

Aquí se ha introducido un nuevo elemento la "simulación" de este esquema o proyecto de protección con el fin de comercializarlo o para la verificación de su funcionamiento en general. En este último punto, actualmente, adquieren gran importancia el empleo de computadoras con programas diseñados al respecto.

Existen aspectos dentro de este algoritmo general que son necesarios conocer para la comprensión del mismo:

1. Selectividad
2. Sensibilidad
3. Coordinación

Las protecciones tienen una propiedad o misión fundamental, que como se dijo, es la desconexión del elemento averiado, pero solo de este elemento sin necesidad de desconectar a otro elemento adyacente (selectividad absoluta). En ocasiones, pero solo como respaldo, se necesita que las protecciones desconecten o garanticen la alimentación de ciertas zonas de sistemas adyacentes a ellas, en el caso de que sus protecciones no actúen (selectividad relativa).

La coordinación es un término que aparece en aquellas protecciones con selectividad relativa y que garantiza que para el caso de las protecciones de respaldo, operarán desplazadas en tiempo con respecto a las protecciones principales del elemento en cuestión. Las protecciones de respaldo por lo general poseen demoras de tiempo.

Comparando esta misión con la de un cirujano que se está operando a un paciente, éste solo cortará aquella parte que está enferma, y se limitará muy bien a esta zona, extendiéndose solo en aquellos casos en que la enfermedad se pueda expandir a otras zonas del cuerpo. El cirujano, de seguro, es muy **selectivo** con el órgano o parte del cuerpo que va a cortar.

La **sensibilidad** no es más que la capacidad de la protección de accionar ante el fallo y se verifica a través de una constante que relaciona el fallo mínimo que se pueda dar en ese elemento y el ajuste que tenga la protección.

En el caso de las simples Protecciones de Sobrecorriente el coeficiente de sensibilidad se calcula de la siguiente forma:

$$K_s = \frac{I_{cc_{MIN}}}{I_{ajuste}}$$

donde:

- Ks:** Coeficiente de sensibilidad
- I_{cc} _{MÍN}:** Corriente mínima de cortocircuito
- I_{ajuste}:** Valor de ajuste de corriente de la protección

Este coeficiente será mayor que la unidad solo cuando la protección es sensible, dado que el menor valor de la corriente de fallo supera al ajuste en ella establecido. Muchas veces se desconoce el valor mínimo del fallo y se utilizan normas para este coeficiente a partir de otros fallos conocidos ($1.5 \div 2$).

No solo es importante desconectar el elemento averiado (*selectividad*), incluso contra aquellos fallos de pequeña magnitud (*sensibilidad*), es muy importante desconectarlo rápidamente. La **velocidad de respuesta** debe ser variable, un cortocircuito debe ser desconectado rápidamente, mientras que una sobrecarga debe ser desconectada según su magnitud. Una sobrecarga de elevada magnitud debe ser desconectada más rápidamente que una de menor magnitud.

3.4 Características de los Elementos de Protección

Las protecciones se caracterizan por ser **Primarias o Secundarias**. Es decir, si los dispositivos de protección se conectan directamente de la línea (dispositivos primarios) o a través de un elemento de medición como los transformadores de corriente y de potencial (dispositivos secundarios).

Muchas veces algunos autores caracterizan a las protecciones como **principales o auxiliares**. La protección que actuará contra los defectos más graves que ocurran en el elemento y que por tanto no actuarán contra los fallos externos a éste, son las llamadas principales. El resto son conocidas como protecciones auxiliares.

Se le llama protección a la unión de todos los elementos que participan en ella, desde el transformador de corriente hasta el interruptor que es el desconectivo. En este sentido se le denominan a las partes de una protección: **Dispositivos de Protección**. La acción de las protecciones nunca es instantánea, aunque se han logrado tiempos muy pequeños siempre hay un retraso entre la ocurrencia del fallo y la desconexión del mismo, en esto influyen los retardos de tiempo de cada uno de los dispositivos de protección.

En ocasiones los dispositivos de protección presentan una demora de tiempo que no tiene relación alguna con el valor o nivel del fenómeno transitorio (**Temporización Independiente**) y en otros casos sí (**Temporización dependiente**). Esta característica es tratada por algunos autores como dispositivos de **tiempo definido** y dispositivos de **tiempo inverso**

respectivamente, pero en los segundos el tiempo tiene relación inversa al nivel del parámetro que se mide.

La **localización de las protecciones** es variable, pero por lo general está situada en el lugar donde se enlaza el elemento con la alimentación. Algunas veces la protección se instala a ambos lados del elemento protegido pero esos casos son mínimos.

Algunas protecciones son compactas, es decir, no están divididas en partes. El mismo equipo mide las corrientes, compara y acciona o desconecta al elemento averiado, en este caso tenemos a los fusibles, interruptores automáticos, algunos relés térmicos, entre otros. En ocasiones estos dispositivos son diseñados de tal forma que se comportan siguiendo una única característica, es decir, no puede ser cambiada su característica de operación. Esta peculiaridad caracteriza a las Protecciones en **Ajustables o No Ajustables**. Las protecciones no ajustables únicamente hay que **seleccionarlas** adecuadamente.

Un aspecto importante es el proceso de **Calibración**, este concepto un poco antiguo y apareció con los elementos electromagnéticos y mixtos (electrónicos y electromagnéticos), y está relacionado con el mantenimiento del dispositivo. Cuando los dispositivos de protección llevan un tiempo de operación, hay que verificar si aún se está comportando correctamente, nótese que puede haber estado instalada y como no ocurrió ningún fallo, no ha actuado nunca. Para hacer estas verificaciones, el fabricante brinda algunos procedimientos y siguiendo adecuadamente estos procedimientos se podrá llevar al dispositivo a su estado inicial, es decir, a su funcionamiento óptimo.

Las protecciones son útiles, eso ya se vio en el análisis de su importancia, pero a la vez pueden causar problemas al sistema eléctrico de potencia. Una protección mal ajustada, calibrada o seleccionada puede desconectar parte del sistema eléctrico de forma errónea, sin que haya ocurrido ningún fallo y a esto se le denomina **Falsas Operaciones de las Protecciones**. Muchas veces, debido al temor de la ocurrencia de falsas operaciones muchos elementos dejan de ser protegidos contra un determinado tipo de defecto que no es muy frecuente en ellos.

3.5 Breve historia de las protecciones eléctricas

La historia de la electricidad es tan antigua como los años 600 AC donde el último de los sabios, Tales de Mileto, descubrió la atracción de algunos materiales o sustancias tales como el “ambar”, a partículas pequeñas de papel o lana. El desarrollo de esta ciencia fue bastante lento en comparación con otras hasta los finales del siglo XIX, donde se creó el primer Sistema Eléctrico de Potencia en 1878 por Tomas Alba Edison, quien generó y vendió energía eléctrica a la ciudad de New York en Estados Unidos de América con una compañía llamada General Electric, una de las líderes mundiales actuales en la producción, construcción y venta de dispositivos de protección.

Las protecciones eléctricas aparecen en esta época (finales del siglo XIX) por la necesidad de crear un sistema adyacente al S.E.P que permitiera mantener el balance y la continuidad del servicio de energía eléctrica, incluso cuando se presentaran averías inesperadas, que rápidamente mostraron su carácter inevitable. Por mucho que se mejore el aislamiento de los elementos del sistema eléctrico, se automaticen las operación, etc. la posibilidad de averías siempre estará presente.

El sistema creado por T. A. Edison, utilizaba generadores de corriente directa con acentuadas dificultades para suministrar energía eléctrica, en grandes cantidades y de forma viable, a consumidores alejados del punto de generación. Era necesaria la construcción de plantas generadoras de electricidad adicionales para cubrir toda la demanda, que en cada momento se hacia más creciente.

Nicola Tesla, quien primeramente trabajó en la compañía General Electric bajo la dirección de T. A. Edison, desarrolla más de 30 patentes separadas con las nuevas ideas de transmitir energía eléctrica utilizando la corriente alterna. Las ideas de Tesla fueron aceptadas por George Westinghouse y crearon una estación de 100 HP en 1891 que permitió transmitir la energía eléctrica mediante una línea de 4 km con unas pérdidas de menos de tres cuartos comparadas con el sistema de corriente directa utilizado por la General Electric.

En Abril de 1895 se crea la estación de potencia del Niágara, utilizando la energía hidráulica de las Cataratas del Niágara, la cual permitió la transmisión de la energía eléctrica al poblado de Buffalo, 22 millas alejadas de esta fuente de generación. El sistema de corriente alterna

podía cambiar de voltajes entre las diferentes partes del sistema y las pérdidas eléctricas en las líneas de transmisión eran mucho menores.

Este sistema eléctrico de corriente alterna permitió el desarrollo y la expansión de la energía eléctrica y el desarrollo social adjunto a la misma, pero la probabilidad de averías aumentó con la expansión y la complejidad del mismo. La utilización de la corriente alterna facilitó la interconexión de las plantas generadoras de energía eléctrica que funcionaban de forma aislada y por tanto, la complejidad de los S.E.P aumentó excepcionalmente, así como la necesidad para la creación de nuevos y más avanzados dispositivos de protección.

Los fusibles son los primeros dispositivos de protección utilizados en los S.E.P, es decir, son considerados los más antiguos y aún empleados dispositivos de protección contra sobrecorriente. Muchos otros dispositivos primarios se crearon por diferentes necesidades, tales como: los interruptores automáticos, recerradores, descargadores, entre otros. Cada uno con aplicaciones diferentes, pero con un mismo fin, desconectar la parte averiada del sistema de forma temporal o permanente (Conferencia 2).

Las necesidades de continuidad de servicio eléctrico aumentaban y los dispositivos creados no respondían a las exigencias del momento. Esa situación fuerza a la aparición en 1905 del “Relé de Protección” en su primera variante “Electro-mecánico”, el cual se conecta al secundario de transformadores de corriente y/o de tensión y envía una señal de desconexión a un interruptor de mayor potencia. Estos transformadores o transductores solo trabajan en sistemas con corrientes y tensiones alternas.

La IEEE C30, 90 define en inglés “Protective Relaying” que en español se puede traducir como “Relés de Protección” a un relé que su función es detectar líneas o aparatos defectuosos, o bajo otras condiciones de naturaleza anormal o peligrosas en los sistemas eléctricos de potencia, e iniciar una acción apropiada en los circuitos de control.

Estos Relés Electro-mecánicos iniciales y aún con amplia aplicación en la práctica nacional, consumen poca energía eléctrica para su funcionamiento, la cual extraen del mismo sistema eléctrico en operaciones, pero toleran muy bajas corrientes por sus contactos de salida. Por tanto, los relés desde su aparición conforman la parte “inteligente” del sistema de protecciones, el cual se dividió en *Dispositivos Primarios*, los cuales incluyen a los dispositivos que se conectan directamente a las líneas de potencia y *Dispositivos Secundarios*, que son

aquellos que se conectan a los secundarios de los transformadores de corriente o de tensión y los que conforman el circuito de control del interruptor de potencia.

Existe mucha información sobre el funcionamiento de los relés de sobrecorriente del tipo inducción y los del tipo electromecánico. Todos los trabajos encontrados hasta la década del 70 se dedican: al diseño y construcción de unidades de temporización, así como a analizar las características constructivas generales de los relés de sobrecorriente electromecánicos.

Con tecnología electromecánica se desarrollaron todas las variantes de relés convencionales conocidas (1905 hasta 1960). Los primeros relés de potencias y tensión fueron introducidos alrededor de 1924. Un relé direccional con aplicación para los fallos a tierra fue introducido también en este mismo tiempo. Una primera variante de relé de balance que dio pie al desarrollo posterior de relés diferenciales, fue introducida en 1925. El relé de distancia, uno de los más complejos, fue introducido un poco más tarde en 1950. Estos relés aún se encuentran en operación en muchos S.E.P, fundamentalmente en países subdesarrollados.

Para la construcción de relés con características complejas (relés direccionales y de distancia) se ha utilizado hasta estos días una teoría arrastrada desde las primeras variantes electromecánicas. Ellos son conocidos como relés que comparan la magnitud o la fase de alguna combinación de las señales de entrada. De forma general, aunque es cierto que esta teoría resolvió el problema de la construcción de diferentes tipos de relés complejos utilizando para ello un mismo circuito magnético, también incorpora coeficientes y conceptos adicionales para realizar el ajuste práctico de dichos relés, bastante alejados y no relacionados directamente con los ajustes teóricos de los mismos. Este aspecto ha provocado un cierto divorcio entre los especialistas dedicados a las materias de las protecciones eléctricas, producto a la complejidad en los ajustes prácticos que en ocasiones presentan algunos relés, los cuales son fácilmente ajustados desde el punto de vista teórico.

En todo este tiempo, desde inicios del siglo XX, se desarrolla la ciencia de las protecciones eléctricas, encargada de estudiar el comportamiento de estos dispositivos de protección, no solo los relés, sino todos los que conforman un Sistema de Protección para S.E.P. Masson en 1945, consideraba a las protecciones eléctricas como un arte y ciencia a la vez, dada la complejidad y la cantidad de componente subjetivos encerrados en la selección adecuada de los dispositivos y los criterios de ajustes específicos para cada uno de ellos.

En 1960 se desarrollaron los primeros relés electrónicos que utilizaban la electrónica analógica, por lo cual se conocen como “Relés Electrónicos”. Los avances de la electrónica de mediados del siglo XX desarrollaron la tecnología de los relés, comenzando por relés mixtos que utilizaban componentes electromagnéticos y electrónicos, hasta relés que funcionaban completamente con dispositivos electrónicos que se conocen como “Relés Estáticos”. Estos comenzaron a ser introducidos en 1969. Ya en 1970 se crea el primer relé de distancia estático para líneas, con características cuadrilaterales.

Este desarrollo en la electrónica adquiere su máxima expresión en la electrónica digital y el microprocesador. Primeramente se desarrollaron relés que utilizaban componentes digitales aislados denominados “Relés Digitales” y luego aparecieron los “Relés basados en Microprocesadores” materializados en 1980. Las ventajas de los relés digitales son muchas: menor consumo, velocidad de operación, exactitud en la medición, flexibilidad en el ajuste, entre otras.

Sobre esta misma fecha (1985), se fabrica el primer simulador de potencia utilizando componentes electrónicos. Esos son conocidos como simuladores electrónicos que muestran mayores velocidades de simulación comparados con los digitales de hoy día que utilizan las computadoras. Estos simuladores poseían unos amplificadores de potencia para alimentar los relés y otros dispositivos que se deseaban verificar.

Los relés basados en microprocesadores como ventaja a los digitales, además de poseer las anteriores características, permiten almacenar eventos, se comunican con otros dispositivos de protección y permitirán la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA) en la detección de averías, tales como: la Lógica Difusa y las Redes Neuronales Artificiales (RNA) que están demostrando, desde el punto de vista teórico, mejores comportamientos en cuanto a la velocidad de operación, la sensibilidad y la selectividad necesaria para diferentes casos.

Aunque en la actualidad no se encuentran implementados, a escala industrial, relés que solo basen su funcionamiento en las IA, se conoce que los relés digitales modernos han comenzado a utilizar estas técnicas, por ejemplo: en la detección de la saturación de los transformadores de corrientes para evitar la incorrecta operación de las protecciones diferenciales.

Estos relés basados en microprocesadores han invadido el mercado actual y muchas son las compañías que se destacan en la fabricación de los mismos tales como: GE Power Management (Multilin SR y UR), Schneider (SEPAN), ABB, Telemecanique, Siemens, entre otras.

A partir de 1994 se generaliza la aplicación de los microprocesadores en los relés de protección, creándose dispositivos que no solo hacen la función de protección conocida, sino incluso otras funciones de control requeridas. En 1994 se introduce un nuevo concepto de protección diferencial que utiliza la comunicación digital entre dispositivos, reemplazando los cables pilotos que existían hasta el momento. En 1996 se introduce un relé de distancia de línea de alta velocidad. Alrededor de 1998 comienzan a aparecer en el mercado de los dispositivos multifunción, es decir, dispositivos que incluyen muchas funciones de protección y control, que pueden ser empleados en diferentes elementos del sistema.

A partir del 2000, se introducen las soluciones totalmente automatizadas para subestaciones. Esta tecnología permite que una subestación eléctrica trabaje con todos sus dispositivos de forma aislada o incluso atendida de forma externa mediante la comunicación por computadoras. Los SCADA están incluidos en estos paquetes.

Los postulados de inicio de esta ciencia se mantienen y se han incorporados otros que aparecieron con el desarrollo de la tecnología. Los relés a microprocesadores han incorporado nuevos métodos y algoritmos de protección, pero los postulados básicos son las bases para la comprensión de todo lo que hasta el momento está en funcionamiento (dispositivos convencionales). Los relés que basan su funcionamiento en las técnicas de IA (dispositivos inteligentes) están amenazando con cambiar estas invariantes. Los dispositivos basados en Inteligencia Artificial tendrían la capacidad de aprender.

3.6 Conclusiones

Muchos autores consideran que las protecciones eléctricas más que una Ciencia es un Arte, pero nuestra tarea fundamental, es tratar de convertir en ciencia lo que de arte le queda. Esta condición artística le fue impuesta en el siglo pasado porque existían muchos criterios diferentes que aún no tenían el basamento científico necesario y por tanto quedaban en el campo de lo artístico, lo cualitativo, lo abstracto. Hoy día es considerada una de las ciencias

más integrales dentro de los estudios de los sistemas eléctricos y muchos autores aún consideran que tiene partes de arte por lo que cada cual influye en dependencia de su cultura.

Como los fallos tienen naturaleza aleatoria, el trabajo del especialista en protecciones es muy difícil. En primer lugar una protección puede haber estado mal seleccionada o ajustada durante todo el tiempo, pero es que han pasado 20 años o más y nunca ha operado, ni mal ni bien. Estos son los momentos más difíciles y se necesita de mucho conocimiento de los regímenes de operación de los sistemas eléctricos de potencia para demostrar una hipótesis.

En segundo lugar, el dominio de los Sistemas Eléctricos de Potencia tanto en regímenes estables como durante fenómenos transitorios, el funcionamiento de cada elemento del sistema (máquinas, líneas, generadores, transformadores, entre otros) exigirá al especialista en protecciones eléctricas de un dominio integral de casi toda las disciplinas de la carrera de ingeniería eléctrica, nótese que los dispositivos y elementos de protección pueden ser electrónicos, digitales, o basados en microprocesadores y por tanto para su reparación o calibración es necesario el dominio de estas ciencias de electrónica.

Las Protecciones Eléctricas están muy unidas a los Accionamientos Eléctricos, aún se le exige a las protecciones eléctricas que deben garantizar la alimentación de los consumidores por otra vía, cuando la vía normal de alimentación está dañada. Esto es conocido como la Conexión Automática de Reserva (**CAR**) en la literatura soviética o como **TRANSFER** en la literatura americana, pero en realidad es una tarea propiamente del accionamiento eléctrico.

Durante este curso no se tratarán todos los aspectos relacionados con las protecciones eléctricas, sino que se podrá adquirir el material teórico mínimo necesario para comprender las protecciones eléctricas, las más utilizadas en los Sistemas Eléctricos de Potencia de nuestro país y se ofrecerá la metodología que permitirá el dominio de otros métodos de protección que se encontrarán luego cuando ya sean profesionales.

Estudio Independiente

Lo tratado hasta aquí se puede localizar en los primeros capítulos de casi todos los libros que ofrecimos como bibliografía. Se debe profundizar en los siguientes aspectos que son conocidos de asignaturas anteriores:

- Los tipos de cortocircuitos, cómo calcularlos y sus consecuencias.

- Las sobretensiones, cómo calcularlas y sus consecuencias.
- Procesos transitorios permisibles en las máquinas y redes, como calcularlas y sus consecuencias.
- Los Transformadores de Corriente y Potencial, como funcionan.

Preguntas de control

1. ¿Realmente son importantes y esenciales las protecciones eléctricas en los sistemas eléctricos de potencia? Fundamente.
2. ¿Existe en esta ciencia alguna metodología general para su estudio? ¿cuál es?
3. ¿Cuáles son las propiedades fundamentales de las protecciones? Fundaméntalas en orden jerárquico.
4. ¿Cuales son las características o términos fundamentales empleados en las protecciones? Explíquelas.
5. ¿Qué relación posee esta ciencia con las restantes ciencias estudiadas dentro del curriculum de la carrera de ingeniería eléctrica? Fundamente.
6. ¿Tendrá calidad un sistema eléctrico que se detenga total o parcialmente en presencia de una avería en cualquiera de sus elementos?

Lógica para el aprendizaje de las protecciones eléctricas

