

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Nombre de la empresa:

C.H. Manuel Moreno Torres

Nombre del proyecto:

Protección a equipos primarios aplicando tecnología digital

Alumno:

Pérez Guillén Roxana Montserrat

No. de control:

07270386

Especialidad:

Ingeniería eléctrica

Asesor externo:

Ing. Francisco de Jesús Zapata Navarro

Asesor interno:

Ing. Jorge Díaz Hernández

Agosto-Diciembre de 2011.

Contenido

Introducción	4
Justificación	5
Objetivo	6
Capítulo I: Conocimiento de la empresa	7
Comisión Federal de Electricidad	7
Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres	8
Capítulo II: Problemas a resolver	12
Alcances y Limitaciones	13
Alcances	13
Limitaciones	13
Capítulo III: Fundamento teórico	13
¿Qué es un relé de protección?	13
Relevadores de protección	15
Relevadores de regulación	16
Relevadores de Recierre, verificación de sincronismo y sincronización	16
Relevadores de monitoreo	16
Relevadores auxiliares	16
Otras clasificaciones de relevadores	17
Aplicación de relevadores de protección	17
Las características de la protección	18
Tipos de protecciones	18
Tecnología Analógica	22
Relevadores directos	22
Sistema de protección indirecta	23
Relevadores digitales	27
Ventajas de las protecciones digitales	29
Protección de generadores	30
Estudio de cortocircuito	40
Fuentes de corriente	41
Asimetría de los ejes de la corriente de falla	42
Diagrama unifilar y de impedancias	43
Corto circuito con alimentación múltiple a través de circuitos parcialmente comunes	44
Cantidades en “por unidad”	46
Selección y cambio de bases	48
Valores de la corriente de cortocircuito	49
Capítulo IV: Desarrollo	52
Propuesta para la implementación de relevadores digitales	52
Características generales del relevador digital multifunción	52
Aumento de la vida útil de los generadores	52
Falta de calibración y reducción de mantenimiento	53
Funcionalidad seleccionable por el usuario	53
Capacidad de autodiagnóstico	54

Capacidad de comunicaciones	55
Monitoreo oscilográfico	56
Mejora en la sensibilidad de las protecciones.....	56
Características de los relevadores digitales multifunción propuestos	57
Características del relevador Beckwithelectric M3420.....	57
Características del relevador Schweitzer Engineering Laboratories SEL 300G	58
Análisis económico de la implementación del relevador digital multifunción	59
Equipo necesario para la operación, monitoreo y control del relevador digital ..	61
Sistemas de protección complementarios	62
SEL-351A Protección Sobrecorriente S.A.....	62
SEL-387 Protección Diferencial de Grupo	63
SEL-551 Protección al neutro del Generador	64
Comunicación de las protecciones con la Interfaz Hombre-Máquina en Sala de Control.....	65
SEL-2032.....	65
Cálculo para la selección de TC's y TP's para las protecciones del generador.....	67
Cálculo de corto circuito	68
Condiciones y disparos para el correcto funcionamiento de las protecciones ...	71
Conclusiones y Recomendaciones	75
Conclusiones	75
Recomendaciones	75
Anexos	76
Bibliografía	81

Introducción

El recurso hidráulico en el estado de Chiapas es muy importante para la generación de energía eléctrica, a lo largo de la cuenca del río Grijalva se localizan 4 Centrales Hidroeléctricas dentro de estas se encuentra la C.H. Manuel Moreno Torres, siendo esta la que cuenta con mayor generación eléctrica en su tipo.

Este proyecto es acerca de los equipos primarios de la central y el análisis de costos y opciones de las protecciones digitales. La C.H. Manuel Moreno Torres cuenta con una capacidad instalada de 2400 MW.

En la actualidad, el sistema de protecciones de las unidades generadoras de la C.H.M.M.T., se ha quedado rezagado, lo que en la actualidad lo vuelve un sistema de protecciones obsoleto, que podría enfrentar muchas dificultades para poder desempeñar sus funciones en forma eficiente para las condiciones actuales.

La falta de un programa de constante actualización de los equipos instalados, ha dado lugar a que éstos se vayan deteriorando gradualmente y que en cierto momento fallen y causen pérdida de tiempo, gastos elevados e interrupciones innecesarias que tienen repercusión directa en la suspensión del servicio de generación de energía eléctrica a los usuarios.

Únicamente pueden conseguirse los máximos beneficios de un sistema de protecciones, mediante una actualización de los mismos, con el fin de aumentar el tiempo de vida útil de las unidades generadoras.

Justificación

Si se observan los sistemas de energía eléctrica desde la generación, pasando por la transformación, transporte, interconexión, distribución y consumo resulta claro que el gran aumento de la potencia de las centrales eléctricas y de las subestaciones, la necesidad de interconectar sistemas en paralelo y la gran extensión de las líneas de transporte de energía eléctrica han multiplicado las causas y agravado las repercusiones de los defectos en las redes. Este hecho ha motivado que se desarrollen y mejoren los sistemas de protección. Tampoco deben olvidarse la repercusiones de tipo económico que ocasionan los defectos y su influencia sobre la fiabilidad y calidad del suministro eléctrico.

Por tanto, un sistema de potencia eléctrica ha de ser diseñado, explotado y mantenido para que pueda suministrar la cantidad de energía necesaria en cada punto de consumo, sin interrupción y a un precio razonable.

Analizando la estructura de los sistemas eléctricos de potencia nos encontramos con una estructura constituida por los siguientes elementos básicos: generadores, transformadores, autotransformadores, líneas, buses, reactancias, compensadores síncronos y baterías de condensadores.

Entre las causas que pueden perturbar el funcionamiento de los equipos eléctricos, cabe destacar; descargas atmosféricas, influencias climatológicas, perforaciones de los aislantes, maniobras falsas y exceso de carga.

Estas perturbaciones pueden ser: Cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones, oscilaciones y desequilibrios, por lo cual es muy importante diseñar un sistema de protecciones que ayude a reducir los daños que cualquiera de estas perturbaciones puedan provocar en los equipos eléctricos.



Objetivo

Efectuar adecuadamente la selectividad y coordinación de las protecciones para proveer eficiente y confiablemente la protección de los equipos primarios, con la finalidad de minimizar daños.

Capítulo I: Conocimiento de la empresa

Comisión Federal de Electricidad

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 35.2 millones de clientes al mes de septiembre, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos.

La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 209 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 52,515 megawatts (MW). El 22.67% de la capacidad instalada corresponde a 22 centrales construidas con capital privado por los Productores Independientes de Energía (PIE).

En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoelectrica.

Para conducir la electricidad desde las centrales de generación hasta el domicilio de cada uno de sus clientes, la CFE tiene más de 755 mil kilómetros de líneas de transmisión y de distribución. Al cierre de 2010, el suministro de energía eléctrica llegó a más de 190 mil localidades (190,732 rurales y 3,667 urbanas) y el 97.60% de la población utiliza la electricidad.

En los últimos diez años se han instalado 42 mil módulos solares en pequeñas comunidades muy alejadas de los grandes centros de población. Esta

será la tecnología de mayor aplicación en el futuro para aquellas comunidades que aún no cuentan con electricidad.

En cuanto al volumen de ventas totales, 99% lo constituyen las ventas directas al público y el 1% restante se exporta.

Si bien el sector doméstico agrupa 88.40% de los clientes, sus ventas representan 27.55% del total de ventas al público. Una situación inversa ocurre en el sector industrial, donde menos de 1% de los clientes representa más de la mitad de las ventas.

La CFE es también la entidad del gobierno federal encargada de la planeación del sistema eléctrico nacional, la cual es plasmada en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), que describe la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda en los próximos diez años, y se actualiza anualmente.

El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo. CFE es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres

La Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres, es el segundo aprovechamiento en cascada de cuatro centrales existentes a lo largo del cauce del Río Grijalva, aprovecha los 190 m. de desnivel de los 219 que existen entre la descarga de la presa C.H. Belisario Domínguez y el nivel de desfogue de esta central.

La cuenca propia de la Central cubre una superficie aproximada de 1 635 km², ubicada al norte de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; que corresponde a la provincia fisiográfica denominada Altas Mesetas. La boquilla se encuentra a dos kilómetros, aguas arriba del poblado Chicoasén, nombre que le da origen a la Central.

El acceso a la obra, se realiza a través de un camino totalmente pavimentado con una longitud de 42 km., el cual parte del lado poniente de la Cd. Tuxtla Gutiérrez.

La central cuenta actualmente con 8 unidades, con una capacidad de generación de 300 MW., cada una, haciendo un total de 2400 MW., instalados. Tiene una caída aproximada de 185 m., con una descarga de 186.7 m³/seg.

La Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres “Chicoasen” localizada en la margen derecha consta de las siguientes obras civiles:

▲ Vertedores:

Son la seguridad de la Central, ya que en caso de una avenida extraordinariamente intensa podrá desviar el agua, descargándola en el río aguas abajo por tres túneles, evitando así, que el nivel del vaso suba a valores peligrosos, que pueden provocar daños peligrosos en la cortina e inundaciones en Casa de Máquinas y en la región.

Los 3 túneles de descarga son de 15 m. y 1 300 m. de longitud, con una capacidad de desfogue de 5 000 m³/seg.

▲ Obra de toma

La obra de toma comprende 8 compuertas accionadas cada una por un servomotor oleodinámico a pistón. Las casetas de control se localizan sobre la margen derecha.



▲ Tubería de presión

Después de que el agua ha pasado por la obra de toma, se une a la tubería de presión de cada unidad,

▲ Pozos de oscilación

Diseñados para evitar el golpe de ariete en la turbina, estos se encuentran inmediatamente después de la tubería de succión de las unidades.

▲ Casa de máquinas

De tipo subterráneo, esta se construyó en el interior de la roca montañosa de la margen derecha y su acceso es a través de un túnel. Su construcción se

efectuó en dos etapas alojando en la primera de ellas a las unidades 1, 2, 3, 4, 5 y en la segunda las unidades 6, 7, 8.

Elevaciones de los diferentes pisos y obras de Casa de Máquinas	
228.38 m.s.n.m	Bóveda.
211.00 m.s.n.m	Piso Playa Montaje.
206.30 m.s.n.m	Piso de Barras.
202.70 m.s.n.m	Piso de Turbinas.
199.60 m.s.n.m	Galería de Cables.
199.00 m.s.n.m	Eje del distribuidor.
192.50 m.s.n.m	Galería de inspección.
184.25 m.s.n.m	Galería de drenaje.

▲ Sistema de ventilación de Casa de Máquinas

Por tratarse de una Casa de Máquinas subterránea, es necesario regenerar el aire de dicha obra, el aire inyectado es tomado del medio ambiente y empujado por medio de unos inyectores ubicados en las plataformas alta y baja hacia la Casa de Máquinas a través de lumbreras de ventilación.



Capítulo II: Problemas a resolver

Las protecciones electromecánicas, actualmente instaladas en la C.H.M.M.T. son funcionales, pero no 100% confiables, la necesidad de proteger a los equipos primarios es primordial para la prevención de daños generados en primera instancia por cortocircuitos.

Las protecciones analógicas además de necesitar un mantenimiento constante (ya que se necesitan hacer ajustes manuales y limpiar periódicamente los equipos) con la finalidad de que estos operen correctamente, aun así no se tiene la certeza de su correcta ejecución al momento de presentarse una falla.

Estos equipos de protección también se ven afectados por la carga o burden en el secundario de un transformador de instrumento, ya que estos operan con ajustes manuales de corrientes y voltajes que se pueden ver afectados por el burden, que se puede expresar en forma de la impedancia total de la carga, esta resistencia sobre el circuito secundario de un transformador de instrumento afecta la precisión del dispositivo; pudiendo provocar una operación en falso del elemento de protección en el mejor de los casos, el problema se presenta principalmente cuando genera que el relevador no actúe en su momento y llegue a provocar grandes daños al equipo primario.

De acuerdo con esto, se deben conocer las cargas o burdens de los conductores (cables de control) de de los instrumentos de medición, para minimizar en lo posible una falla en el sistema de protección.

Alcances y Limitaciones

Alcances

Se realizó un análisis de las protecciones instaladas, se probaron transformadores de instrumento y se consideraron las necesidades a cubrir con los nuevos relés. Se verificaron ajustes y se hicieron pruebas para verificar el correcto funcionamiento de las mediciones.

Limitaciones

- Poca información fue proporcionada por la empresa.
- Retraso para inicial el proyecto.

Capítulo III: Fundamento teórico

¿Qué es un relé de protección?

Es un componente de un sistema de potencia, cuya principal función es minimizar el daño a equipos e interrupciones al servicio cuando una falla se presenta.

En el diseño moderno de los sistemas de potencia se utilizan dos recursos principales que son, incorporar características de diseño para la prevención de fallas y incluir provisiones que mitiguen los efectos de una falla cuando esta ocurra.

El principal tipo de falla eléctrica que causa una gran preocupación es el Corto Circuito, pero existen otras condiciones anormales de operación en ciertos elementos del sistema que también requieren atención. Algunas características de diseño y operación para prevenir fallas eléctricas son:

- La provisión de un adecuado aislamiento.
- Coordinación de la resistencia de aislamiento con las capacidades de los

- pararrayos, el uso de cables de tierra de una baja resistencia.
- Diseño para una resistencia mecánica para reducir la exposición y reducir al mínimo la probabilidad de fracaso provocada por animales, aves, insectos, polvo, granizo, etc.
 - Correcto funcionamiento y conservación.

Algunas de las características de diseño y operación que mitigan los efectos de falla son:

- Características que mitigan los efectos inmediatos de una falla eléctrica:
 - Diseñar al límite la magnitud de la corriente de Corto Circuito.
 - ✓ Evitando concentraciones grandes de capacidad generativa.
 - ✓ Usando limitadores de corriente de impedancia.
 - Diseñado para resistir tensiones mecánicas y calentamiento por corrientes de cortocircuito.
 - Bajo voltaje con retraso, dispositivos en cortacircuitos para prevenir cargas que se caen durante pendientes momentáneas de voltaje.
 - Neutralizadores de falla a tierra (bobinas Petersen).
- Características para desconexión pronta de un elemento fallado:
 - Relés de protección.
 - Circuitos interruptores con suficiente capacidad interruptora.
 - Fusibles.
- Características que mitigan la pérdida de un elemento fallado:
 - Circuitos alternos.
 - Reserva de la capacidad del transformador y el generador.
 - Recierre automático.
- Características que operan a lo largo del periodo del inicio de la falla hacia el final de su retiro, para mantener el voltaje y la estabilidad.
 - Regulación automática de voltaje.
 - Características de estabilidad de los generadores.
- Medios para observar los optativos de los puntos anteriores:
 - Oscilógrafos automáticos.
 - Eficiente observación humana y obtención de datos.
- Revisiones frecuentes a medida que cambia el sistema o se incorporan nuevos elementos, para asegurarse de que las características anteriores son aún adecuadas.

Cuando decimos que un relé “protege”, nos referimos que junto con otros equipos, los relés ayudan a minimizar los daños y mejorar el servicio.

La función de un relé de protección es causar la pronta desconexión de cualquier elemento del sistema de potencia cuando este sufre un corto circuito, o cuando empieza a operar de forma incorrecta que pueda causar daño o interferir con la operación efectiva del resto del sistema. El equipo de protección está añadido a un circuito de interruptores que son capaces de desconectar el elemento fallado cuando son llamados a hacerlo por el equipo de relés.

Una función secundaria del equipo de protección es proveer indicaciones de la localización y tipo de falla. Así como no únicamente asistir en la rápida reparación si no también la comparación con la observación humana y los

registros de los oscilógrafos automáticos, los cuales proporcionan datos para un análisis efectivo de la prevención de fallas y su mitigación incluidas en el mismo relé de protección

Los relevadores de protección pueden ser clasificados de diferentes maneras, tal como por función, por parámetros de entrada, características de operación o principio de operación. La clasificación por función es la más común. Existen cinco tipos de funciones básicas:

Clasificación por Función:

Relevadores de protección

Los relevadores de protección y sistemas asociados (fusibles) son los que operan sobre una condición intolerable del sistema de potencia, objeto de este tema. Ellos son aplicados en *todas* las partes del sistema de potencia, generadores, buses, transformadores, líneas de transmisión, líneas de distribución y alimentadores, motores, bancos de capacitores y reactores.

La mayor parte de los relevadores de protección discutidos son dispositivos separados, que son conectados al sistema de potencia a través de transformadores de corriente y potencial para reducir del sistema de alto voltaje (400 kV) a niveles seguros de servicio (120 v). Y como ya se ha mencionado, estos deben detectar todo tipo de fallas en cualquier parte o componente del sistema de potencia e iniciar o permitir la rápida desconexión de la parte que falla del mismo.

Relevadores de regulación

Los relevadores de regulación son asociados con cambiadores de taps en transformadores y sobre gobernadores de equipo de generación para el control de niveles de voltaje con cargas variables.

Los relevadores de regulación son usados durante la operación normal del sistema y no responden a fallas del sistema a menos que éstas permanezcan mucho tiempo en el sistema.

Relevadores de Recierre, verificación de sincronismo y sincronización

Los relevadores de recierre, verificación de sincronismo y sincronización. Los relevadores de este tipo son usados en la energización o restablecimiento de líneas en servicio después de una salida de servicio y en la interconexión de partes del sistema pre energizadas como ejemplo la sincronización de una unidad generadora a un sistema interconectado.

Relevadores de monitoreo

Los relevadores de monitoreo son usados para verificar condiciones en el sistema de potencia o en el sistema de protección y control. Ejemplos en el sistema de potencia son detectores de falla, verificadores de voltaje o unidades direccionales las cuales confirman las condiciones del sistema de potencia pero que detectan la falla o problema directamente. En un sistema de protección ellos son usados para monitorear la continuidad de los circuitos, tal como hilos piloto y circuitos de disparo. En general, unidades de alarma que sirven para monitorear funciones.

Relevadores auxiliares

Las unidades auxiliares son usadas a lo largo de un sistema de protección para una variedad de propósitos. Generalmente hay dos categorías:

- Multiplicación de contactos y aislamientos de circuitos.

En sistemas de protección y control hay frecuentemente requerimientos de: (1) más salidas para disparo múltiples, alarmas y operación de otros equipos, tal como registradores, señalizaciones locales/remotas, bloqueos y así sucesivamente, (2) contactos que se ocuparán de corrientes más altas o voltajes en los circuitos secundarios y (3) aislamiento eléctrico y magnético de varios circuitos secundarios.

Los relevadores de señalización-sello (banderita) en relevadores electromecánicos es una aplicación de los relevadores auxiliares. Los relevadores de cierre y disparo usados con interruptores de circuitos son relevadores auxiliares.

Otras clasificaciones de relevadores

Los relevadores de protección clasificados por sus parámetros de entrada son conocidos como: relevadores de corriente, voltaje, potencia, frecuencia y temperatura. Aquellos clasificados por su principio de operación incluyen electromecánicos, estado sólido, digital, porcentaje diferencial y multirestricción. Aquellos clasificados por su característica de operación son conocidos como de distancia, reactancia, sobrecorriente direccional, tiempo inverso, fase, tierra, definido, alta velocidad, baja velocidad, comparación de fase, comparación direccional, sobrecorriente, bajo voltaje y sobre voltaje, por nombrar algunos.

Aplicación de relevadores de protección

Una vez que en el sistema se ha presentado una falla (cortocircuito), es necesario tomar acciones correctivas en forma inmediata para identificar y desconectar la parte que falla del sistema para evitar una desestabilización del mismo.

El tiempo de respuesta puede variar de 0 a 0.3 segundos para protecciones primarias o hasta 2 segundos tratándose de protecciones de respaldo. Los tiempos pueden variar dependiendo de lo siguiente:

- La gravedad de la contingencia
- Las condiciones del sistema
- El nivel del voltaje de operación

Las características de la protección

Es obvio que no es posible confiar estas acciones para que las realice el humano, por lo que es necesario ser realizadas por los equipos especialmente diseñados para este propósito y que conocemos como “Relevadores de Protección” (Centinelas Silenciosos), los cuales supervisan permanentemente las condiciones del Sistema Eléctrico de Potencia, y cuando detectan una falla, o una condición anormal, actúan de inmediato aislando la falla para que el resto del sistema no se vea afectado.

Para cada tipo de falla o condición anormal del sistema existen uno o varios relevadores específicos para detectarlos, y tomarán las acciones exactas para eliminar o corregir esta condición.

Las acciones que deberán ejecutar los relevadores de protección así como sus parámetros de operación deberán ser proporcionadas por un especialista que conozca del funcionamiento de estos equipos y además tenga conocimiento del comportamiento del sistema de potencia.

Tipos de protecciones

Protección primaria (PP1):

Es aquella que tiene la función de detectar y disparar en primera instancia, únicamente los interruptores que conectan al el elemento fallado con el resto del sistema.

Protección de respaldo (PR):

Local: Opera dentro de la zona de protección, luego de haber fallado la protección primaria (PP1). Remoto: Opera fuera de su zona de protección, pero con un tiempo mayor. Afecta más zonas de protección.

Protección redundante (PP2):

Tiene la misma función que la protección primaria (PP1), pero trabaja con otras señales de TC's y TP's. Le pega a la bobina de disparo 2 del interruptor.

Tiene una filosofía de operación distinta a la PP1.

Hay dos razones por la cual se deben instalar protecciones de respaldo en un sistema de potencia. La primera es para asegurar que en caso que la protección principal falle en despejar una falta, la protección de respaldo lo haga. La segunda es para proteger aquellas partes del sistema de potencia que la protección principal no protege, debido a la ubicación de sus transformadores de medida.

La necesidad de respaldo remoto, respaldo local o falla interruptor dependen de la consecuencia de esa falta para el sistema de potencia.

- Respaldo remoto: Las protecciones de respaldo remoto se ubican en las estaciones adyacentes o remotas.
- Respaldo local y falla interruptor: El respaldo local está ubicado en la misma estación.

El objetivo de las protecciones de respaldo es abrir todas las fuentes de alimentación a una falta no despejada en el sistema. Para realizar esto en forma eficiente las protecciones de respaldo deben:

- Reconocer la existencia de todas las faltas que ocurren dentro de su zona de protección.
- Detectar cualquier elemento en falla en la cadena de protecciones, incluyendo los interruptores.
- Iniciar el disparo de la mínima de cantidad de interruptores necesarios para eliminar la falla.
- Operar lo suficientemente rápido para mantener la estabilidad del sistema, prevenir que los equipos se dañen y mantener la continuidad del servicio.

Números de dispositivos y breve descripción de relevadores establecidos por la norma: IEEE C37.2-1979.

ANSI	DESCRIPCION
1	Elemento maestro
2	Relevador de arranque o cierre, con retardo
3	Relevador de comprobación o de bloqueo condicionado
4	Contactador maestro
5	Dispositivo de paro
6	Interruptor de arranque
7	Interruptor de ánodo
8	Interruptor del circuito de control
9	Dispositivo de inversor
10	Selector de secuencia de unidades
11	<i>Reservado para aplicación futura</i>
12	Dispositivo de sobre velocidad
13	Dispositivo de velocidad sincrónica
14	Dispositivo de baja velocidad
15	Dispositivo para comparar y conservar velocidad o frecuencia
16	<i>Reservado para aplicación futura</i>
17	Dispositivo de descarga
18	Dispositivo acelerador o desacelerador
19	Contacto o relevador de transición de arranque a marcha
20	Válvula operada eléctricamente
21	Relevador de distancia
22	Interruptor igualador
23	Dispositivo regulador de temperatura
24	Relevador Volts/Hertz
25	Dispositivo de sincronización o de verificación de sincronismo
26	Dispositivo térmico de aparatos
27	Relevador de bajo voltaje
28	Detector de flama
29	Contactador de desconexión
30	Relevador indicador o alarma visual
31	Dispositivo para excitación independiente
32	Relevador direccional de potencia, (potencia inversa)
33	Conmutador de posición
34	Dispositivo de secuencia accionado por motor
35	Dispositivo para operar escobillas o para poner en cortocircuito anillos colectores
36	Dispositivo de polaridad
37	Relevador de baja corriente o baja potencia
38	Dispositivo de protección de chumacera
39	<i>Reservado para aplicación futura</i>
40	Relevador del campo de excitación

41	Interruptor del campo de excitación
42	Interruptor de marcha normal
43	Dispositivo manual de transferencia o selector
44	Relevador de secuencia de arranque de una unidad
45	<i>Reservado para una aplicación futura</i>
46	Relevador de corriente para secuencia negativa o desequilibrio de fases
47	Relevador de voltaje de secuencia de fases
48	Relevador de secuencia incompleta
49	Relevador térmico de máquinas o transformadores
50	elevador instantáneo de sobrecorriente
51	Relevador de sobrecorriente alterna con retardo de tiempo
52	Interruptor de potencia de corriente alterna
53	Relevador excitador o de generador de corriente directa
54	Interruptor de alta velocidad para corriente directa
55	Relevador de factor de potencia
56	Relevador de aplicación de campo
57	Dispositivo para poner en cortocircuito o a tierra
58	Relevador de falla de encendido de rectificador
59	Relevador de sobrevoltaje
60	Relevador de equilibrio de voltajes
61	Relevador de equilibrio de corrientes
62	Relevador de paro o apertura, con retardo
63	Relevador de presión o flujo de líquidos o gases
64	Relevador para protección a tierra de un equipo
65	Regulador de velocidad
66	Dispositivo contador o espaciador de operaciones para ajuste de posición
67	Relevador direccional de sobrecorriente alterna
68	Relevador de bloqueo de disparo o recierre
69	Dispositivo de control permisivo
70	Reóstato accionado mecánicamente
71	Conmutador de nivel
72	Interruptor de corriente directa
73	Contactador de resistencia de carga
74	Relevador de alarma
75	Mecanismo de cambio de posición
76	Relevador de sobrecorriente de corriente directa
77	Transmisor de pulsos
78	Relevador que mide el ángulo de fase entre corrientes o entre voltajes
79	Relevador de recierre de corriente alterna
80	Conmutador de flujo
81	Relevador de frecuencia

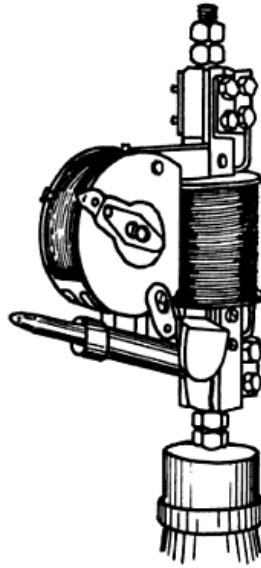
82	Relevador de recierre de corriente directa
83	Relevador automático de control selectivo o de transferencia
84	Mecanismo de operación
85	Relevador receptor de un sistema de ondas portadoras o de hilo piloto
86	Relevador de bloqueo sostenido de reposición manual
87	Relevador de protección diferencial
88	Motor o grupo motor –generador auxiliar-
89	Cuchillas operadas eléctricamente
90	Dispositivos de regulación
91	Relevador direccional de voltaje y de potencia
92	Relevador direccional de voltaje
93	Contactador cambiador de campo
94	Relevador de disparo libre
95-99	Se usará únicamente para aplicaciones específicas de instalaciones donde ninguno de los números asignados del 1 al 94 resulten adecuados

Tecnología Analógica

Relevadores directos

Los relevadores al igual que los fusibles, protegen contra cortocircuitos. Su funcionamiento consiste en una bobina en serie con la entrada del interruptor automático, y que por tanto, está recorrida por la intensidad controlada.

En el momento en que la intensidad aumenta, la fuerza del campo electromagnético generado en la bobina supera la de un muelle antagonista que tiene el aparato, en ese momento es cuando se genera la desconexión del interruptor automático o se desenchava un sistema de relojería que produce este disparo con un cierto retraso, según el modelo del relé que se trate.



Relé directo

Sistema de protección indirecta

Estos sistemas son aquellos en los que las magnitudes que hay que controlar (tensión, intensidad, temperatura, etc.) se transforman en valores normalizados antes de inyectarse al relé de protección.

En general, estos sistemas son más costosos que los indirectos al precisarse transductores y elementos de corte. Sin embargo con su aparición el concepto de protección alcanza su plenitud.

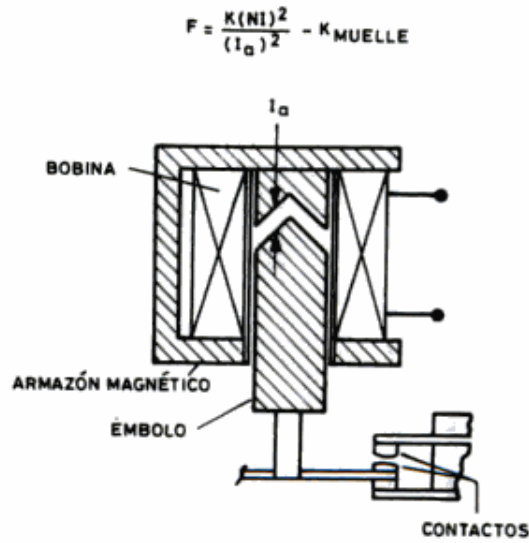
Los principales tipos son:

a) Sistemas electromagnéticos

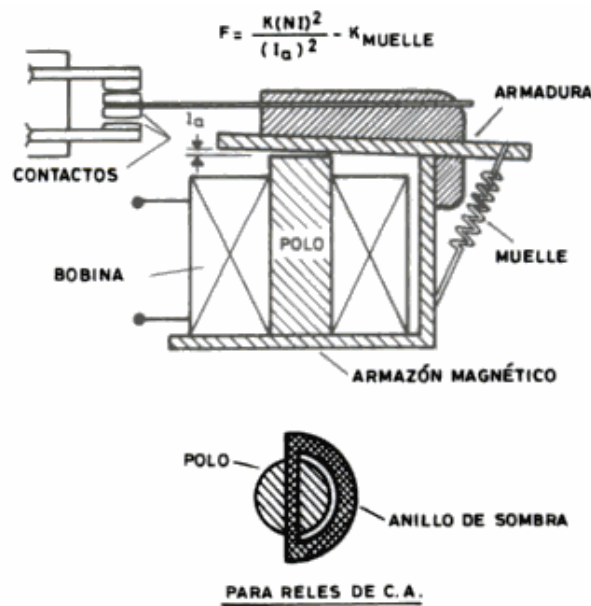
La información suministrada a los relés en forma de intensidad o tensión es transformada por estos en una fuerza capaz de cerrar unos contactos que establecen la continuidad en el circuito de disparo.

Según su construcción, los podemos clasificar en:

Embolo o armadura articulada: Al superar la fuerza del campo magnético de la bobina el esfuerzo antagonista de un resorte, la armadura se une al polo del electroimán, arrastrando un contacto móvil que lleva.

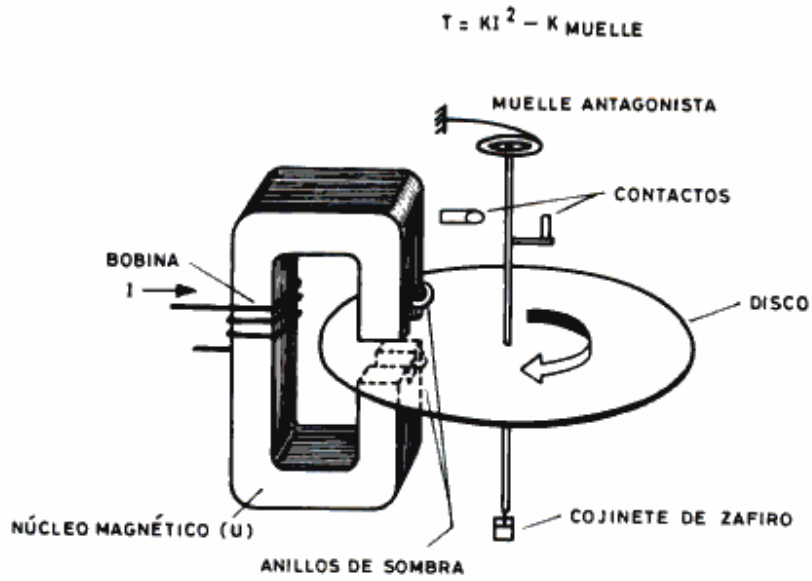


Relé de émbolo



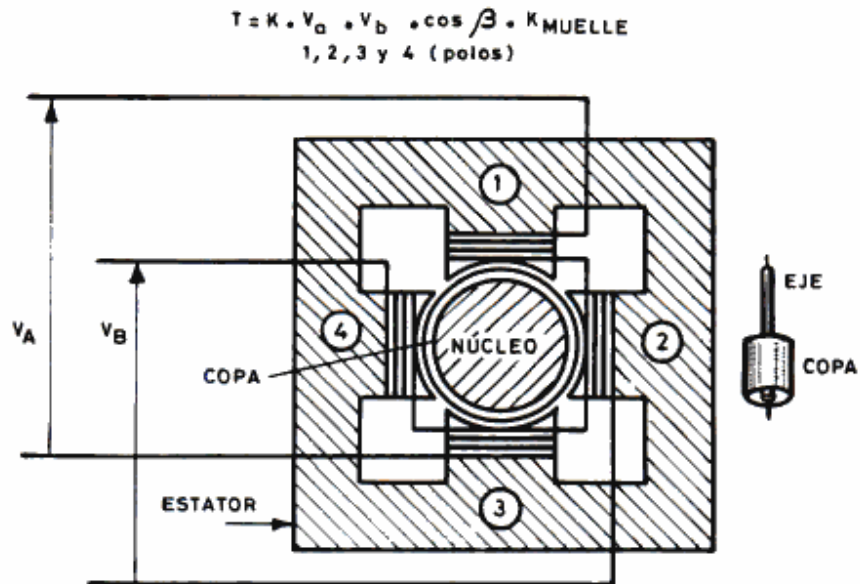
Relé de armadura articulada

Disco de inducción. El campo magnético generado en la bobina produce un par de giro en el disco, proporcional a la tensión o intensidad aplicada, obteniéndose, por tanto, un tiempo de actuación inversamente proporcional a la magnitud medida.



Relé de disco de inducción

Copa o cilindro de inducción. Al disponer el núcleo de varios polos, permite su utilización en aquellos relés de protección en los que sea necesario comparar más de una magnitud. El par de giro es proporcional al producto vectorial de las dos magnitudes utilizadas.

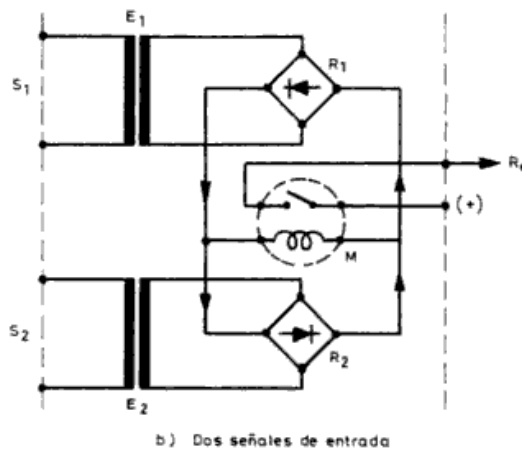
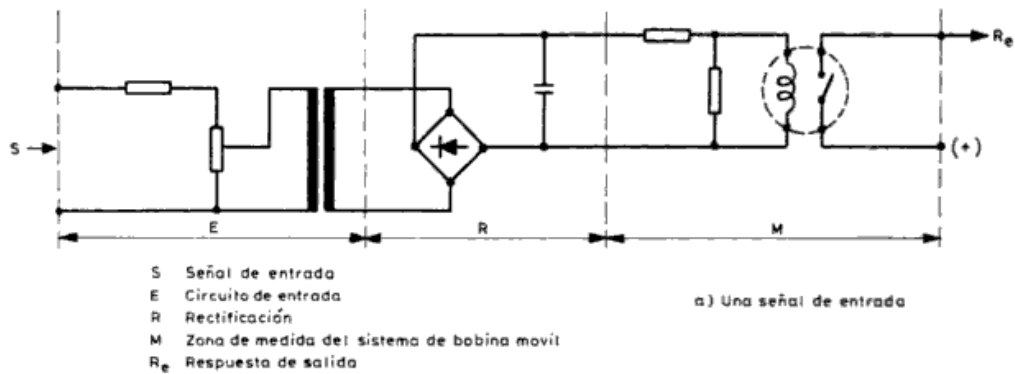


Relé de copa o cilindro e inducción

b) Sistemas de bobina móvil

Los equipos de bobina móvil ocupan una situación intermedia entre los equipos electromagnéticos y los electrónicos. Poseen algunos elementos electrónicos tales como diodos, resistencias y condensadores, pero a la medida se efectúa aún electromagnéticamente por medio de un dispositivo de medida polarizado de cuadro móvil.

Este sistema mide por integración los valores medios de la magnitud de entrada. La rapidez de este sistema es superior al electromagnético y su consumo y tamaño son inferiores.



Relé de bobina móvil

Relevadores digitales

Estos relevadores estáticos, emplean dos técnicas: la analógica y la digital.

Técnica analógica: En esta técnica analógica las magnitudes de entrada de sistema de potencia a los relés de medida, tales como tensión, corriente, ángulo de fase y potencia, son magnitudes analógicas. Estas magnitudes se comparan individualmente o en grupos con un nivel de referencia y el resultado es una decisión de tipo digital, es decir sí o no.

Básicamente los circuitos que emplean son:

Un convertidor ac/dc para la conversión de la magnitud de entrada de corriente alterna en una corriente continua y la consiguiente medida y comparación

Los detectores de nivel que comparan la magnitud analógica de entrada con un nivel de referencia y generan una orden de mando digital cuando el nivel ha sido excedido.

Los temporizadores que generan un retardo constante o proporcional a la señal analógica de entrada.

Los amplificadores operacionales se usan en un número básico de circuitos de relés como:

- Detectores de nivel
- Detectores de polaridad
- Integradores

Todas las señales de salida de los relés estáticos son digitales y las señales de entrada se convierten en digitales en varias etapas.

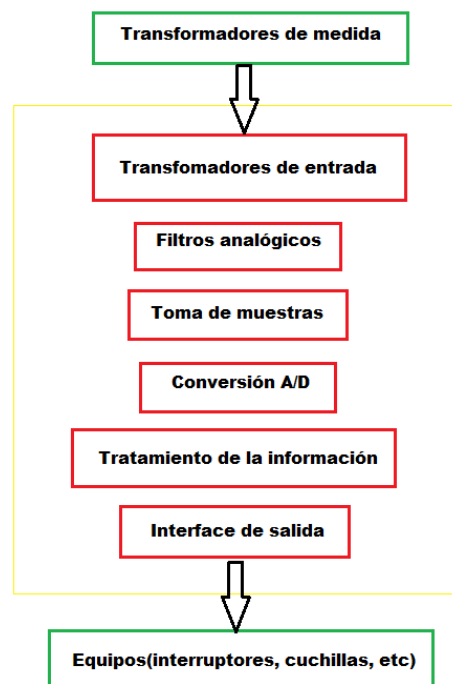
Las señales analógicas, tensión e intensidad de corriente, son convertidas a

señales digitales por medio de convertidores de tensión frecuencia o de convertidores A/D. La señal digital resultante puede ser procesada, bien con lógica discreta o con microprocesador.

Generalmente se utilizan microprocesadores para tareas más complejas que la lógica discreta. Sin embargo esta última es ideal para la realización en paralelo de múltiples tareas.

La principales ventajas que presentan las protecciones digitales son: la rapidez de respuesta, el bajo consumo, el menor volumen y mantenimiento limitado.

Como ventajas de los relés digitales se pueden citar: la facilidad de incorporar auto diagnóstico, mejora de las características (básicamente sólo problema de software y de transductores de medida), mejora de la flexibilidad, reducción del conexionado entre equipos, facilidad de comunicación con las protecciones y posibilidad de llevar protocolos de las incidencias en la red.



Esquema a bloque de una protección digital

Ventajas de las protecciones digitales

En condiciones de falla, las principales características que presentan estos relevadores son:

a) Rapidez: Operan con un tiempo significativamente menor en comparación con los relevadores electromecánicos, a pesar de que esta diferencia puede quedar relegada a segundo término debido a los tiempos de operación y características de los interruptores y del sistema.

b) Sensibilidad: Debido a los factores que afectan la corriente de corto circuito, lo cual dificulta la medición de impedancia al relevador; la sensibilidad a pesar de ser mayor en estos relés no ha permitido un avance con respecto a los otros.

c) Selectividad: Este punto es muy importante pues nos da seguridad para la operación y no operación del relé; además de que estos relevadores contemplan condiciones que no se tienen en los relevadores electromecánicos y se dispone de más elementos de comunicación para el ajuste de permisos de control de los interruptores.

d) Auto diagnóstico: una gran ventaja respecto a los relevadores electromecánicos debido a que es el propio relevador digital el cual nos diagnostica e informa cuando presenta un problema interno para, con oportunidad proceder a su solución y mantenerse en condiciones óptimas de operación,

e) Flexibilidad: Nos permite conectarlos a líneas de diferentes características y permite realizar modificaciones y ajustes de manera remota en caso necesario, debido a su teclado externo o sus puertos de comunicación para computadora personal. Estos relés no necesitan de ajustes en sus elementos internos y su

programación se basa en instrucciones por menús y ayudas en algunos casos.

f) Facilidad en análisis de falla y medición: Muchos relevadores presentan características de almacenamiento de datos en memoria propia, los cuales se pueden obtener en forma de reportes que facilitan el análisis de parámetros antes, durante y después de la falla. También tienen la capacidad de reportar valores de las señales de entrada que detecta y otros valores susceptibles de medición y señalización.

g) Ventajas económicas: Debido a su tamaño compacto, facilidad de alambrado, mayor cantidad de funciones, facilidad de integración con otros equipos y de

comunicación con otros dispositivos inteligentes, auto diagnóstico y mantenimiento mínimo; estos relevadores representan un ahorro considerable en comparación con los relevadores electromecánicos, así como una reducción en los costos de mantenimiento, trabajo y tiempo.

Protección de generadores

Los generadores representan el equipo más caro en un sistema eléctrico de potencia y se encuentran sometidos más que ningún otro equipo del sistema, a los mas diversos tipos de condiciones anormales.

Las razones que se exponen a favor de minimizar la cantidad de equipos de protección automática son:

- A razón de más equipo automático, mayor es el mantenimiento, y si el mantenimiento es defectuoso el equipo se torna menos confiable.
- El equipo automático puede actuar incorrectamente y desconectar el generador de forma innecesaria.
- En algunas ocasiones, el operador puede evitar que un generador salga

fuera de servicio en el caso de que su salida implique un trastorno significativo para el sistema eléctrico al que se encuentra conectado.

Casi la totalidad de las objeciones a los equipos de protección automática no apuntan a que el relé no opere cuando debiera hacerlo, sino que lo haga incorrectamente poniendo al generador fuera del servicio. No puede negarse la gravedad que puede significar para un sistema eléctrico la desconexión momentánea e innecesaria de un generador; pero tampoco puede evitarse ese daño mediante la falta de una protección necesaria.

En casi la totalidad de los países, la protección de los generadores frente a la posibilidad de daños significativos es más importante que la protección a la continuidad momentánea del servicio del sistema eléctrico al que están conectados. Una consideración a tener en cuenta al analizar las protecciones de

un generador y que no se manifiesta en los restantes equipos que conforman un sistema eléctrico, es el hecho que la apertura de su interruptor principal es condición necesaria, pero no suficiente para evitar la prolongación de ciertos daños.

Debido a las diferentes características de los generadores, estos deben tener esquemas de protección diferentes a los que normalmente se emplean para otros equipos del sistema eléctrico. Las fallas en un generador son invariablemente de carácter permanente y las reparaciones del mismo requieren un mayor tiempo e involucran gastos adicionales; así mismo los márgenes de operación en condiciones de sobrecarga en un generador son menores que en otros equipos eléctricos lo que requiere de una protección adicional o respaldo para evitar la operación en condiciones anormales debido a factores externos y finalmente como los generadores representan un elemento importante en un sistema eléctrico, los ajustes en su protección de respaldo deben seleccionarse con un gran cuidado para reducir los disparos incorrectos.

Es importante enfatizar la complejidad de los fenómenos que se presentan en una máquina síncrona lo cual dificulta la posibilidad de que una sola protección cubra todos los requerimientos de la máquina. Por esta razón existen diferentes funciones de protección necesarios para los generadores, todos ellos complementarios entre si y en algunos casos independientes

A continuación se describen las protecciones habitualmente más utilizadas para la protección del generador.

12 Protección de sobrevelocidad

La sobrevelocidad en las unidades se provoca cuando se pierde la carga súbitamente, pues mientras actúa el regulador de velocidad la unidad se acelera, si continúa acelerando puede llegar a dañar las partes rotativas por la fuerza centrífuga, por lo que es necesario prever esta condición.

Consiste en un mecanismo centrífugo que actúa sobre el microswitch en el que

puede ser ajustado a la velocidad indicada por el fabricante; en otros casos se conecta al P.M.G. Cuyo voltaje es proporcional a la velocidad, un relé de voltaje ajustado debidamente, el que hace las funciones del primeramente mencionado.

21G Protección de distancia del generador

Esta protección actúa como respaldo para fallas entre fases, cuando la protección de línea no opera correctamente, para el ajuste de la zona que se desea respaldar existen varios criterios, pero el que normalmente se utiliza es el de proteger hasta el 50% de la línea más corta. Este relé es de alcance monozónico y operación trifásica. Tiene dos pasos de operación, el primero actúa abriendo únicamente los interruptores y el segundo operando sobre el paro temporal. La característica de operación es de distancia tipo MHO pudiendo no tener OFFSET. Además en la actualidad se cuenta con este tipo de protección que a su vez se utiliza como registrador de fallas ya que es un relé microprocesado que procesa las señales de corriente y voltaje que recibe del campo.

32G Protección de potencia inversa

Detecta que el generador que el generador recibe potencia del sistema y dispara después de una demora de tiempo. El generador recibe potencia del sistema cuando su turbina ya no le entrega potencia y empieza a absorber la necesaria para mantener al generador en sincronismo, venciendo las pérdidas de generador.

La motorización del generador es un fenómeno tolerable por tiempo corto si no es a consecuencia de falla mecánica de motor o turbina. Si se mantiene por un tiempo excesivo causa calentamiento excesivo en partes de la turbina. En caso de falla la protección de potencia inversa tiene función de protección de respaldo a las protecciones de ese equipo que deben haber disparado al generador.

38B Protección alta temperatura metal chumacera

La alta temperatura en el metal de las chumaceras debe ser detectada oportunamente pues de no corregirse puede llegar a ocasionar que se dañe el metal antifricción con que está constituida el detector; consiste en un termoswitch ajustable o un termómetro cuya carátula tiene contactos de alarma y disparo los cuales se ajustan de acuerdo con los valores especificados por el fabricante.

38 Protección alta temperatura aceite chumaceras

Es un dispositivo similar al anterior sólo que vigila únicamente la temperatura del aceite.

40G Protección contra pérdida de campo

Su función es detectar excitación anormalmente baja y dar alarma o disparo antes de que la operación del generador se vuelva inestable. Las principales causas de baja excitación son:

- Regulador de voltaje desconectado y ajuste manual de excitación demasiado bajo.
- Falla en las escobillas.
- Apertura del interruptor de campo principal o del campo del excitador.
- Cortocircuito en el campo.

- Falta de alimentación al equipo de excitación

Para detectar baja excitación se emplean relevadores del tipo de distancia conectados a transformadores de corriente y potencial del generador para detectar si sus condiciones de excitación tienden a la inestabilidad. Esto se basa en que la localización de la impedancia vista por los relevadores de distancia indica con toda precisión las condiciones de excitación en las cuales opera el generador.

46 Protección de sobrecorriente de secuencia negativa

La protección 46 protege al generador contra toda clase de corrientes asimétricas que causan corrientes de doble frecuencia y calentamiento en el rotor. Estas corrientes asimétricas se pueden deber a:

- Fallas asimétricas en alta tensión.
- Una fase abierta en algún circuito conectado al generador
- Cargas desbalanceadas o monofásicas.

Estos relés contienen un filtro de secuencias que a partir de las corrientes de las tres fases obtiene un voltaje proporcional a su componente de secuencia negativa. Este voltaje es aplicado a la protección cuya característica de operación se asemeja a la curva de resistencia al calentamiento del rotor del generador.

47G Protección de bajo voltaje en el generador

El bajo voltaje es una alteración en el S.E.P que puede causar daños irreversibles al generador y por lo tanto reducir su vida útil. Esta condición se genera principalmente cuando se genera una sobrecarga en los circuitos, una combinación de bajo voltaje y desbalance de voltaje producirá un mayor sobrecalentamiento del que producen estas alteraciones por separado.

49G Protección contra temperatura alta en el estator

Esta protección detecta las condiciones de operación que causan calentamiento del generador, principalmente son:

1. Sobrecarga continua.

2. Sistema de enfriamiento dañado.
3. Sistema de enfriamiento mal ajustado.

La protección contra temperatura alta en el estator opera por medio de un medidor de temperatura, generalmente tipo puente de Wheatstone, que recibe su señal de un detector de resistencia intercalado en el embobinado del generador.

Ajustes de alarma; se recomienda ajustar el contacto de alarma a una temperatura del orden de 10 a 15°C.

Si se desea disparar la unidad por temperatura alta generalmente se utiliza un relevador por separado, operando con un detector de temperatura independiente ajustado 10°C arriba del valor de alarma.

El contacto de disparo debe conectarse para disparar únicamente al interruptor de la unidad "52G".

50/51 Protección sobrecorriente en Servicios Propios y Excitación

Esta protección respalda fallas entre fases y a tierra, tanto en el transformador como en el circuito de neutro del transformador de Servicios Propios. Actúa también sobre el relé auxiliar 86G con bloqueo, operando en la misma forma que en el caso anterior.

51/51N Protección de respaldo de transformadores de excitación

Esta protección respalda fallas entre fases y a tierra, tanto en el transformador como en el circuito de excitación. Actúa también sobre el relé auxiliar 86E con bloqueo, operando en la misma forma que en el caso anterior.

51V Respaldo de fase tipo sobrecorriente con centro o retención por voltaje

La protección de respaldo de fase de generadores principalmente detecta fallas entre fases y trifásicas exteriores a la unidad y dispara con demora en caso de que esas fallas no hayan sido libradas a tiempo por interruptores más próximos.

51NT Protección de respaldo de tierra

Es una protección para el transformador elevador, para librar fallas a tierra en el sistema de alta tensión en caso de que no se haya disparado a tiempo un interruptor más próximo a la falla.

Su operación se basa en utilizar la contribución a la corriente de falla que circula de tierra al neutro del embobinado de alta tensión del transformador elevador de la unidad.

59G Protección contra sobrevoltajes en el generador

Esta protección es la encargada de detectar fallas en el regulador automático de voltaje y el exceso de potencia reactiva recibida del sistema, o sea, excitación de líneas de alta tensión fuera del rango de control del regulador de voltaje.

Su base de operación es la de emplear los transformadores de potencial en las terminales del generador para energizar un relevador de voltaje que detecta si existe un sobrevoltaje. Como se trata de un fenómeno trifásico y simétrico, basta con medir el voltaje entre dos fases del generador utilizando un relevador monofásico. Este elemento debe contar con compensación por frecuencia, para mantener su ajuste aún en condiciones de rechazo de carga.

60 Protección de voltaje balanceado

Este relé protege los circuitos de potencial del generador contra fusibles fundidos; este tipo de falla se puede manifestar de dos maneras distintas:

- Fusible en el lado de excitación; produce sobreexcitación del generador
- Fusible en el lado de protección: genera disparo equivocado de algunas protecciones.

Esta protección detecta a que circuito corresponde el fusible fundido y toma las precauciones necesarias para evitar las consecuencias anotadas. Este relevador presenta dos ventajas:

- No actúa al desenergizarse los dos circuitos en operaciones rutinarias de desexcitación del generador.
- Es de alta velocidad

63 Protección bajo nivel de aceite chumacera

Supervisa que el nivel de aceite en la chumacera esté correcto; inicialmente manda alarma si baja más manda a disparo.

63FX Falla flujo aceite chumacera

Asegura que el flujo de aceite a chumacera se mantenga durante la operación de la unidad, consiste en un detector de flujo en serie con el circuito de aceite, el que en caso de suspenderse actúa sobre un microswitch.

64F Protección contra fallas a tierra en el campo

Esta protección detecta cuando se presenta una falla a tierra en cualquier punto del circuito de campo. Esta se emplea para dar alarma, con objeto de que la unidad sea retirada del sistema para su inspección.

Existen dos esquemas diferentes para detectar fallas a tierra en campos de generadores:

- Aplicando voltaje de corriente directa entre el campo y tierra para medir la corriente que circula.
- Midiendo voltaje entre tierra y un neutro artificial formado en el circuito de campo por medio de un potenciómetro de resistencias.

El voltaje que aparece a través de la bobina de 64F es tanto mayor mientras más cerca de los extremos del campo se encuentre la falla, para lograr detectar fallas aun en el centro del embobinado, se debe aplicar una resistencia no lineal en serie con R, de esta forma el neutro se desplaza en función del voltaje de operación de campo.

64G Protección contra fallas a tierra en el estator del generador

Trabaja sobre la base de detección de voltaje en el neutro de un sistema que opera con neutro aislado o aterrizado a través de una impedancia alta. Detecta fallas monofásicas a tierra tanto en la mayor parte del embobinado del generador como en todas las conexiones a voltaje de generación.

La protección contra fallas a tierra en el estator de generador basa su operación en la detección de voltaje en el neutro del propio generador. El voltaje en ese punto en condiciones normales es cero. Excepto la componente de tercera armónica, que puede ser apreciable pero es fácilmente eliminable por medio de un filtro contenido dentro del propio relevador.

67F Protección direccional de sobrecorriente alterna

Protege al campo de una sobrecorriente y en caso de falla desconecta a la unidad por medio del 52.

67G Protección direccional de sobrecorriente alterna en el generador

Esta protección generalmente se emplea en combinación con un relé de sobrecorriente, instantáneo o ambos. Con la acción de ambos relés se consigue tener orden de apertura del interruptor. Esta unidad requiere que se le alimente con tensión y corriente o corriente y corriente.

87G- Protección diferencial del generador

Protege contra corto circuitos entre fases dentro del embobinado del generador. Cuando el generador se halla con neutro aterrizado por medio de un reactor de baja impedancia, esta protección también detecta corto circuitos interiores de fase a tierra. Su operación se basa en la comparación de la corriente que sale de un embobinado con la corriente que entra por el otro extremo del mismo embobinado.

Si no existe diferencia entre estas corrientes, el embobinado está bien, pero si las corrientes difieren el embobinado presenta una falla. En condiciones normales las corrientes en la protección se reparten de igual forma. La bobina del relevador de protección recibe corriente únicamente cuando hay una falla dentro del generador, es decir, el relevador solo puede detectar únicamente fallas que

queden entre los dos juegos de TC's.

Los relevadores diferenciales de generador normalmente tienen una corriente de arranque del orden de 0.2 Amps., operando con una bobina de retención y la bobina de operación en serie. Estos son siempre de alta velocidad. La protección diferencial de generados es de las protecciones que menos problemas presentan. En su aplicación deben observarse las siguientes precauciones:

1. Empleo de TC's idénticos en los extremos del generador.
2. Empleo exclusivo de los TC's para la protección diferencial.
3. Localizar los TC's de manera que protejan únicamente al generador.
4. Revisión cuidadosa de polaridad y faseo de TC's.

87T Protección diferencial de grupo

El relé que se utiliza para este tipo de protección cuenta con una unidad de sobrecorriente que tiene las características de porcentaje diferencial y restricción de armónicas. Este relevador protege la zona que va del neutro del generador y la rama de servicios propios /excitación hasta el interruptor de alta (propio y amarre), incluyendo el transformador de potencia.

La característica de porcentaje diferencial es la misma que utiliza el relevador 87E y 87 S.A. con la excepción de que el pick-up de este relé es el 30% del valor del Tap ajustado cuando no circula corriente por la otra pierna. La característica de restricción de armónicas esta implementada en este relé para que no opere en falso cuando se energiza el transformador de potencia en vacío, debido a la corriente de magnetización, que puede llegar a un valor de 5 veces la corriente nominal durante un periodo de tiempo determinado.

101G Corrientes anormales en la flecha

En todos los alternadores se induce un voltaje entre los dos extremos de la flecha por disposiciones geométricas e inducción magnética normalmente el lado rodete o inferior se encuentra aterrizado por estar en contacto con el agua, por lo que el lado superior o sea donde está la chumacera guía con micartar, en caso de

que se pierda el aislamiento se produce una corriente a través de los cojinetes de la chumacera dañando el babbit, por lo que se inutilizará. El dispositivo consiste en un TC que se localiza en la flecha de la turbina y cuyo secundario está conectado a la bobina del relevador.

Estudio de cortocircuito

Una de las características primordiales de los sistemas eléctricos es su dinamismo y vulnerabilidad en cuanto a su estabilidad, en el proceso de suministro de energía a los usuarios. Esta estabilidad se ve afectada gravemente cuando en el sistema se presenta una de las características anormales más destructivas, denominada cortocircuito.

El cortocircuito es la eliminación de los obstáculos al paso de la corriente, es decir, la disminución repentina de la trayectoria normal que debe seguir dicha corriente, provocándose el flujo de una corriente de gran magnitud comparada con la corriente normal de carga.

Las corrientes de cortocircuito dependen de los valores de las impedancias que representan cada uno de los elementos que componen el sistema, a menor impedancia mayor nivel de corriente y viceversa, esto está relacionado con la capacidad de las fuentes de corriente, un generador de gran capacidad aportará mayor corriente que un generador pequeño.

La determinación de estas corrientes es muy importante para los siguientes propósitos:

- Para determinar la capacidad interruptora de equipos a usarse en el sistema, tales como:

- ✓ Interruptores
- ✓ Fusibles
- ✓ Arrancadores
- Para seleccionar las relaciones adecuadas de Transformadores de Corriente, tanto para los propósitos de protección como de medición.
- Para realizar los estudios de coordinación de relevadores o dispositivos de protección en los sistemas eléctricos de potencia o distribución.

Fuentes de corriente

Generalmente para que se produzca un cortocircuito es indispensable que haya una fuente que genere la corriente que circulará a través de la falla, es decir, que si no hubiera generadores funcionando o conectados al sistema no habría corrientes de falla. Como ya se vio en el tema de Componentes Simétricas, estas corrientes pueden ser clasificadas en tres categorías, por su secuencia: positiva, negativa o cero.

Las fuentes de secuencia positiva o fuentes activas se consideran las siguientes:

- ▲ Generadores de Corriente altera trifásica
- ▲ Motores Síncronos
- ▲ Condensadores Síncronos
- ▲ Motores de Inducción

Los generadores son las fuentes principales de corriente ya que están diseñados para suministrar corriente según la demanda de la carga, y su capacidad para suministrar corrientes de falla está directamente relacionada con su impedancia interna, la cual es variable en función del tiempo.

Asimetría de los ejes de la corriente de falla

La corriente de cortocircuito se considera formada por dos componentes: la componente de corriente alterna y la componente de corriente directa. Primero la corriente de cortocircuito alcanza un valor elevado de punta, que es la intensidad de impulso de la corriente de cortocircuito, luego decrece hasta un valor estacionario final llamado corriente permanente de cortocircuito. El fenómeno se desarrolla en forma asimétrica con respecto al eje de referencia en un tiempo relativamente corto.

Si el cortocircuito se produce exactamente al pasar la tensión por cero, la corriente se desfasa aproximadamente 90° por la reactancia del generador; en ese instante la corriente debería alcanzar el valor máximo, pero no es así debido al carácter inductivo del circuito y por tanto en ese instante la corriente también vale cero. La compensación necesaria la da, la llamada componente de corriente directa con valor inicial equivalente al valor de punta de la corriente alterna para el instante cero, y que desaparece después de algunos períodos.

La variación real de la corriente de cortocircuito se obtiene sumando los valores instantáneos de las dos componentes.

Para el caso de las tres fases, la suma de las componentes de corriente directa es igual a cero, de igual forma que la suma de las componentes de corriente alterna. El paso de la corriente de cortocircuito desde su valor máximo hasta su valor permanente de cortocircuito obedece a una forma de onda exponencial y de esta forma tendremos dos fenómenos, el transitorio y el subtransitorio en la corriente de cortocircuito. Estos fenómenos se desarrollan en los primeros instantes del cortocircuito.

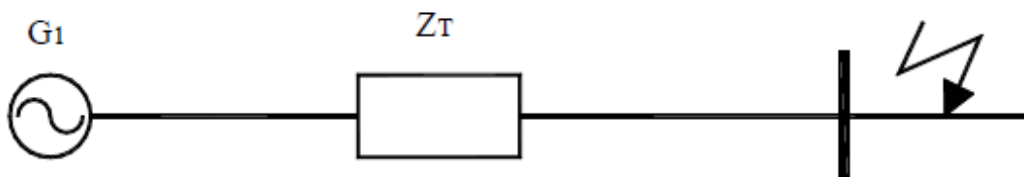
La componente de corriente directa, superpuesta a la componente de corriente alterna, es la responsable de la asimetría de la corriente de cortocircuito durante los primeros instantes, esta asimetría respecto al eje de referencia es mayor, cuanto mayor sea la relación entre la constante de tiempo de corriente directa y la subtransitoria.

Esta forma de la corriente de cortocircuito es característica de un cortocircuito en los bornes de un generador y de los cortocircuitos ubicados en la red a una distancia no muy grande del generador. Cuando la falla se produce en puntos muy alejados del generador, el valor inicial de la corriente de cortocircuito no es muy diferente de su valor estacionario final.

Diagrama unifilar y de impedancias

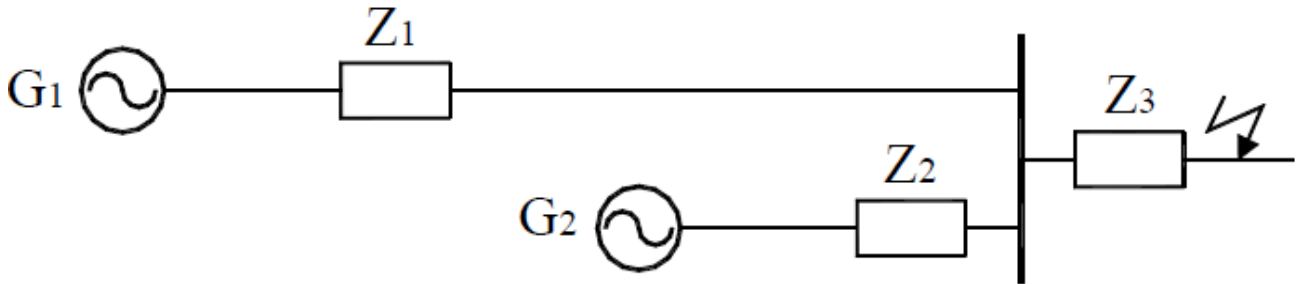
Para obtener un análisis eficiente de un circuito o red, del cual se realiza el estudio de cortocircuito, es conveniente saber obtener el diagrama unifilar y su correspondiente diagrama de impedancias.

Para un circuito con un solo punto de alimentación, el cálculo de cortocircuito es relativamente fácil de realizar, sin embargo muy a menudo las redes se alimentan de varios puntos; y tendremos circuitos separados, circuitos parcialmente comunes o circuitos con mallas.



Cortocircuito con alimentación simple

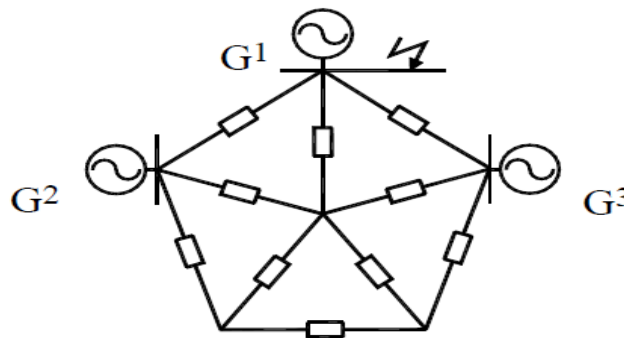
Para el primer caso el análisis no difiere en gran medida; pues la corriente de cortocircuito equivale a la suma de los valores parciales de los ramales de la red.



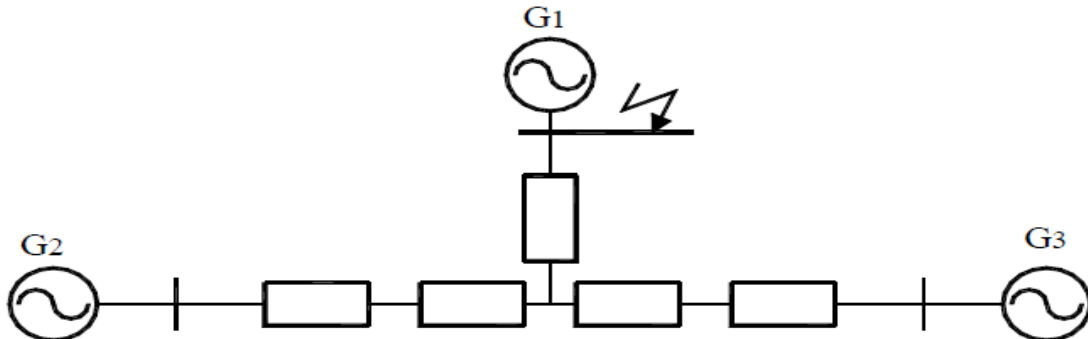
Corto circuito con alimentación múltiple a través de circuitos parcialmente comunes

Para el segundo caso ya no es permitido realizar esta simple suma; y por lo tanto se procede a reducir las impedancias de acuerdo al arreglo que presenten hasta el punto de la falla.

Para el tercer caso se debe reducir el sistema al segundo caso, realizando transformaciones delta-estrella en la red.



Circuito con mallas



Reducción de circuito con mallas, usando equivalentes delta-estrella

La determinación de las impedancias debe hacerse para todos los elementos que se tienen en la red: generadores, transformadores, líneas, etc. Si en la red se consideran principalmente los valores de reactancia de los generadores, transformadores y bobinas, existiendo líneas aéreas o subterráneas de poca longitud o en paralelo, podrán omitirse las resistencias óhmicas, y la impedancia no diferirá apreciablemente de la reactancia, pues esta última es preponderante. Para el caso contrario, en que se tengan líneas de gran longitud, su omisión hará obtener una impedancia muy baja.

Estos valores de impedancia nos ayudan a realizar los diagramas de secuencia: positiva, negativa y cero, necesarios para el cálculo del cortocircuito. Para el cálculo de las fallas de fase a tierra, se establecen tres redes, la de secuencia positiva que incluye a todos los elementos y fuentes de corriente. La red de secuencia negativa que incluye a todos los elementos con el mismo valor que en la red de secuencia positiva, excepto las fuentes de corriente (generadores). Y la red de secuencia cero, que incluye a los elementos con sus valores de secuencia cero. Para esta red de secuencia cero se debe de tener cuidado, pues los transformadores de acuerdo a su conexión en los devanados presentan varias

configuraciones respecto a tierra.

Para el cálculo de fallas trifásicas y en condiciones balanceadas, sólo existe secuencia positiva. Las redes de secuencia deben conectarse en serie para el análisis correcto de cortocircuito.

Cantidades en “por unidad”

Para realizar los cálculos de cortocircuito, los valores de las impedancias se manejan en el sistema llamado “**pu**” (por unidad), así también los valores de voltaje y corriente; esto es, debido a que en los sistemas que se analizan se

trabajan diferentes niveles de tensión, lo que hace difícil el manejo de las redes, por tanto, se establece éste sistema en el cual todos los valores se manejan en por ciento o por unidad de un valor conocido que nosotros establecemos. Generalmente la unidad que se escoge para el valor base de nuestros cálculos, son los volt-amperes, que para las cantidades de nuestro sistema se manejan en megavolt-amperes (MVA), porque esta unidad nos relaciona la tensión y la corriente; y así tendremos:

Dados MVA trifásicos y kV fase-fase

Corriente Base:

$$I_b = \frac{(MVA_b)(1000)}{\sqrt{3} kV_b}$$

Impedancia base:

$$Z_b = \frac{(kV_b)(1000)}{\sqrt{3} I_b} = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b}$$

Y así los valores por unidad serán:

$$I_{pu} = \frac{I(\text{amp})}{I_b} \quad Z_{pu} = \frac{Z(\text{ohms})}{Z_b}$$

Si los valores base, son monofásicos:

$$MVA_{b1\phi} = \frac{MVA_{b3\phi}}{3}$$

$$kV_{b1\phi} = \frac{kV_{b3\phi}}{\sqrt{3}}$$

$$I_b = \frac{MVA_{b1\phi}}{kV_{b1\phi}} (1000)$$

$$Z_b = \frac{kV_{b1\phi}}{I_b} (1000) = \frac{(kV_{b1\phi})^2}{MVA_{b1\phi}}$$

Cuando el fabricante nos proporciona los datos de los transformadores en % (por ciento), y sabemos que $Z\% = 100 Z_{pu}$, el valor en por unidad para transformadores será:

$$Z_{t\ pu} = \frac{\% Z_t}{MVA_{nom\ t}}$$

En la mayoría de los cálculos de cortocircuito se escoge como base una potencia de 100 MVA y como tensión base, la tensión propia del punto que se analiza. La potencia base puede ser un valor arbitrario que nosotros queramos, por ejemplo el valor en MVA del generador más grande de nuestro sistema.

Selección y cambio de bases

La gran ventaja del sistema en por unidad es que el resultado de la multiplicación o división de dos cantidades en por unidad, es otra cantidad en por unidad también; y para obtener el valor en amperes, ohms o volts de una cantidad en por unidad, basta con multiplicar dicho valor por la corriente de base, impedancia base o tensión base considerada para el punto en análisis.

Para efectuar un cambio de base podemos establecer que sí:

$$Z_{pu1} = \frac{Z(\text{ohms})}{(kV_{b1})^2} MVA_{b1}$$

$$Z_{pu2} = \frac{Z(\text{ohms})}{(kV_{b2})^2} MVA_{b2}$$

Despejando Z (ohms) e igualando las ecuaciones:

$$\frac{Z_{pu1} (kV_{b1})^2}{MVA_{b1}} = \frac{Z_{pu2} (kV_{b2})^2}{MVA_{b2}}$$

De donde podemos obtener:

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \left(\frac{MVA_{b2}}{MVA_{b1}} \right) \left(\frac{kV_{b1}}{kV_{b2}} \right)^2$$

Valores de la corriente de cortocircuito

Una vez obtenidos los valores de las impedancias de los elementos del circuito, y reducidas las redes de secuencia, el cálculo de la corriente de cortocircuito se obtiene como sigue:

Para falla trifásica

Para esta falla sólo se utiliza la red de secuencia positiva con la impedancia equivalente al punto de falla.

$$I_{cc3f} = \frac{E_1}{Z_1} \quad \text{O} \quad I_{cc3f} = \frac{1}{Z_1}$$

$E_1 = 1_{pu}$ = tensión en por unidad a la falla

Z_1 = Impedancia equivalente al punto de falla de secuencia positiva en por unidad

Este valor está en por unidad y para obtener el valor en amperes debemos multiplicarlo por la corriente base (I_b).

$$I_{\text{amp}} = I_{\text{pu}} \times I_b$$

La potencia de cortocircuito trifásica es:

$$MVA_{\text{cc3f}} = (MVA_b) (I_{\text{cc3f pu}}) = \frac{100}{Z_1}$$

Considerando $MVA_b = 100$, y este valor ya está en MVA.

Para falla monofásica

Para esta falla se utilizan los tres diagramas de secuencia conectados en serie, y las impedancias de los transformadores en secuencia cero y positiva son iguales y sólo difieren en su conexión al circuito, de acuerdo a su conexión interna de devanados, (la conexión delta impide la aportación de secuencia cero). Las impedancias de secuencia cero de las líneas se calculan usando el procedimiento matemático más complejo que no se analiza aquí, pero ya existen tabulaciones con dichos valores dados en ohms/milla ú ohms/km.

$$I_{\text{cc1f}} = \frac{3E_1}{(2Z_1 + Z_0)} \quad \text{O} \quad I_{\text{cc1f}} = \frac{3}{(2Z_1 + Z_0)}$$

$E_1 = 1$ pu = tensión en por unidad al punto de falla

Z_0 = Impedancia equivalente de secuencia cero al punto de falla en por unidad

Nuevamente este valor está en por unidad y para obtener su valor real en amperes se debe multiplicar por la corriente base al punto de falla.

La potencia de cortocircuito monofásica es:

$$MVA_{cc1f} = (MVA_b)(I_{cc1f}) = (100)(I_{cc1f}) = \frac{300}{(2Z_1 + Z_0)}$$

Considerando la potencia base $MVA_b = 100$ MVA

Capítulo IV: Desarrollo

Propuesta para la implementación de relevadores digitales

Características generales del relevador digital multifunción

La tecnología disponible para ofrecer protección a los generadores eléctricos en las plantas ha evolucionado desde los relés electromecánicos de función única a los relés estáticos (electrónicos) y ahora a los relés digitales multifunción llamados también sistema de protección integrado. La aparición de las tecnologías de microprocesadores de bajo costo ha posibilitado desarrollar los relés digitales de multifunción, que combinan numerosas funciones de protección en un conjunto único de relés.

Los modernos relés digitales de multifunción cuentan con diversas características que los hacen ideales para la protección de generadores, además esta tecnología de relés ofrece ventajas de importancia sobre los antiguos sistemas de protección por medio de relevadores electromecánicos, las más importantes de dichas características son: las funciones seleccionables por el usuario, el autodiagnóstico, la capacidad de comunicaciones y el monitoreo oscilográfico. En este capítulo se describen cada una de estas características.

Aumento de la vida útil de los generadores

Los generadores instalados en C.H.M.M.T. cuentan con un sistemas de protecciones de más 20 años de funcionamiento por lo que a diferencia de otros componentes del sistema de potencia, requieren ser protegidos no sólo contra los

cortocircuitos, sino contra condiciones anormales de operación ya que por el crecimiento del sistema eléctrico interconectado y con el avance de los estudios sobre perturbaciones eléctricas se han encontrados fenómenos eléctricos que no se tenían previstos en los esquemas antiguos de protección.

Algunos ejemplos de tales condiciones anormales son: Fallas en los devanados, sobrecarga, sobrevelocidad, pérdida de excitación, motorización de generadores calentamiento de devanados y cojinetes. Al estar sometido a estas condiciones, el generador puede sufrir daños o una falla completa en pocos segundos, por lo que se requiere la detección y el disparo automático, por lo que la implementación de un relevador digital multifunción abarcaría las áreas de protección ignoradas como: Protección contra corrientes de secuencia negativa, falla a tierra en el 100 % del estator, energización inadvertida, contornamiento de cabeza de interruptor , monitoreo con oscilógrafo y con ello se podría tener certeza de que la vida útil de trabajo de los generadores sería ampliada eficientemente.

Falta de calibración y reducción de mantenimiento

Por ser los relevadores digitales multifunción dispositivos construidos a base de microprocesadores, estos no poseen mecanismos por medio de engranes, resortes y elementos móviles como los relevadores electromecánicos, por lo que no es necesario realizar calibraciones periódicas de estos dispositivos y elementos. Las funciones de mantenimiento se reducirían a únicamente limpieza de bornes, revisión de puntos de interfase y cableado.

Funcionalidad seleccionable por el usuario

La funcionalidad de la protección varía mucho según el tamaño del generador, el tipo de generador (de inducción o síncrono). Estas variables hacen

que la funcionalidad seleccionable (“selección cuidadosa”) sea una característica de gran importancia. Dicha característica permite que la configuración específica del relé digital de multifunción sea controlada por el usuario, no por el fabricante. El costo es proporcional al nivel de funcionalidad que se requiera. Los relevadores propuestos en este capítulo fueron seleccionados de acuerdo al tamaño y la importancia de los generadores a proteger ya que existen modelos más completos y sofisticados en el mercado.

El usuario que adquiere un costoso conjunto de multifunción para protección de generadores e inhabilita numerosas funciones porque no son apropiadas para su aplicación específica, desperdicia las ventajas económicas de la protección tipo multifunción. Al utilizar un relé con las funciones básicas necesarias para la mayoría de las aplicaciones y hacer su selección adicional en una “biblioteca” de funciones opcionales, el usuario configura el equipo de protección para la aplicación específica y minimiza su costo.

Capacidad de autodiagnóstico

El autodiagnóstico de un relé digital de multifunción permite la detección inmediata de fallas en el relé. Si no se cuenta con protección adecuada del generador, este puede verse sometido a condiciones perjudiciales tales como las corrientes de falla no detectadas, los sobrevoltajes y el alto esfuerzo torsional del eje del generador debido al recierre automático.

Por estas razones, el autodiagnóstico adquiere cada vez mayor importancia. Las antiguas tecnologías electrónicas o electromecánicas no ofrecían este margen de seguridad.

Capacidad de comunicaciones

Todos los relés digitales de multifunción cuentan con puertos de comunicaciones. Dos puertos de interfaz en serie, COM1 y COM2, son puertos estándar RS-232 de 9 pines con configuración DTE. El puerto del panel frontal, COM1, se usa para ajustar e interrogar localmente al relé por medio de una computadora.

El segundo puerto RS-232, COM2, está en la parte trasera de la unidad. Un puerto configurado RS-485, COM3, está disponible también en el bloque de terminales atrás de la unidad. Cualquiera de los puertos del panel posterior, COM2 o COM3, pueden usarse para ajustar e interrogar remotamente al relé por medio de un módem.

Con el relé se suministra software de comunicación (IPScm), que funciona con el sistema operativo Microsoft Windows. La comunicación con múltiples relés se puede realizar usando un sencillo y económico divisor de señales de comunicaciones y un módem compatible con Hayes, a velocidades de hasta 19,200 baudios.

Los relevadores digitales pueden proporcionar a la empresa datos telemétricos continuos sobre la operación del generador. Generalmente se les exige información tal como el estado (abierto o cerrado) de interruptores clave de generación e interconexión, así como la salida instantánea en MW o MVAR del generador.

Antiguamente gran parte de la información podía obtenerse mediante un conjunto de relés conectados al generador, actualmente con los relevadores digitales se ha eliminando la necesidad de contar con transductores y medición

adicional. Asimismo, la capacidad de interrogar al relé de protección del generador desde un lugar remoto para determinar los eventos de operación del relé permite disponer de información esencial para restaurar la unidad generadora al servicio en caso de disparo.

Monitoreo oscilográfico

El monitoreo oscilográfico de las entradas del relé (corrientes y voltajes) proporciona información sobre la causa de la operación del relé de protección e indica si el relé ha funcionado de acuerdo a lo planeado, el monitoreo oscilográfico ofrece información valiosa sobre cuál es la razón por la que se ha provocado el disparo.

Mejora en la sensibilidad de las protecciones

Debido a que los relevadores electromecánicos están compuestos por elementos móviles y mecanismos estos no son lo suficientemente sensibles a pequeñas variaciones de las magnitudes a medir ya sean estas corrientes o voltajes, principalmente cuando ya cuentan con varios años de operación estos elementos sufren desgaste y envejecimiento.

Por lo que los relevadores digitales multifunción pueden ser ajustados a que disparen cuando hayan pequeñísimos cambios en sus parámetros máximos ajustados con el fin de que el generador no trabaje en condiciones desfavorables que puedan ponerlo en peligro o bien que reduzcan su vida útil considerando siempre algún margen de seguridad para que este no se esté disparando continuamente.

Características de los relevadores digitales multifunción propuestos

Características del relevador Beckwithelectric M3420

Funciones de protección:

- Protección de distancia de fase Dual-zona para respaldo de falta de fase (falla de fase) (21)
- Protección de sobreexcitación (V/Hz) (24)
- Sensible a detección de potencia inversa, conveniente para puntos de ajuste dual por tropiezo secuencial (32)
- Protección de pérdida de campo (40)
- Sensible a protección de sobrecorrientes de secuencia negativa y alarma (46)
- Protección por falla del interruptor del generador (50BF)
- Protección del generador para energización inadvertida (50/27)
- Protección contra sobrevoltaje (59) y bajo voltaje(27) de fase
- Protección por falla de tierra en el 100% del estator (59N/27TN)
- Detección de pérdida de fusible de PT y bloqueo (60FL)
- Protección con cuatro etapas de sobre / baja frecuencia (81)
- Protección diferencial de fase del Generador (87)
- Ocho salidas programables y seis entradas programables
- Grabación de oscilógrafo
- 32-blancos (objetivos) de almacenamiento
- Medición de todos los parámetros a medir
- Dos RS-232 y uno RS-485 puertos de comunicaciones
- Rack de 19" para el montaje
- Panel removible del circuito impreso y suministro de poder
- Modelos en 50 y 60 Hz disponibles
- 5 entradas de CT disponibles

- Entradas Adicionales para disparo por los dispositivos externos conectados
- Software de comunicaciones M-3800A IPScom
- Sincronización de tiempo (IRIG-B)
- Incluye protocolos MODBUS y BECO 2200
- Suministro de poder Redundante
- M-3930 Módulo Designado
- M-3931 Interfase de la Humano-máquina (HMI) el Módulo
- M-3801A IPSplot el Oscillograph Análisis Software

Características del relevador Schweitzer Engineering Laboratories SEL 300G

Funciones de protección:

- Protección de falla a tierra en 100% del estator, utilizando la frecuencia fundamental del sistema y los diferenciales de voltaje de tercer armónico.
- Protección diferencial
- Protección por pérdida de sincronismo
- Sobreexcitación
- Potencia inversa
- Protección térmica
- Grabación de eventos y de fallas
- Sobrevoltaje
- Sobrecorriente
- Sobre/baja frecuencia
- Desbalance de corrientes
- Tierra en el campo
- Software ACSELERATOR para ajuste y monitoreo por computadora
- Puertos de comunicación e impresión

Análisis económico de la implementación del relevador digital multifunción

La siguiente información muestra el costo de la implementación de los relevadores digitales multifunción, esta información fue consultada en las páginas web de los fabricantes y cuyo precio puede variar si se contratan empresas para adquirir este equipo.

Relevador Beckwithelectric M3425 (PP1)

Para implementar el relevador marca Beckwithelectric en las unidades generadoras, tendríamos que adquirir los siguientes elementos:



Elemento	Precio en Dólares	Precio en Pesos
Relevador digital multifunción, incluye interfase hombre máquina (IHM), software de monitoreo por medio de computadora, cable interfaz	4 190.00	56 685.9679

Relevador Schweitzer Engineering Laboratories SEL-300G (PP2)

Este relevador SEL-300G consta de los siguientes elementos para su implementación y funcionamiento:



Elemento	Precio en Dólares	Precio en Pesos
Relevador digital multifunción con todas sus funciones, monitoreo y software de comunicación para computadora Cable para interfaz, módulo de instalación y accesorios	6 680.00	90 372.8557

El relevador Beckwithelectric ofrece información general de la forma de ajuste de los parámetros del relevador, ofrece los manuales de usuario en los cuales están incluidas las curvas de operación de las distintas aplicaciones, formulas generales y funciones mínimas a ajustar, el tiempo de respuesta de este relevador se pueden ajustar de 1 a 8165 ciclos (62.5 milisegundos a 510 segundos).

El relevador Schweitzer Engineering Laboratories SEL-300G ofrece sus manuales de instalación, ajuste de parámetros y pruebas de puesta en operación,

curvas de operación de las distas aplicaciones, formulas y algoritmos de operación. El tiempo mínimo de respuesta del relevador es de 6 milisegundos y el máximo de 300 segundos según la selección del usuario.

Equipo necesario para la operación, monitoreo y control del relevador digital

El equipo necesario para la operación de el relevador digital multifunción está formado por transformadores de potencial y transformadores de corriente que proporcionan la alimentación del relevador y de los cuales este toma los parámetros necesarios como: voltaje, corriente, frecuencia, el cual hace las relaciones matemáticas respectivas para poder monitorear parámetros como: factor de potencia, potencia real y potencia reactiva.

El relevador digital multifunción tiene la ventaja que únicamente necesita un grupo de 3 transformadores de potencial (uno por fase o entre fases conectados en estrella o delta) y un grupo de 3 transformadores de corriente (uno por fase conectados en estrella o delta) para realizar sus funciones de protección como: protección por perdida de fase, protección de sobreexcitación, perdida de campo, energización inadvertida, motorización, sobre voltaje, bajo voltaje, etc. y de los seis transformadores de corriente por unidad instalados para la protección diferencial del generador (dos transformadores por bobina o fase).

Los transformadores necesarios para el funcionamiento del relevador multifunción serian los instalados actualmente en cada unidad por lo que únicamente tendríamos que cambiar el cableado de los mismos si fuera necesario y conectarlos a las terminales del relevador multifunción, esto representaría un ahorro sustancial ya que este equipo se encuentra en buen estado de funcionamiento.

Para el monitoreo y control del relevador digital multifunción se necesita de una computadora con el software necesario que conectada al dispositivo podemos visualizar de una forma grafica todos los parámetros ajustados y poder realizar cambios así como obtener lecturas sobre el comportamiento de sus parámetros o bien tener la indicación del tipo de falla que se produjo o realizar disparos de la unidad generadora.

Sistemas de protección complementarios

SEL-351A Protección Sobrecorriente S.A.

El Sistema de Protección SEL-351A tiene incorporados Ethernet y sincrofasores IEEE C37.118, y es una solución económica para protección ante una sobrecorriente. La protección del alimentador es fácil de usar y las características innovadores como la Lógica de la Mejor Opción del Elemento Direccional a Tierra y las ecuaciones de control SELogic® de SEL, proporcionan una protección superior en los sistemas de potencia industriales y de empresas de servicios públicos.



Elemento	Precio en Dólares	Precio en Pesos
Relé de protección confiable con seis niveles de fase, secuencia negativa, neutral, y los elementos de sobrecorriente residual dan una protección coordinada, y la fase y la secuencia y sobretensión, maximiza la flexibilidad de los elementos de control del esquema.	3 315.00	44 848.2061

SEL-387 Protección Diferencial de Grupo

El Relé para Diferencial de Corriente y Sobrecorriente SEL-387 proporciona protección, control y medición para transformadores, máquinas, barras, interruptores y alimentadores. Las características incluyen cuatro entradas de corriente trifásica con protección individuales ante diferenciales restringidos y no restringidos, características programables para el diferencial de pendiente sencilla o doble, monitor del Interruptor del circuito, monitor del voltaje de la batería, y ecuaciones de control SELogic® mejoradas.



Elemento	Precio en Dólares	Precio en Pesos
Protección confiable que provee una combinación de funciones, además de que monitorea constantemente.	6 280.00	84 961.3074

SEL-551 Protección al neutro del Generador

El SEL-551 es una protección de sobrecorriente integral de fase, secuencia negativa, tierra residual y sobrecorriente en el neutro del generador.



Elemento	Precio en Dólares	Precio en Pesos
Protección que reemplaza a muchos de los relés e interruptores de control, reduciendo el cableado.	982.00	13 285.3509

Comunicación de las protecciones con la Interfaz Hombre-Máquina en Sala de Control

SEL-2032

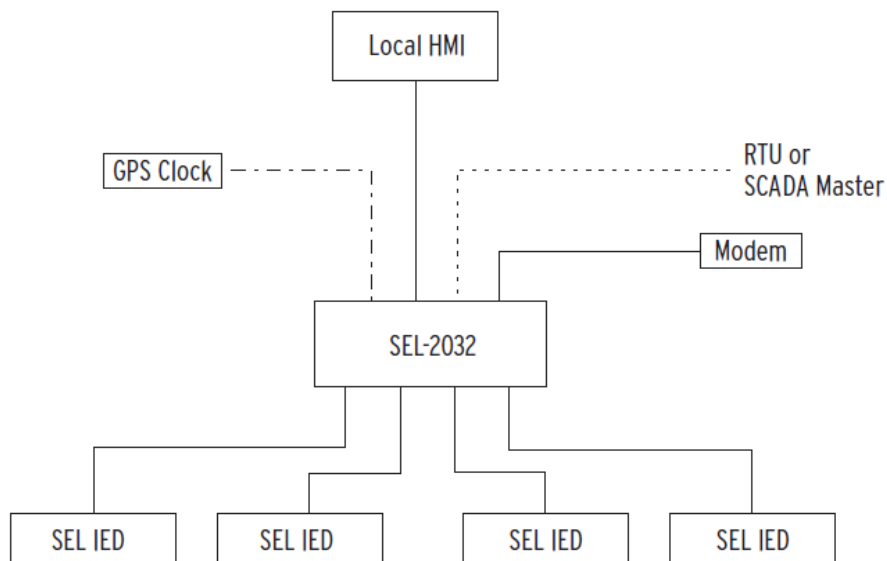
Enlace todos los equipos electrónicos inteligentes (IED) de la subestación en un punto de contacto sencillo y configurable a bajo costo para los sistemas SCADA, la interfaz hombre-máquina, el acceso de marcado, notificaciones de marcas de salida y sobre todas las aplicaciones de integración del sistema. Enlace múltiples procesadores de comunicación para proporcionar caminos redundantes de comunicaciones cuando sea necesario.



Elemento	Precio en Dólares	Precio en Pesos
Base de Datos Automatizada colecta, almacena y envía reportes de mediciones, objetivos, estados de entrada digitales, reportes de eventos, reportes de mediciones de demanda, y más.	2 840.00	38 421.9925

Este sistema de comunicación recopila datos sincrofasoriales de seleccionadores de los relés antes mencionados. Crea mapas de valores de datos fasoriales de los protocolos tradicionales de SCADA, como DNP3 o Modbus para

la integración en Sistemas de Gestión de Energía y Estimación de Estado. Completa Solución de Integración. Direcciones SCADA, el acceso de ingeniería, HMI local, y la sincronización de hora con una conexión en estrella en una sola red a cada dispositivo. Superior Alternativa a la RTU. Usa Modbus o DNP3 para comunicar a los maestros SCADA fuera del sitio.



Cálculo para la selección de TC's y TP's para las protecciones del generador

Datos de la unidad

Generador ASEA

SG=300MVA

VG=17KV

Valore base:

SB=100MVA

Determinación de la corriente nominal:

$$I_{nom} = \frac{(300 * 1000)}{\sqrt{3} * 17KV}$$

$$I_{nom} = 10\ 188.5341$$

Determinación de las relaciones de TP y TC

RTP:

$$VG = VP = 17\ 000\ V$$

$$VS = 120$$

$$\text{Relación: } 17\ 000/120 = 141.6666$$

$$\text{Relación normalizada} = 150$$

RTC:

$$I_{nom} = 10\ 188.5341\ A$$

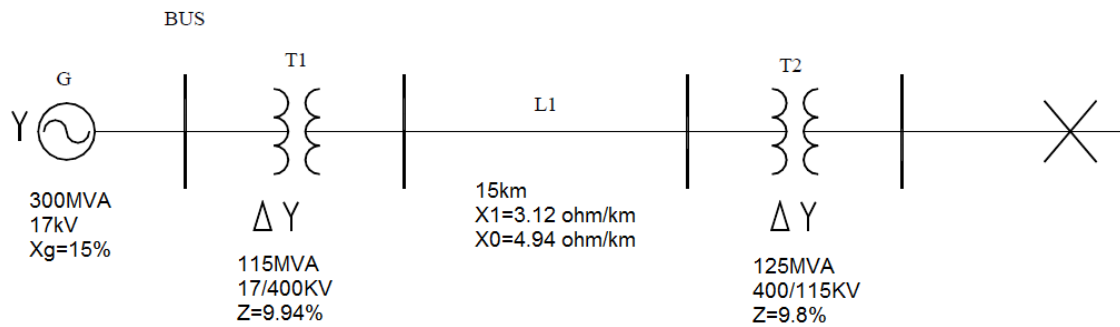
$$I_{sec} = 5\ A$$

$$\text{Relación: } 10\ 188.5341/5$$

$$\text{Relación: } 2\ 037.7068/1$$

$$\text{RTC normalizado} = 2\ 100$$

Cálculo de corto circuito



Nuestros valores base para la potencia y voltaje serán:

$$MVA_b = 100MVA$$

kV_b = los propios de cada punto

Calculando la corriente e impedancias base para cada nivel de tensión tenemos:

Para 17kV:

$$I_b = \frac{(MVA_b)(1000)}{\sqrt{3}(kV_b)} = 3\,396.17 \text{ Amp.}$$

$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} = 2.89 \, \Omega$$

Para 400kV:

$$I_b = \frac{(MVA_b)(1000)}{\sqrt{3}(kV_b)} = 144.33 \text{ Amp.}$$

$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} = 1\,600 \, \Omega$$

Para 115kV:

$$I_b = \frac{(MVA_b)(1000)}{\sqrt{3}(kV_b)} = 502.04 \text{ Amp.}$$

$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} = 132.25 \, \Omega$$

Calculo de impedancias:

Generador:

$$X_g = 0.15 \frac{100}{300} = 0.05 \text{ pu}$$

Transformador 1:

$$X_{t1} = 0.0994 \frac{100}{115} = 0.086 pu$$

Línea de 15 km:

$$X_1 = 15km \cdot \frac{3.12 \frac{ohms}{km}}{Z_b} = 0.1017 pu$$

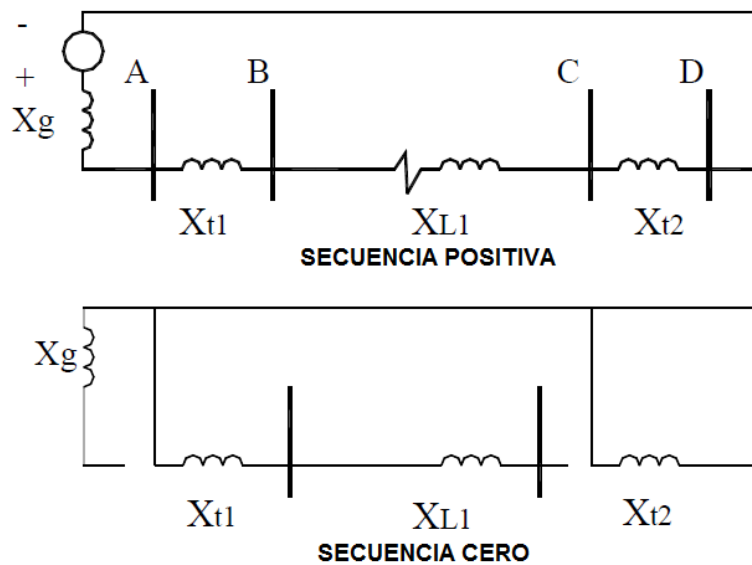
Z_b para 400 kV = 460 Ω

$$X_1 = 15km \cdot \frac{6.25 \frac{ohms}{km}}{Z_b} = 0.0.161 pu$$

Transformador 2:

$$X_{t2} = 0.098 \frac{100}{125} = 0.784 pu$$

Diagramas de secuencia positiva y cero



Para la falla trifásica:

$$Z_1 = 1.0217$$

$$I_{cc3f} = \frac{1}{Z_1} = 0.9787 pu$$

$$I_{cc3f} = (I_{pu})(I_b) = (0.9787)(502.04)$$

$$I_{cc3f} = 491.34 Amp.$$

La potencia de cortocircuito trifásica es:

$$MVA_{cc3f} = (MVA)(0.9787) = 97.87MVA$$

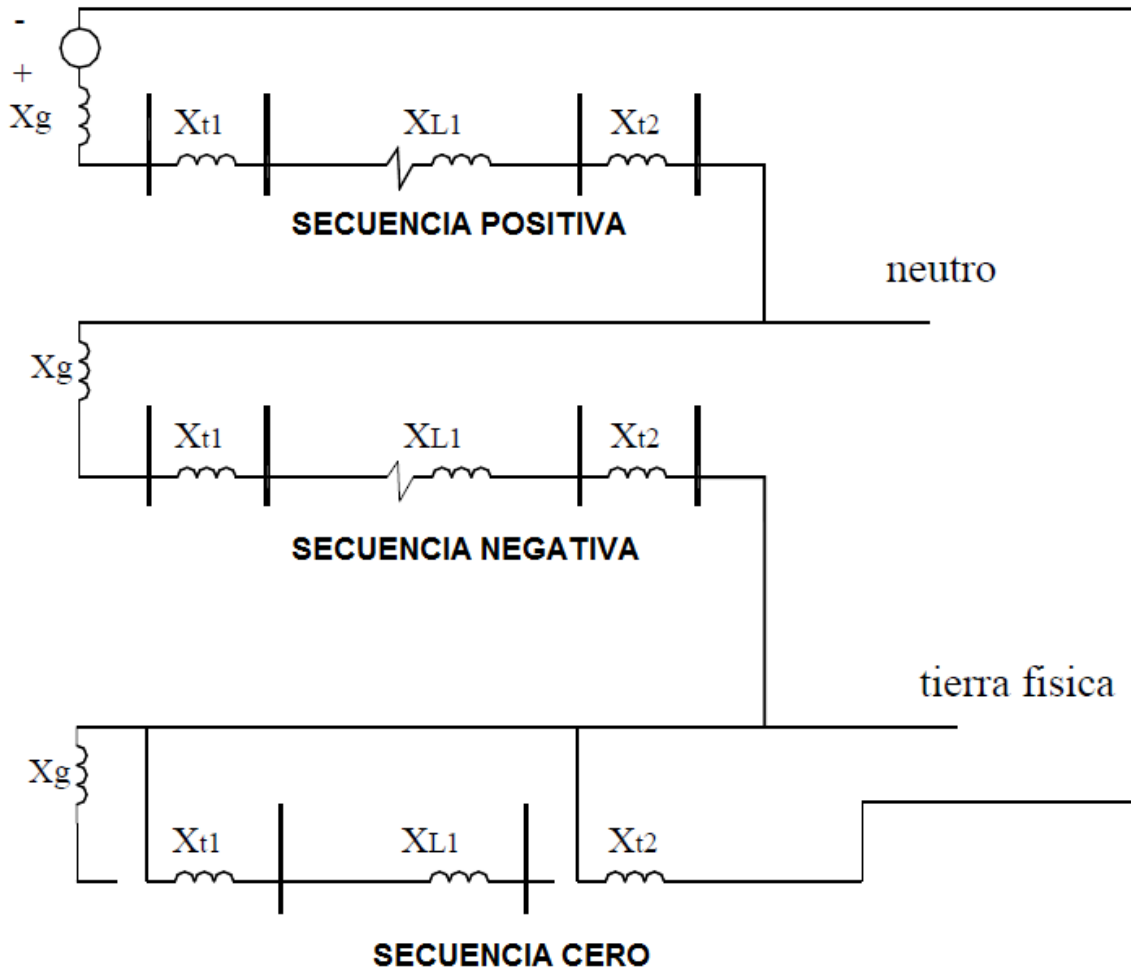
Para la falla monofásica:

$$I_{cc1f} = \frac{3}{2Z_1 + Z_0} = 1.1795 \text{ pu}$$

$$I_{cc1f} = (I_{pu})(I_b) = (1.1795)(502.04)$$

$$I_{cc1f} = 592.1516 \text{ Amp.}$$

$$MVA_{cc3f} = (MVA)(1.1795) = \mathbf{117.95 MVA}$$



Condiciones y disparos para el correcto funcionamiento de las protecciones

Disparos sobre el 5B	
59GX	Sobre voltaje generador.
21GX	Protección de distancia.
40GX	Perdida de excitación.
51NT	Sobrecorriente en el neutro del transformador.
12.2X	Sobrevelocidad mecánica.
12.1X	Sobrevelocidad eléctrica.
63QA	Baja presión en el actuador.
27DXY	Falta voltaje CD: Gobernador.
27GYX	Falta voltaje P.M.G.
63QE	Baja presión extrema en el tanque de presión.
71QPLLBX	Nivel bajo de aceite en tanque de presión.
38QB1HX	Alta temperatura aceite. Chumacera de carga.
38QB3HX	Alta temperatura aceite. Chumacera guía.
26PHX	Alta temperatura. Agua de sello.
38QB4XX	Alta temperatura. Guía superior (chumacera).
38WGHX	Alta temperatura. Agua enfriador aire del generador.
80WX	Falla flujo de agua de enfriamiento.
67G	Potencia inversa del generador.
71FPT	Falla voltaje. Sistema de excitación.
74EX	Falla voltaje de excitación
26HY	Alta temperatura. Transformador de excitación.
33FAX	Corrientes asimétricas.
94ET2X	Disparo 2 RAT.
51NE	Sobrecorriente de campo.

Disparos sobre el 86GTB	
C.S.	Paro de emergencia.
86M	Falla mecánica.
86G	Falla en el generador.
86E	Falla en el sistema de excitación.
86T	Falla transformador.
86SA	Falla transformador servicios auxiliares
86BFG	Falla interruptor 452G ó 452A.

Disparos sobre el 86E	
87E-A	Protección diferencial T.E: fase 1
87E-B	Protección diferencial T.E: fase 2
87E-C	Protección diferencial T.E: fase 3
T1	Disparo 1 del sistema de excitación

Disparos sobre el 86G	
87 01	Protección diferencial del generador
87 02	Protección diferencial del generador
87 03	Protección diferencial del generador
64G	Falla a tierra. Devanados del generador (estator).

Disparos sobre el 5A (respaldo)	
46G	Sobrecorriente de secuencia negativa
21GX TU1	Protección de distancia trifásica

Disparos sobre el 86M	
388HX	Alta temperatura metal chumacera carga.
38812HX	Alta temperatura metal chumacera carga.
3882AX	Alta temperatura metal chumacera guía superior turbina.
3883HX	Alta temperatura metal chumacera guía inferior turbina.
3883HX	Alta temperatura metal chumacera guía superior generador.

Disparos sobre el 86T	
87TA	Protección diferencial. Transformador fase A.
87TB	Protección diferencial. Transformador fase B.
87TC	Protección diferencial. Transformador fase C.
50/51 A	Sobrecorriente. Fase A.
50/51 B	Sobrecorriente. Fase B.
50/51 C	Sobrecorriente. Fase C.
63P, 45-2, 63	Protecciones propias del transformador.

Disparos sobre Shut-Down	
86SA	Falla en transformador servicios auxiliares.
86T	Falla en transformador principal.
86E	Falla en sistema de excitación.
86G	Falla en el generador.
86M	Falla mecánica.
5B	Paro temporal.
86BFG	Falla de interruptor 452G, 452A.
63QCHX	Buccholtz cable de potencia alta presión.
63QCLX	Buccholtz cable de potencia baja presión.
49GY	Alta temperatura generador.
49T, 49BH	Alta temperatura. Devanado y alta temperatura. Bus fase aislada.

Disparos del interruptor de campo	
y3D1749	Sobrecorriente instantáneo.
y3D1549	Sobrecorriente retardado.
86G	Falla en el generador.
9AET1X	Disparo 1.
86T	Falla en el transformador.
94ET2X	Disparo 2,
86E	Falla en el sistema de excitación.
63QCLX	Baja presión en el cable de potencia.
86SA	Falla transformador servicios auxiliares.
86BFG	Falla interruptor 452G ó 452A.

Disparos del interruptor del generador	
87B1	Protección diferencial de buses subestación.
86BFG(S.E.)	Falla del interruptor
86G	Falla en el generador.
86E	Falla en el sistema de excitación.
86T	Falla en el transformador principal.
86SA	Falla en el transformador servicios auxiliares.
5B	Paro temporal.
86M	Falla mecánica.
49BFHX	Muy alta temperatura. Bus de fase aislada.
86FP-1	Presión súbita. Transformador de potencia.
63PX	Válvula de sobrepresión mecánica. Transformador de potencia.
5A	Protección de respaldo.
49GY	Sobretemperatura. Devanados del generador.
41X	Interruptor de campo.

Lógica de operación de las protecciones eléctricas del Generador															
Tipo de protección		Función de operación													
		ANSI	Relevador auxiliar	Dispara											Alarma
				52U	41G	86M	86G	86E	65S	5B	5A	4B	52A	Cierre	
Falla a tierra en el campo del generador		64F	64FX												X
Alta temperatura, devanados del generador		49G	49FX	x											X
Falla externa	Falla a tierra en el sistema	51V	51VX	0							X				X
	Protección de distancia	21G	21GX	0							X				X
	Corriente desequilibrada	46G	46GX	0							X				X
Falla entre fases del Generador, protección diferencial		87G	86G	0	0		X		0			0	0		X
Falla a tierra del estator		64G	86G	0	0	X			0			0	0		X
Sobrevoltaje Generador		59G	5B	0	0				0	X		0	0		X
Pérdida del campo del Generador		40G	40GX	0	0				0	X		0	0		X
Relevador de balance de voltaje		60G	60GX												X
Sobrevelocidad eléctrica y mecánica		Y12-1	Y12-2X	0	0				0	X		0		0	X
Protección de sobrecorriente en la flecha		101	51X/101	0	0				0	X		0	0		X
Falla flujo estable de agua de enfriamiento		80WX	5B	0	0				0	X		0	0		X
Sobretemperatura metal-chumacera		38B	86M	0	0	X			0	X		0	0		X
Sobretemperatura aceite y agua		38QB	5B	0	0				0	X		0	0		X
"X" Protección disparada inicialmente															
"0" Equipo disparado a consecuencia de "X"															

Conclusiones y Recomendaciones

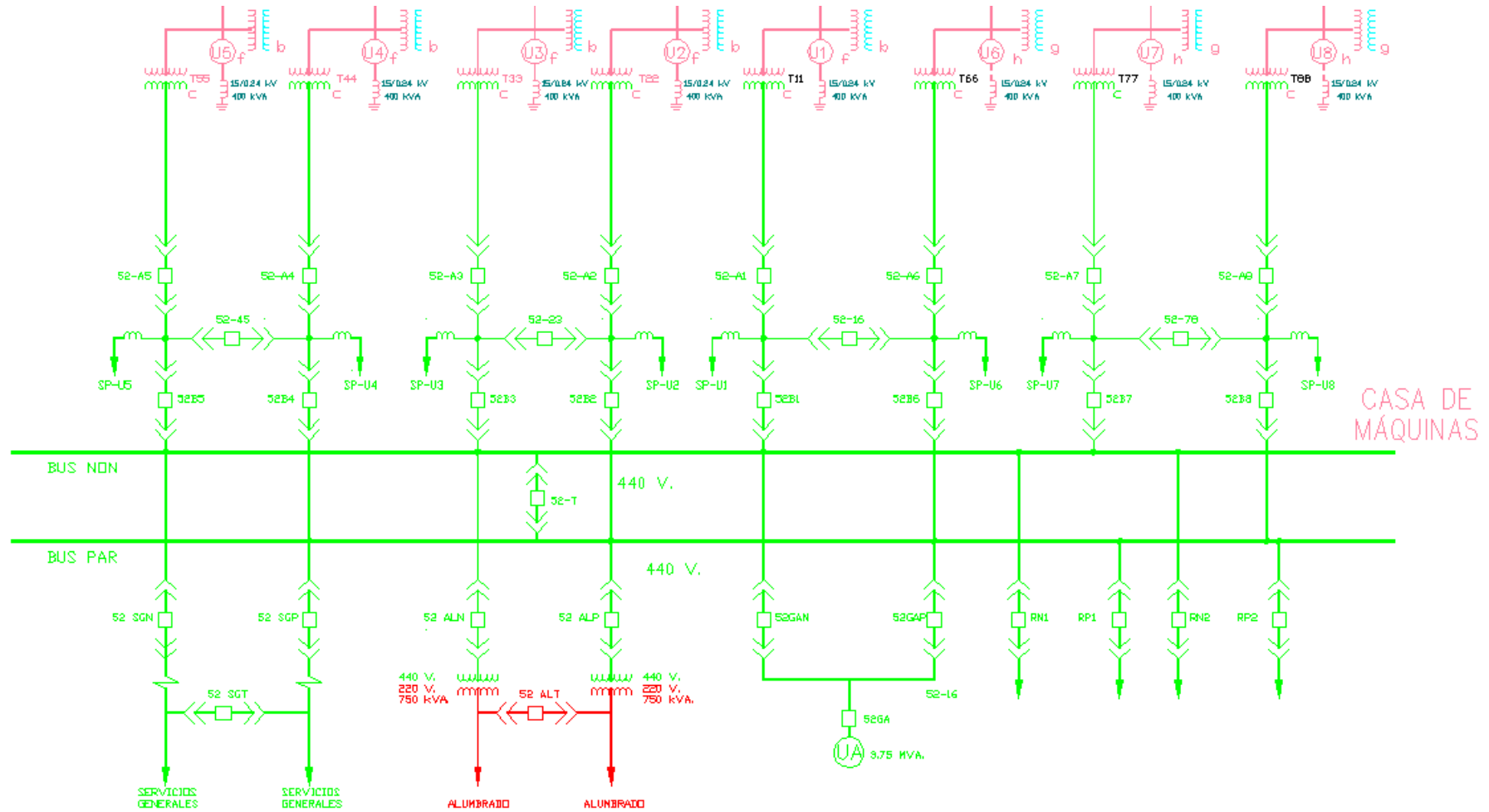
Conclusiones

1. Cuando existe un buen sistema de protecciones, los tiempos de servicio o de vida de las unidades generadoras pueden prolongarse, siendo éste un factor económico importante en la operación de toda planta.
2. Con un sistema de protección confiable, se pueden reducir el tiempo de duración de fallas o prevención de las mismas, lo que repercutiría en un menor tiempo de suspensión del servicio.
3. Una de las ventajas que se obtiene al implementar los relevadores digitales, es la capacidad de comunicaciones a distancia que tiene este, por medio de un MODEM que se le instale y con ello tener acceso en tiempo real a las variables que se deseen monitorear, a la vez que se pueden realizar maniobras a distancia.

Recomendaciones

Apoyar todas las actividades relacionadas con la actualización y capacitación del personal de mantenimiento y operadores, ya que la formación de ellos es considerada en la actualidad de vital importancia para esta central, con el fin de que sean más productivos.

Anexos



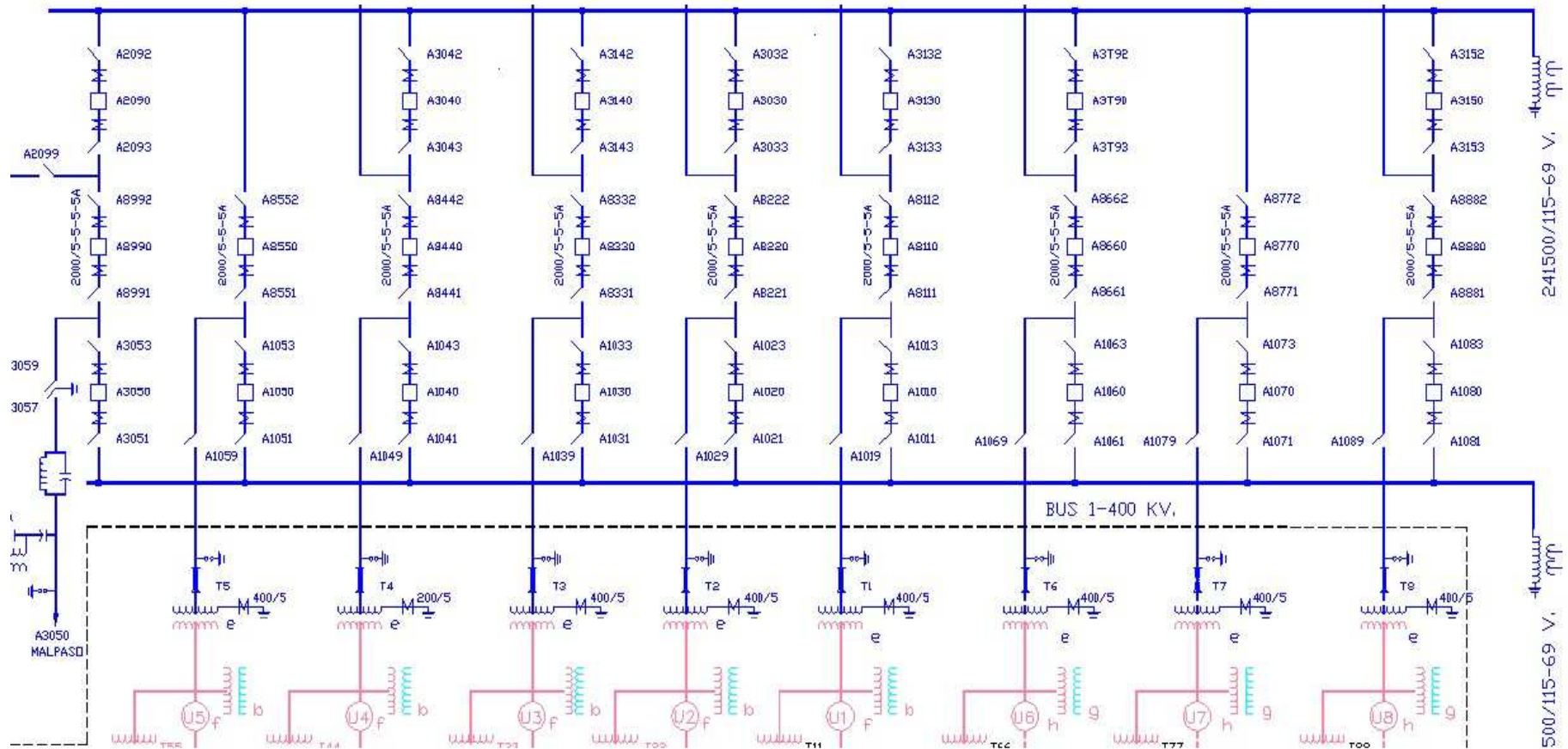
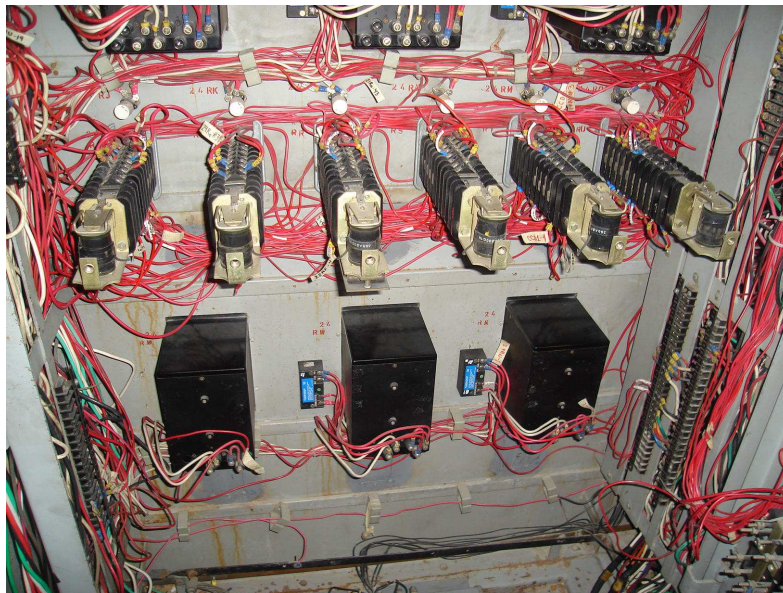
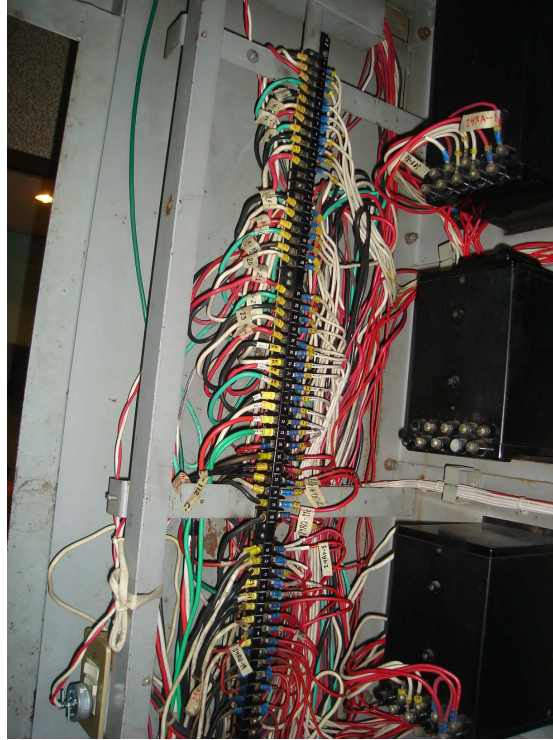


Diagrama unifilar

Los sistemas de protección electromecánicos aparte de ser menos confiables, se necesitaban de muchos elementos y grandes cantidades de cobre para la conexión entre los transformadores de instrumento y los relés.



En esta imagen se puede observar la cantidad de equipos necesarios para proteger al conjunto de una unidad. Estos relés se localizan en el dúplex de la Sala de Control desde ese punto se cablean hasta los TP's y TC's



En es ese gabinete se encuentran las nuevas protecciones, a diferencia de las protecciones electromecánicas, estos sistemas necesitan de un espacio y mantenimiento menor



Bibliografía

The art and science of protective relaying
C. Russell Mason

Curso de Mantenimiento de Generadores Hidroeléctricos
CFE

Protecciones Eléctricas II
CFE

Tutorial IEEE de Generadores Síncronos

Protecciones en las instalaciones eléctricas: evolución y perspectivas
Paulino Montané Sangrá

ANSI/IEEE C37.102-1995, "IEEE Guide for AC Generator Protection"
(Guía del IEEE para la Protección de generadores de CA).

Generator Protection M-3420, Integrated Protection System Beckwith
Electric, Manual de fabricante.

Protección de Generadores eléctricos
www.selinc.com.mx/

IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and
Commercial Power Systems