

TEMA I: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

INTRODUCCIÓN:

Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia:

- **Fallas** (cortocircuitos y contactos a tierra, asociadas al contacto de dos elementos bajo tensión normalmente a la perforación de un medio aislante)
 - **Regímenes anormales de operación** (sobrecargas, sobretensiones, desviaciones inadmisibles de la frecuencia, etc., asociadas normalmente a maniobras en la red o fenómenos climáticos)
- ➔ interrupciones de servicio y/o daños en el equipamiento ➔ (\$\$\$!!!).

Función principal del sistema de protección:

“Provocar la desconexión automática del elemento fallado o en régimen anormal, con el objetivo de reducir los daños de ese elemento y evitar que afecte la operación normal del resto del sistema”

Clasificación general de los dispositivos de protección:

- a) ***Relés que actúan sobre interruptores:***
instalaciones eléctricas de tensiones superiores a 1000 V; su principio de funcionamiento varía de acuerdo a la magnitud o magnitudes eléctricas a las cuales responde.
- b) ***Fusibles:*** se utilizan en instalaciones industriales y en redes de distribución y subtransmisión; más económico que los relés e interruptores.
- c) ***Reconectores o restauradores automáticos:***
se utilizan en redes de subtransmisión y distribución.
- d) ***Interruptores automáticos (térmicos, magnéticos o termo-magnéticos):*** se utilizan para la protección de instalaciones de tensión inferiores a 1000 V generalmente industriales y comerciales.

1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES UTILIZADOS LA TÉCNICA DE PROTECCIONES

Conciernen a las mediciones de calidad y filosofía de protección:

- Zonas de protección
- Protección primaria (o principal)
- Protección de respaldo (o backup)
- Protección contra otras condiciones anormales
- Protección dual
- Precisión
- Clase de precisión
- Confiabilidad: Seguridad y Dependabilidad
- Sensitividad, selectividad y velocidad
- Estabilidad del relé
- Protección dual
- Número de dispositivo

Zonas de protección

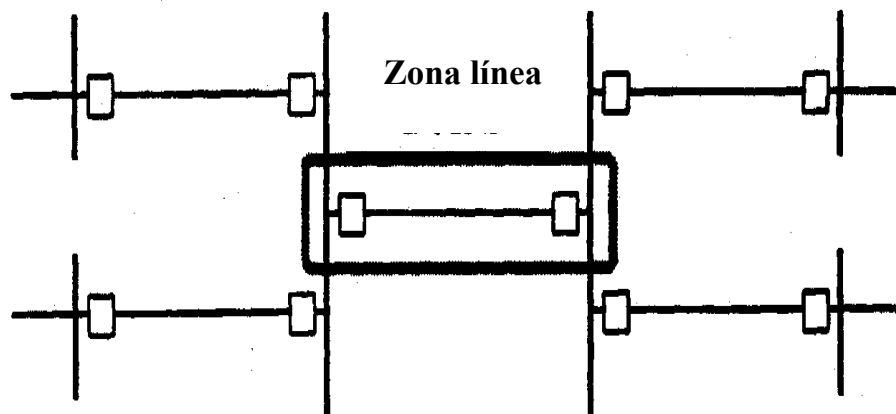


Fig. 1 Las zonas incluyen todos los interruptores asociados al equipo protegido

Con respecto a la zona de protección se destaca:

- La asociación con un componente de importancia (una línea en la fig. 1)
- Finaliza en un interruptor e incluye al mismo, el cual puede responder a señales de disparo de los relés asociados con la zona
- Representa una cantidad mínima del sistema que deba ser re-energizado para solucionar o corregir un problema dentro de la zona

- Éxito de diseño e implementación de una protección exitosa: ***considerar el sistema como una colección de zonas discretas que pueden ser protegidas en forma individual***
- Solapamiento de zonas (fig. 2)
- Es fundamental que todas las partes del sistema queden dentro de una zona de protección.

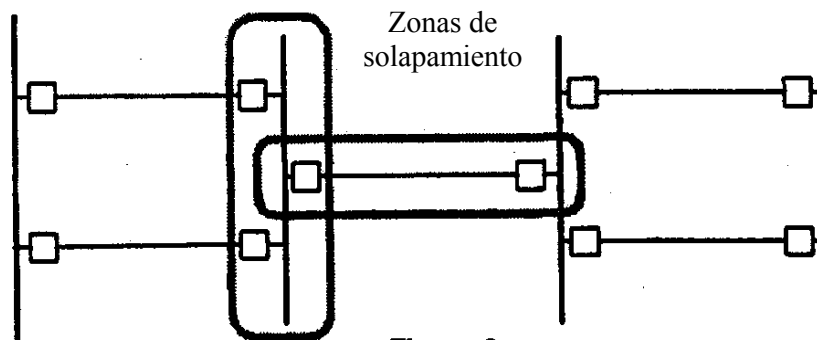


Fig. 2 Solapamiento de zonas

Protección primaria (o principal)

- Un sistema de protección que se diseña para operar, antes que respondan otros dispositivos provee protección primaria o principal.

Ejemplo:

- Relé diferencial: protección principal de un transformador
- Relé de sobrecorriente: opera si el relé diferencial falla al detectar la falla.

Protección de respaldo (o backup)

- Puede suceder que la protección principal falle al actuar (falla del relé o de la apertura del interruptor).
- Premisa: la falla de actuación de un dispositivo nunca resulte en la pérdida de la función de protección !!.
- Solución: Utilización de la técnica de la protección de respaldo (también llamado backup) que provee una segunda línea de defensa, sus formas pueden ser:
 - **Respaldo remoto**: los relés de una zona tienen la capacidad de detectar también el problema en zonas adyacentes; se aplica retardos de tiempos para asegurar la selectividad.

Ejemplo:

- El relé de distancia es normalmente la protección primaria de una línea de transmisión.
- Protección de respaldo por medio de otros relés de distancia, instalados en otras estaciones vecinas remotas
 - **Respaldo local:** pueden emplear diferentes principios de medición, fuentes de señal totalmente diferentes, disparar diferentes interruptores y temporizados respecto a los principales.

Ejemplo:

- Protección principal: sistema de comparación de fase
- Protección backup: relés de distancia instalados en la misma estación

-Protección contra otras condiciones anormales

- Está incluida en la categoría de protección primaria.

- No existe una disposición universal de solapamiento de las zonas de protección.
- Cada elemento del sistema es independientemente protegido por un relé o sistema de relés (los interruptores pueden ser distintos de los accionados por cortocircuitos).

Ejemplos:

- Relés de sobretensión ($U >$) o relé de frecuencia (subfrecuencia $f <$ o sobrefrecuencia $f >$)

Protección dual

- Sistemas dual de protección primaria (duplicados).
- Son mantenidos en forma independiente uno del otro.
- Pueden estar conectado a sus propios TC, TV, bobinas de disparo y fuentes de alimentación de los interruptores.
- Tales sistemas son comúnmente referenciados como Sistema A o 1 de protección y Sistema B o 2 de protección.

Ejemplo:

Línea de transmisión protegida por:

- un sistema de protección diferencial que opera en 10 ms a 15 ms (Sistema A)
- y un sistema de protección de distancia con transferencia de disparo, el cual se espera que opere en un tiempo comparable (Sistema B).

Precisión

Se utiliza para dos propósitos diferentes:

- para describir la precisión del dispositivo (grado en el cual un dispositivo satisface una norma aceptada)
- otro para especificar la precisión de una medición específica (diferencia entre la medición y los valores reales de una cantidad)

Ejemplo:

- Relé con precisión $\pm 5\%$ → el relé debería operar cuando magnitud de excitación (corriente o tensión) esté entre -5% y $+5\%$ de su ajuste.

Considérese el caso de la fig. 3:

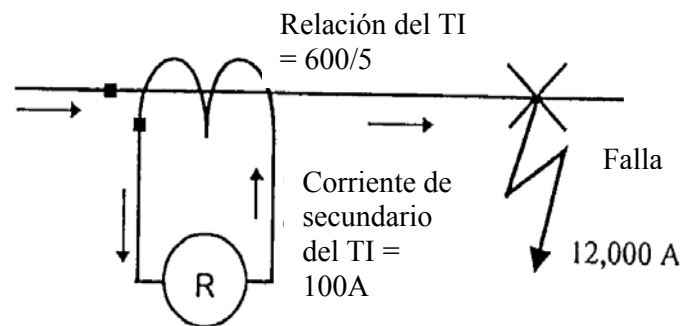


Fig. 3 Una línea protegida por un relé de sobrecorriente

- Cuando la corriente de falla es de 12000 A, la corriente en el relé será de 100 A.
- Si la precisión del relé es $\pm 5\%$, este podría interpretar que la corriente este en cualquier nivel desde 95 A a 105 A.
- Con ajuste en 100 A, puede o no operar dependiendo de su interpretación del nivel de corriente en el circuito.

Clase de precisión

- Definición de la calidad de la performance en estado estacionario de un transformador de corriente TI.
- Distinción según las Normas ANSI:
 - Clase C si se calcula o clase T si es obtenida por test físicos
 - Seguida un número que es la tensión máxima en los terminales secundarios que el TI producirá, a 20 veces la corriente nominal del secundario con no más de 10% de error.

Ejemplos: TI clase C de 10% de error son: C100, C200, C400 y C800. Hasta ahora no hay clase de precisión mayor que C800.

Confiabilidad

- **Definición**: Índice que expresa el atributo de un dispositivo o sistema de protección de operar correctamente (o de no operar u operar en forma incorrecta).

- La confiabilidad se expresa en términos de : dependabilidad y seguridad.
 - **Dependabilidad:** expresa el grado de certeza de que un dispositivo operará correctamente. A nivel sistema de relés o dispositivos, la dependabilidad es asegurada utilizando sistemas de protección redundantes y relés o dispositivos de respaldo o backup.

Ejemplo:

- La protección primaria de una línea: tipo de comparación de fase.
- Para mejorar el índice de dependabilidad del esquema podría incluirse relés de distancia que actúen como backup.
- **Seguridad:** expresa el grado d certeza de que un dispositivo no operará incorrectamente

Ejemplo:

- Un relé diferencial protege un transformador

- El índice de seguridad es el grado de certeza de que el relé no operará para fallas fuera de la zona del transformador.

Sensitividad, selectividad y velocidad

- **Sensitividad**: expresa diferentes atributos de los dispositivos.
 - Relación entre la respuesta del dispositivo con respecto al cambio de la entrada.
 - En la protección de sistemas de potencia: mínimo valor de una entrada (o cambio de una entrada) que produciría la operación de un relé o dispositivo.

Ejemplo: Un relé direccional de tierra instantáneo diseñado para operar a una corriente mínima de 0.5 A será clasificado como que tiene una sensitividad de 0.5 A.

- **Selectividad**: capacidad de los dispositivos de protección para diferenciar entre aquellas condiciones para las cuales se requiere operación y

aquellas para las que no se requiere operación o se requiere una operación con retardo temporal.

Ejemplo: Un relé actuando como backup de otros debe temporizarse con respecto a estos para permitir los mismos actúen primero ante fallas en sus componentes protegidos.

- **Velocidad:** se mide por el tiempo que demora la misma en emitir la orden de apertura a los interruptores, en el caso de relés, o el que toma ella misma en despejar la falla, en el caso de fusibles y reconectores.
- **Objetivo principal del sistema de protección:**
“Despejar el elemento fallado del sistema tan rápido como sea posible, por medio de las protecciones principales (mínimo tiempo de actuación = máxima velocidad)”
- **Objetivo secundario del sistema de protección:**
“Función de respaldo, la cual debe ser selectiva no actuando en forma simultánea con las principales
→ tiempo mayor o velocidad menor”.

Estabilidad del un relé

- Un relé es considerado estable si, partiendo de un estado estacionario, retorna al mismo estado estacionario luego de la introducción y remoción de entradas que representan un disturbio en el sistema al cual está conectado.

Ejemplo: Sistema de relés que experimenta una pérdida momentánea del suministro de corriente continua. Si el mismo retorna a un modo de estado estacionario normal en la restauración del suministro, el relé es considerado como estable.

Número de dispositivo (Codificación internacional)

- Se utiliza nomenclaturas y números de dispositivos especificados en la Norma ANSI/IEEE C37.2 (ver anexo A).
- Se asigna un número para cada tipo de relé e instrumento.

- Las fases son identificadas como A, B, C o a, b, c. (los numerales 1, 2 y 3 no son utilizados normalmente 1 para identificar la secuencia positiva, 2 para la secuencia negativa)

Tabla 1 Código de relés y su función

Código numérico	Descripción
21	Relé de distancia
24	Relé de sobreexcitación o sobreflujo en transformadores o generadores
25	Relé de sincronización o chequeo de sincronismo
26	Dispositivo térmico
27	Relé de subtensión
32	Relé direccional de distancia
37	Relé de subcorriente
40	Relé de campo de excitación
41	Interruptor de circuito de campo
46	Relé de secuencia negativa
49	Relé térmico
50	Relé de sobrecorriente instantáneo
51	Relé de sobrecorriente temporizado
52	Interruptor de circuito
55	Relé de factor de potencia
59	Relé de sobretensión
63	Relé de presión, por flujo o nivel de líquido o gases
64	Relé de fallas a tierra
67	Relé direccional de sobrecorriente
68	Relé de bloqueo
74	Relé de alarma
81	Relé de frecuencia
85	Relé receptor de portador de onda
86	Relé de cierre
87	Relé diferencial
94	Relé de disparo auxiliar

2. TIPOS DE SOLICITACIONES

2.1 SOBRECORRIENTE

Causas:

- Consecuencia de un cortocircuito, producido por la perforación de la aislación (corriente queda limitada solamente por la impedancia del sistema eléctrico)

Ejemplos:

- perforación de la cobertura aislante de arrollamientos de transformadores y generadores, (contacto de conductores con las partes metálicas o contacto entre conductores)
- descargas través de cadenas de aisladores producidas por suciedad o contaminación, en líneas de alta tensión
- contactos metálicos entre fases a causa de caídas de torres o desprendimiento de fases.

Consecuencias:

- Solicitaciones térmicas (Efecto Joule $I^2 \cdot R$)
- Solicitaciones mecánicas (esfuerzos mecánicos proporcionales al cuadrado de la corriente)

Ejemplos:

- Deformaciones de las espiras de los arrollamientos de los transformadores
- Pérdida de las propiedades conductoras del cobre
- Incendios debido a descargas en medios inflamables.
- El cambio de corrientes de cargas normales a corrientes de cortocircuito ocurre rápidamente atravesando un proceso transitorio.
- Están compuestas por dos componentes: una corriente alterna simétrica y una componente continua

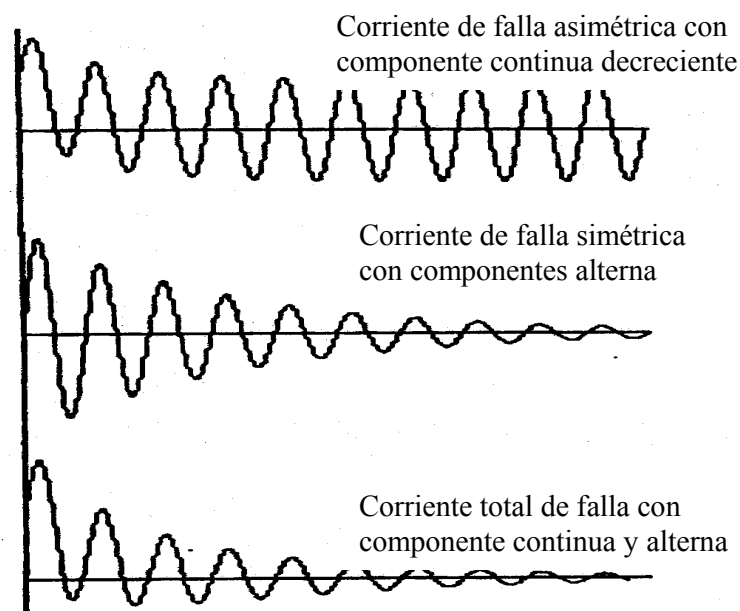


Fig. 4 Corrientes de cortocircuito incluyendo componentes alternas y continuas con atenuación en el tiempo

2.2 SOBRECARGA

- Definición: demanda de carga excesiva reflejada en el sistema de transmisión.
- El efecto indeseable es solamente un fenómeno de disipación térmica (Efecto Joule $I^2 \cdot R$)
- Son de importancia, desde el punto de vista de las protecciones, en sistemas de baja tensión, y de menor importancia en sistemas de media y alta tensión.

Ejemplo: conexión a la salida de un transformador de una carga mayor que su potencia nominal.

Ejemplo: contacto a tierra permanente a través de un elemento de alta resistencia (caída de una fase de sobre arbustos); el contacto puede producir una elevación de la corriente que sobrecargue algunos componentes.

2.3 INTERRUPCIÓN DE FASE

- También llamada fase abierta, provoca un desbalance de corrientes que origina componentes de secuencia negativa

- Estas tienen injerencia en máquinas rotantes (motores y generadores de gran potencia) produciendo un sobrecalentamiento anormal del rotor.

2.4 FRECUENCIAS Y TENSIONES ANORMALES

- Se originan como consecuencia de alguna perturbación que puede o no abarcar todo el sistema, (cortocircuito, pérdida de un vínculo importante de interconexión, etc..)
- **Sobretensiones:** pueden tener origen externo o interno (acortan la vida de los elementos aislantes y acelerar la perforación de la misma.
 - Las de origen externo son consecuencia de fenómenos atmosféricos.
Ejemplo: descarga de un rayo sobre una línea, que provoca ondas viajeras de sobretensión muy breves (millonésimas de segundo hasta décimas de milisegundo)
 - Las de origen interno son consecuencia de cortocircuitos o a maniobras automáticas o

manuales (algunos milésimos de segundo hasta un segundo).

Ejemplo: procedimiento de energización de una línea de alta tensión larga (elevación de la tensión en el extremo opuesto abierto)

- **Subtensiones:** resultan en sobrecargas, principalmente para las fuentes de generación.

Ejemplo: déficit de potencia reactiva inductiva en una barra que provoca la caída de la tensión en forma local o que afecte a una región.

- **Frecuencias anormales:** son indicativas de un desbalance entre carga y generación (Si $P_{\text{carga}} > P_{\text{gen}} \rightarrow f <$, si $P_{\text{carga}} < P_{\text{gen}} \rightarrow f >$)

Ejemplo: desconexión de carga a través de relés de frecuencia, debido a un déficit de generación.

Ejemplo: activación de los sistemas de desconexión automática de generación (sistemas DAG) cuando se pierde la capacidad parcial o total de transmitir.

2.5 CRITERIOS DE PROTECCIÓN

- Existen numerosos procedimientos de medición o criterios de protección dependiendo del elemento protegido.
- Con el tiempo ha variado la forma de medición y procesamiento pero ha permanecido la idea básica en cada caso (los procesos eléctricos son independientes del tipo de dispositivo)
- La corriente, tensión, impedancia, ángulo de fase, diferencial, frecuencia, armónicas, dirección de la potencia, entre otras, son magnitudes de utilidad general como criterios de actuación.
- En las tablas 2 a 5 se resumen los distintos criterios aplicados en la técnica de protecciones.

Tabla 2 Criterios de decisión basados en valores umbrales, derivados de una magnitud física de entrada

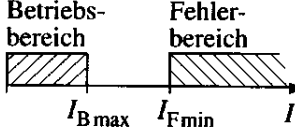
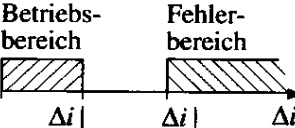
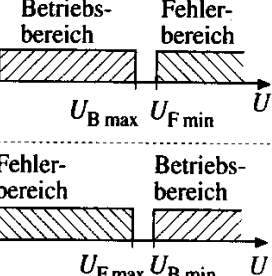
Criterio → Análisis ↓	Corriente	Incremento de corriente	Tensión
Principio básico	Medición de corriente	Medición de $\frac{\Delta i}{\Delta t}$	Medición de tensión
Condición de actuación	$I_{med} > I_{ref}$	$\frac{\Delta i}{\Delta t} _{med} > \frac{\Delta i}{\Delta t} _{ref}$	$U_{med} > U_{ref}$ $U_{med} < U_{ref}$
Rango de valores de las magnitudes en operación normal y falla (Utilidad)	 $I_{Fmin} \geq K_S \left(1 + \frac{F_{ri}}{100\%}\right) I_{Bmax}$ K_S Factor de seguridad F_{ri} Error de medición		
Implementación	- Oscilación fundamental $I_{50} > I_{ref}(50Hz)$ - Valor pico $\hat{i}_{50} > \sqrt{2} * I_{ref}(50Hz)$ - Valor instantáneo $i(t) > I_{ref}(50Hz)$ Magnitudes de corriente derivadas: $(3I_o)$ (I_2)	Evaluación de las magnitudes efectivas: Por ej.: $\Delta I_{med} = I(t) - I(t - T)$ $\frac{\Delta I_{med}}{T} > \frac{\Delta I_{ref}}{T}$	- Principio análogo al criterio de corriente - Evaluación de la tensión de secuencia cero ($3U_o$)

Tabla 3 Criterios de decisión basados en valores umbrales, derivados de la combinación de una o varias magnitudes físicas de entrada

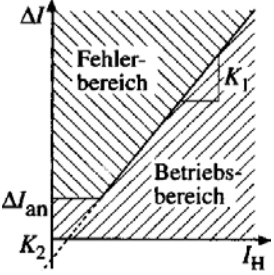
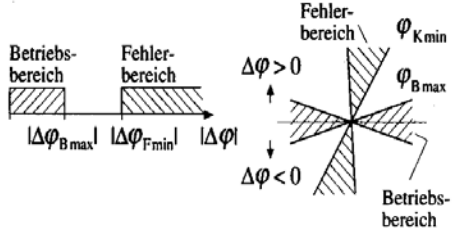
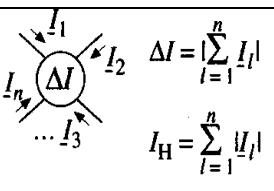
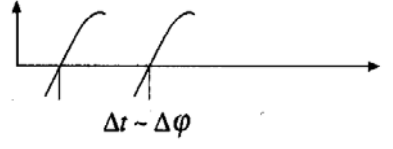
Criterio →	Diferencial de corriente		Diferencia de ángulo de fase	
	Con estabilización		Entre varias magnitudes iguales de entrada	Entre dos magnitudes distintas de entrada
Análisis ↓				
Principio básico	Condición de nodo: $\Delta I = \sum_{c=1}^n i_c$		Máxima diferencia de ángulo de las magnitudes en el nodo	Medición de la diferencia de ángulo
Condición de actuación	$\Delta I > I_a$ y $\Delta I > K_1 I_H + K_2$		$ \Delta \varphi > \Delta \varphi_{ref} $	$ \Delta \varphi > \Delta \varphi_{ref} $ o $\text{sgn}(\Delta \varphi)$
Rango de valores de las magnitudes en operación normal y falla (Utilidad)				
Implementación			Determinación de la separación entre pasos por cero en el mismo sentido	
	Caso especial $n = 2$ $I_1 \rightarrow \Delta I \leftarrow I_2$ $\Delta I = I_1 + I_2 , I_H = I_1 - I_2$ $\Delta i(t), i_H(t) \rightarrow \Delta I, I_H$			

Tabla 4 Criterios de decisión basados en valores umbrales, derivados de la combinación de dos magnitudes físicas de entrada

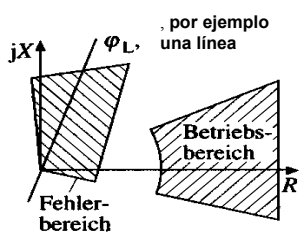
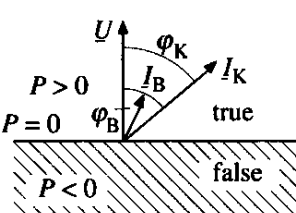
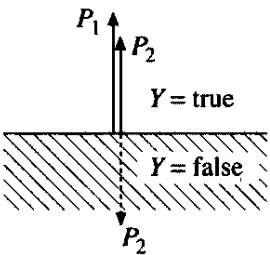
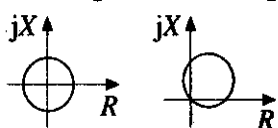
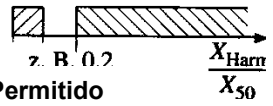
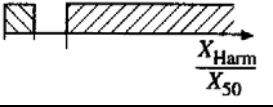
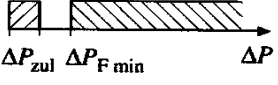
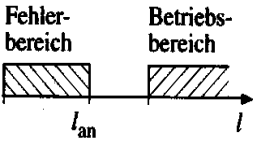
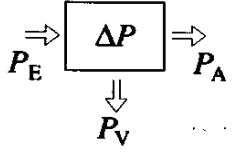
Criterio → Análisis ↓	Impedancia	Dirección de la potencia activa	Comparación direccional (de la potencia activa)
Principio básico	$Z = \frac{U}{I}$	$V_Z(P)$	$Y = V_Z(P_1) * V_Z(P_2)$
Condición de actuación	$Z_{med} \in \{Z_{fallas}\}$	$V_Z(P) > 0$ Def.:  = positivo (true)	$Y = true$
Rango de valores de las magnitudes en operación normal y falla (Utilidad)			
Implementac.	- Medición de magnitudes complejas $Z = R + jX$ $Z = Z * e^{j\varphi_z}$ - Evaluación de los valores 	- Ecuación de definición $P = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t u(t)i(t)dt$ + Filtro de las magnitudes de medición (Filtro FIR) $\Rightarrow P \Rightarrow V_Z(P)$ - Determinación de la dirección $V_Z(P) = \sum_{k=1}^N V_Z(u_k)V_Z(i_k)$	- Evaluación del criterio de direccionalidad de la potencia activa - Nuevo: determinación de la dirección a partir de ondas de tensión y corriente $Y = V_Z(u(t)) * V_Z(i(t))Z_w$

Tabla 5 Criterios de decisión basados en valores umbrales, derivados de la combinación de dos magnitudes físicas de entrada

	Criterio adicional	Nuevos criterios	
Criterio→ Análisis ↓	Análisis de armónicos	Diferencia de potencia activa	Ondas viajeras
Principio básico	Determinación de las componentes de frecuencia	Condición de nodo referida a la potencia activa	Medición de la distancia por medio del tiempo de propagación de la señal
Condición de actuación	Dependiente de la aplicación $\frac{X_{Harm}}{X_{50}} \Big _{meB} \gtrless \frac{X_{Harm}}{X_{50}} \Big _{ref}$	$\Delta P > P_{ref}$	$l < l_{ref}$
Rango de valores de las magnitudes en operación normal y falla (Utilidad)	I: $>$ (por ej. estabilización de conexión)  II: $<$ (por ej. contacto a tierra del centro de estrella del generador) 		

Implementación	- Realización del análisis de Fourier $X_{\text{Harm}} = \sqrt{X_{r\text{Harm}}^2 + X_{i\text{Harm}}^2}$ - Filtros selectivos de frecuencias - Filtros FIR con los correspondientes coeficientes - Pasabandas por medio de filtros IIR	 $\Delta P = P_E - P_A - P_V$ ideal: $\Delta P = 0$ $\neq : \Delta P > 0$ Medición de P: ver dirección de la potencia activa	Evaluación de las señales de tensión: $l = v * \Delta t$ - v: velocidad de propagación (debe ser medida) - Δt: Tiempo de propagación de la onda
------------------------------	--	--	--

2.5.1 CORRIENTE O IMPEDANCIA A NIVEL COMPONENTE

- En relación con la Zona de Protección: solamente puede detectar que existe una anomalía, sino también determinar su localización en forma aproximada o exacta.
- Medición de Corriente:
 - Con la se que detecta más fácilmente la presencia de una falla;
 - Se utiliza en la amplia mayoría de los esquemas de protección y casi exclusivamente en 33kV e inferiores.
- Medición de la impedancia (relación entre la tensión y la corriente medida):
 - Estimación directa de la separación eléctrica entre el relé y el punto de falla del sistema.
 - Más complicada y más cara (se requiere medición de tensión)
 - Aplicación restringida a sistemas de nivel de tensión de 66kV y mayores.

2.5.2 TENSIÓN Y FRECUENCIA A NIVEL SISTEMA

- Medición de tensión y frecuencia:
 - detectan que algo inusual está sucediendo en el sistema
 - no brinda indicación de la localización del problema
 - son criterios de protección global del sistema, igualmente importantes.

2.5.3 DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE DE FALLA

- La operación rápida, segura y selectiva del sistema de protección en redes malladas o con múltiples fuentes requiere determinar la dirección del flujo de corriente de falla.

Ejemplo: Línea de transmisión de una red mallada protegida por un relé; pueden circular corrientes de falla por el lugar de medición del relé, tanto para fallas del lado de la línea (delante del relé) como para fallas del lado de la barra (detrás del relé). Si no se desea que el relé opere para fallas en el sistema que se produzcan detrás de él, deber ser luego restringido a

operar solo para fallas del lado de la línea y hay que determinar el sentido de la corriente de falla.

- Se requiere relés direccionales: principio básico es la comparación de fase de la corriente de falla con respecto a una referencia de tensión denominada tensión de polarización.

Ejemplo: Un esquema muy utilizado basado un sistema operando con un factor de potencia unitario donde la corriente de fase y la tensión de fase a tierra están en fase, y la corriente de fase adelanta 90° grados respecto a la tensión fase – fase (figura 1.5).

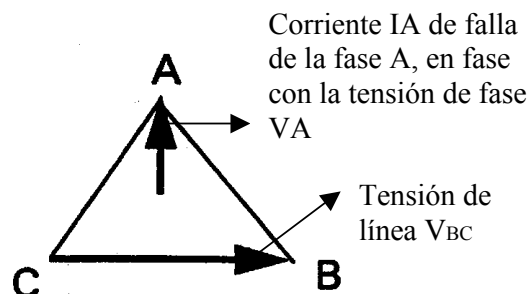


Fig. 5 Relaciones básicas de los fasores: La corriente de fase adelanta 90° grados a la tensión de línea

- Se requiere adicionalmente la medición de tensión en el lugar de instalación del relé ➔ \$\$\$!!!

2.5.4 CORRIENTE DIFERENCIAL

- Es muy sencilla en sus principios, inherentemente segura, altamente confiable, rápida, y razonablemente económica.
- Principio: extensión de la ley de Kirchoff de las corrientes “ la suma de todas las corrientes dentro de una región debe ser igual a cero”
- Se instalan TI en cada extremo o terminal de la zona protegida y conectada en forma conjunta.

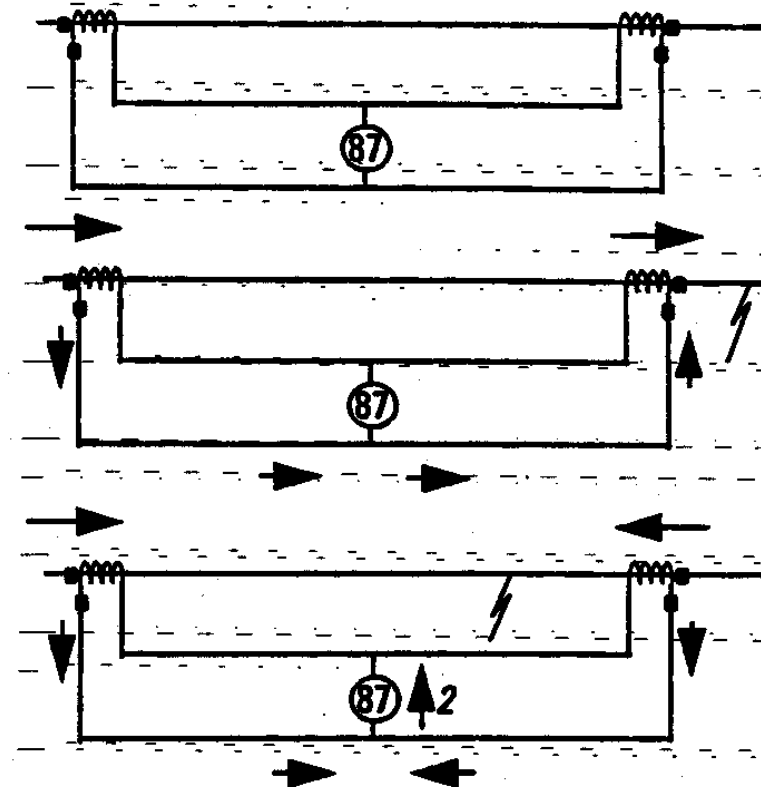


Fig. 6 Operación básica de los relés diferenciales

3. CLASIFICACIÓN DE LOS RELÉS

Tabla 6 – Clasificación de los relés de protección

Función general	Construcción	Señales entrantes	Principio de protección
• Auxiliar • Protección • Monitoreo	• Electromagnético • Estado sólido • Microprocesados • No eléctrico (térmico, presión, etc..)	- Eléctrica - Directas • Corriente • Tensión - Eléctricas - Indirectas derivadas • Potencia • Frecuencia - No Eléctricas • Temperatura • Presión • Velocidad • Otros	• Sobrecorriente • Sobrecorriente direccional • Distancia • Sobretensión • Diferencial • Frecuencia • Otros (ver pto. 2.5)

3.1 RELÉS ELECTROMAGNETICOS

- Componentes eléctricos, magnéticos y mecánicos
- Tienen una bobina de operación y diversos contactos y son muy robustos y confiables.

- Pueden clasificarse en tres grupos: de atracción, de bobina móvil y de inducción

3.1.1 RELÉS DE ATRACCIÓN

- Operan por el movimiento de una pieza de metal cuando es atraída por el campo magnético producido por la bobina.
- Hay dos tipos principales de relés de esta clase
Tipo Armadura:

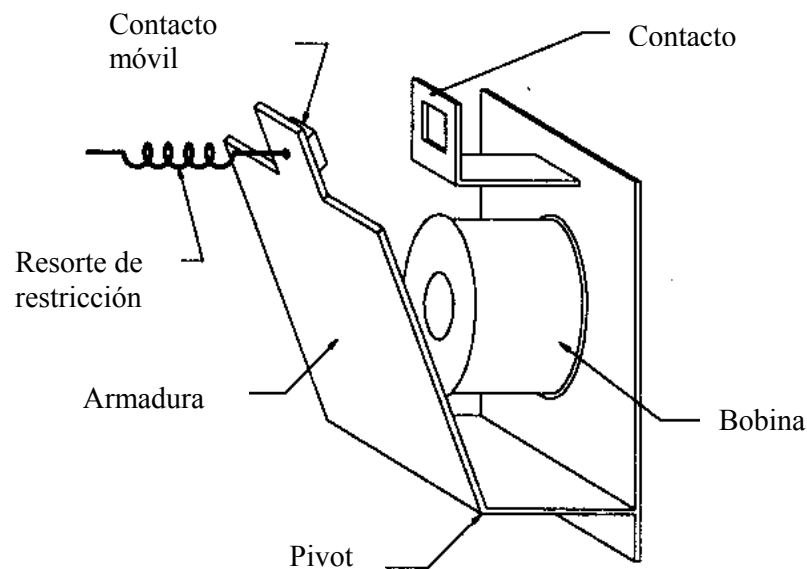


Fig. 7 Relé tipo armadura

- La armadura transporta la parte móvil del contacto cuando la misma.

Tipo Solenoide:

- El pistón también transporta los contactos de operación.

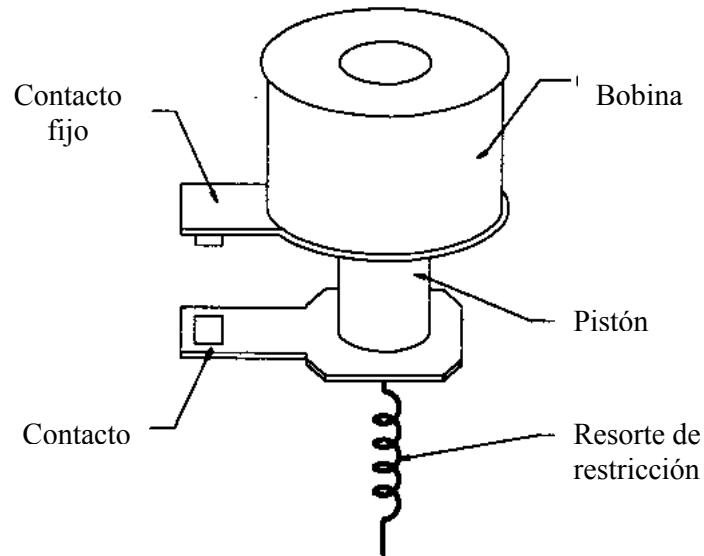


Fig. 8 Relé tipo solenoide

Se puede demostrar que la fuerza de atracción es

$$K_1 I^2 - K_2,$$

donde:

K_1 : función del número de espiras del solenoide de operación, del entrehierro, el área efectiva y la reluctancia del circuito magnético, entre otros factores.

K_2 : es la fuerza de restricción, usualmente producida por un resorte.

- Cuando el relé está balanceado, la fuerza resultante es cero $\rightarrow K_1 I^2 = K_2$
- Ajuste del valor de operación: variando la tensión de restricción del resorte o la resistencia del circuito del solenoide.
- No tienen retardo de tiempo $\rightarrow$ son usados cuando se requiere operación instantánea.

3.1.2 RELÉS CON BOBINAS MÓVILES

- Principio: movimiento de rotación de una pequeña bobina suspendida o pivoteada con la libertad de rotar entre los polos de un imán permanente.
- La bobina es restringida por dos resortes que también sirven como medio para transportar la corriente a la bobina.
- El torque de rotación producido es:

$$T = B L a N I \quad (1.1)$$

Donde:

T = torque

B = densidad de flujo

L = largo de la bobina

a = diámetro de la bobina

N = número de espiras de la bobina

i = corriente en la bobina

- Se ve que el torque desarrollado es proporcional a la corriente.
- La velocidad de movimiento controlada por la acción de amortiguamiento que es proporcional al torque → característica de tiempo inverso !!!

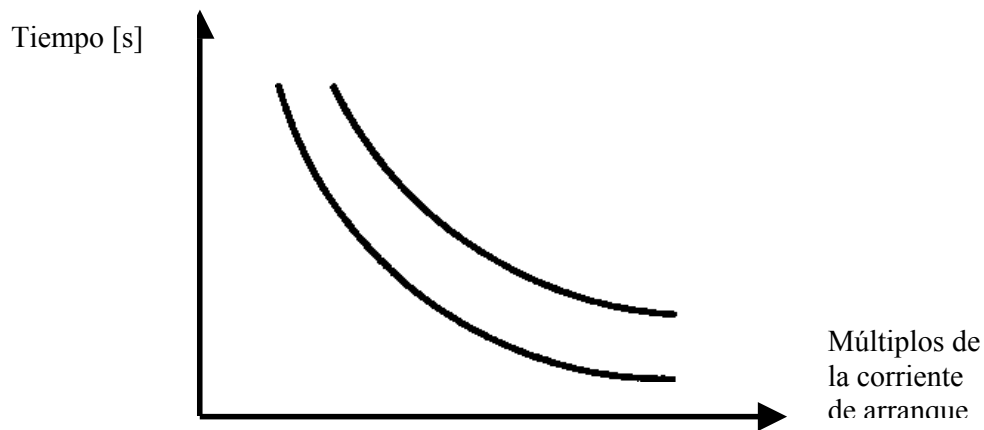


Fig. 9 Característica de tiempo inversa

3.1.3 RELÉS DE INDUCCIÓN

- Consiste de un sistema electromagnético el cual opera en un conductor movable, generalmente en la forma de disco

Funciona a través de la interacción del flujo magnético con las corrientes parásitas que se inducen en el rotor debido a tales flujos.

Esos dos flujos que están mutuamente desplazados en ángulo y posición producen un torque que puede expresarse como:

$$T = K_1 * \Phi_1 * \Phi_2 * \text{sen} \theta$$

donde:

Φ_1 y Φ_2 : son los flujos interactuantes

θ : ángulo entre los flujos interactuantes

El torque es máximo cuando los flujos están a 90° y cero cuando están en fase.

Formas constructivas:

i) relé de polo sombreado

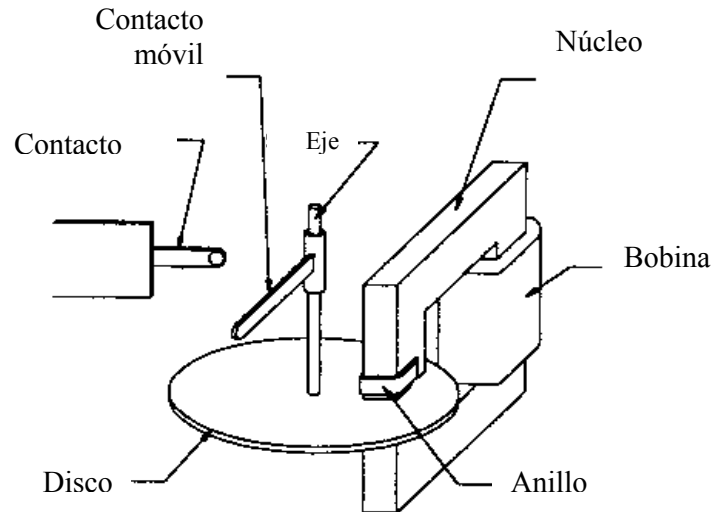


Fig. 11 Relé de polo sombreado

ii) Relé tipo wattímetro

Usa una disposición de bobinas abajo y arriba del disco con las bobinas superior e inferior alimentadas con magnitudes diferentes .

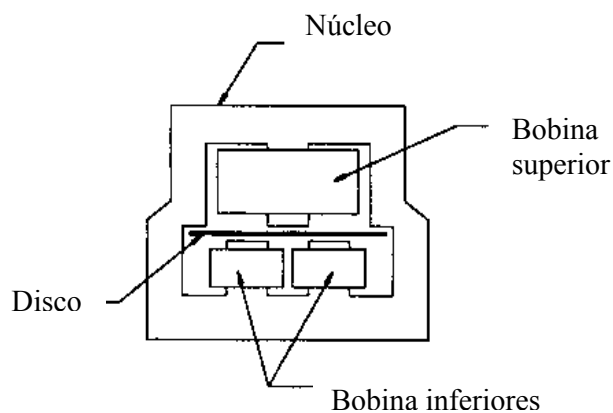


Fig. 12 Relé tipo wattímetro

3.1.4 RELÉS DE ESTADO SÓLIDO O ANALÓGICOS

- Filtrado de la señal alterna obtenida del TI
- Rectificación de la misma
- Procesamiento por medio de integradores y/o derivadores que constituyen la lógica de actuación del relé.
- Con detectores de niveles de señal se habilita o no la operación de relés auxiliares que accionan interruptores de potencia u otros relés de control o alarma.

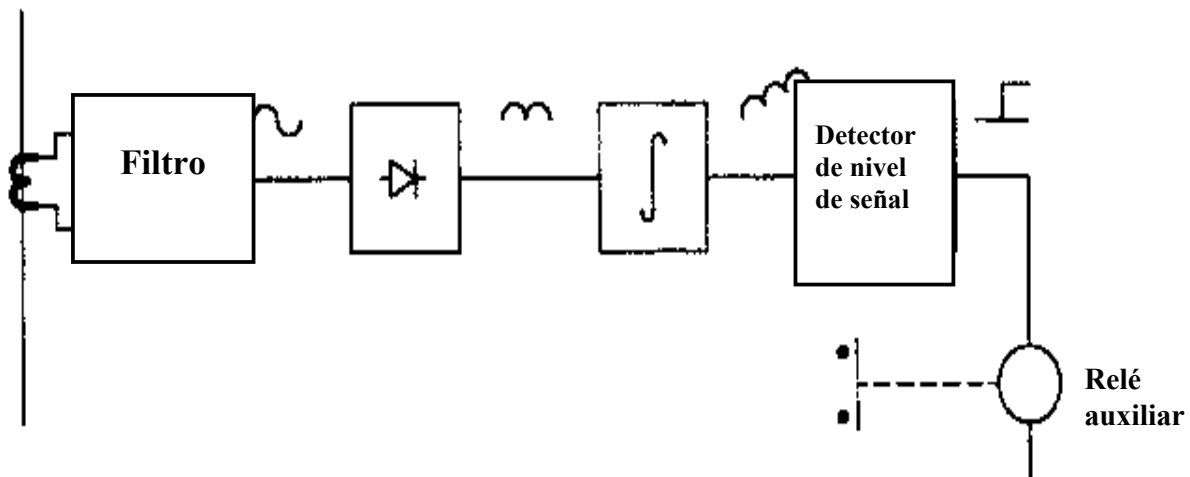


Fig. 13 Principio de los relés analógicos o estáticos

3.1.5 RELÉS MICROPROCESADOS O RELÉS DIGITALES

Primeras investigaciones: años 60

La utilización de software para protección fue el último paso en este sentido → desarrollo de algoritmos matemáticos de protección más sofisticados a medida que el hardware ha ido avanzando.

Ventajas: confiabilidad, auto-diagnóstico, registro de eventos y disturbios en el sistema y la posibilidad de desarrollo de protecciones adaptativas.

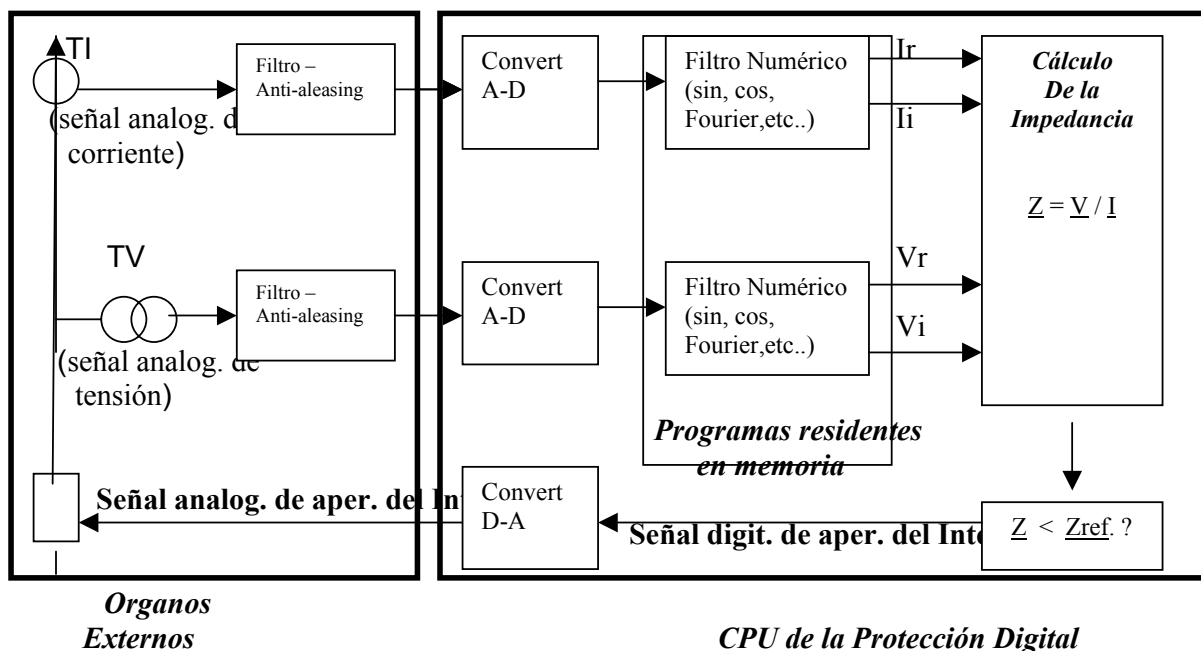


Fig. 14 Principio de funcionamiento de las protecciones digitales

Apéndice A

IEEE ANSI Device Definitions IEEE Device Numbers and Functions For Switchgear Apparatus Selections from ANSI C37.2-1991

2 Time-delay starting or closing relay is a device that functions to give a desired amount of time delay before or after any point of operation in a switching sequence or protective relay system, except as specifically provided by device functions 48, 62, and 79.

3 Checking or interlocking relay is a relay that operates in response to the position of a number of other devices (or to a number of predetermined conditions) in an equipment, to allow an operating sequence to proceed, or to stop, or to provide a check of the position of these devices or of these conditions for any purpose.

12 Overspeed device is usually a direct-connected speed switch which functions on machine overspeed.

14 Underspeed device is a device that functions when the speed of a machine falls below a predetermined value.

21 Distance relay is a relay that functions when the circuit admittance, impedance, or reactance increases or decreases beyond a predetermined value.

24 Volts per hertz relay is a relay that functions when the ratio of voltage to frequency exceeds a preset value. The relay may have an instantaneous or a time characteristic.

25 Synchronizing or synchronism-check device is a device that operates when two ac circuits are within the desired limits of frequency, phase angle, and voltage, to permit or to cause the paralleling of these two circuits.

26 Apparatus thermal device is a device that functions when the temperature of the protected apparatus (other than the load-carrying windings of machines and transformers as covered by device function number 49), or of a liquid or other medium exceeds a predetermined value; or when the

temperature of the protected apparatus or of any medium decreases below a predetermined value.

27 Undervoltage relay is a relay which operates when its input voltage is less than a predetermined value.

30 Annunciator relay is a nonautomatically reset device that gives a number of separate visual indications upon the functioning of protective devices, and which may also be arranged to perform a lockout function.

32 Directional power relay is a relay which operates on a predetermined value of power flow in a given direction, or upon reverse power flow such as that resulting from the motoring of a generator upon loss of its prime mover.

36 Polarity or polarizing voltage device is a device that operates, or permits the operation of, another device on a predetermined polarity only, or verifies the presence of a polarizing voltage in an equipment.

37 Undercurrent or underpower relay is a relay that functions when the current or power flow decreases below a predetermined value.

38 Bearing protective device is a device that functions on excessive bearing temperature, or on other abnormal mechanical conditions associated with the bearing, such as undue wear, which may eventually result in excessive bearing temperature or failure.

39 Mechanical condition monitor is a device that functions upon the occurrence of an abnormal mechanical condition (except that associated with bearings as covered under device function 38), such as excessive vibration, eccentricity, expansion, shock, tilting, or seal failure.

40 Field relay is a relay that functions on a given or abnormally low value or failure of machine field current, or on an excessive value of the reactive component of armature current in an ac machine indicating abnormally low field excitation.

46 Reverse-phase or phase-balance current relay is a relay that functions when the polyphase currents are

of reverse-phase sequence, or when the polyphase currents are unbalanced or contain negative phase-sequence components above a given amount.

47 Phase-sequence or phase-balance voltage relay is a relay that functions upon a predetermined value of polyphase voltage in the desired phase sequence or when the polyphase voltages are unbalanced or when the negative phase-sequence voltage exceeds a given amount.

48 Incomplete sequence relay is a relay that generally returns the equipment to the normal, or off, position and locks it out if the normal starting, operating, or stopping sequence is not properly completed within a predetermined time.

49 Machine or transformer thermal relay is a relay that functions when the temperature of a machine armature winding or other load-carrying winding or element of a machine or power transformer exceeds a predetermined value.

50 Instantaneous overcurrent relay is a relay that functions instantaneously on an excessive value of current.

51 AC time overcurrent relay is a relay that functions when the ac input current exceeds a predetermined value, and in which the input current and operating time are inversely related through a substantial portion of the performance range.

52 AC circuit breaker is a device that is used to close and interrupt an ac power circuit under normal conditions or to interrupt this circuit under fault or emergency conditions.

55 Power factor relay is a relay that operates when the power factor in an ac circuit rises above or falls below a predetermined value.

56 Field application relay is a relay that automatically controls the application of the field excitation to an ac motor at some predetermined point in the slip cycle.

59 Overvoltage relay is a relay which operates when its input voltage is more than a predetermined value.

60 Voltage or current balance relay is a relay that operates on a given difference in voltage, or current input or output, of two circuits.

62 Time-delay stopping or opening relay is a time-delay relay that serves in conjunction with the device that initiates the shutdown, stopping, or opening operation in an automatic sequence or protective relay system.

63 Pressure switch is a switch which operates on given values, or on a given rate of change, of pressure.

64 Ground detector relay is a relay that operates on failure of machine or other apparatus insulation to ground. Note: This function number is not applied to a device connected in secondary circuit of current transformers in a normally grounded the power system, where other device numbers with a suffix G or N should be used, that is, 51N for an ac time overcurrent relay connected in the secondary neutral of the current transformers.

67 AC directional overcurrent relay is a relay that functions on a desired value of ac overcurrent flowing in a predetermined direction.

68 Blocking relay is a relay that initiates a pilot signal for blocking of tripping on external faults in a transmission line or in other apparatus under predetermined conditions, or cooperates with other devices to block tripping or to block reclosing on an out-of-step condition or on power swings.

74 Alarm relay is a relay other than an annunciator, as covered under device function 30, that is used to operate, or to operate in connection with, a visual or audible alarm.

76 DC overcurrent relay is a relay that functions when the current in a dc circuit exceeds a given value.

77 Telemetering device is a transmitter used to generate and transmit to a remote location an electrical signal representing a measured quantity, or a receiver used to receive the electrical signal from a remote transmitter and convert the signal to represent the original measured quantity.

78 Phase-angle measuring or out-of-step protective relay is a relay that functions at a predetermined phase angle between two voltages or between two currents or between voltage and current.

79 AC reclosing relay is a relay that controls the automatic reclosing and locking out of an ac circuit interrupter.

80 Flow switch is a switch which operates on given values, or on a given rate of change, of flow.

81 Frequency relay is a relay that responds to the frequency of an electrical quantity, operating when the frequency or rate of change of frequency exceeds or is less than a predetermined value.

84 Operating mechanism is the complete electrical mechanism or servomechanism, including the operating motor, solenoids, position switches, etc., for a tap changer, induction regulator, or any similar piece of apparatus which otherwise has no device function number.

85 Carrier or pilot-wire receiver relay is a relay that is operated or restrained by a signal used in connection with carrier-current or dc pilot-wire fault relaying.

86 Lockout relay is a hand or electrically reset auxiliary relay that is operated upon the occurrence of

abnormal conditions to maintain associated equipment or devices inoperative until it is reset.

87 Differential protective relay is a protective relay that functions on a percentage or phase angle or other quantitative difference of two currents or of some other electrical quantities.

90 Regulating device is a device that functions to regulate a quantity, or quantities, such as voltage, current, power, speed, frequency, temperature, and load, at a certain value or between certain (generally close) limits for machines, tie lines, or other apparatus.

94 Tripping or trip-free relay is a relay that functions to trip a circuit breaker, contactor, or equipment, or to permit immediate tripping by other devices; or to prevent immediate reclosure of a circuit interrupter if it should open automatically even though its closing circuit is maintained closed.

95-99 Used only for specific applications in individual installations if none of the functions assigned to the numbers between 1 to 94 is suitable.

Suffix Letters

Suffix letters may be used with device function numbers for various purposes. They permit a manifold multiplication of available function designations for the large number and variety of devices used in the many types of equipment covered by this standard. They may also serve to denote individual or specific parts or auxiliary contacts of these devices or certain distinguishing features, characteristics, or conditions which describe the use of the device or its contacts in the equipment.

A	Alarm or auxiliary power
B	Bus, battery or blower
BL	Block (valve)
BP	Bypass
BT	Bus tie
C	Capacitor, condenser, compensator, carrier current or coil
CC	Closing coil
F	Feeder of field, filament, filter or fan
G	Generator or ground <1>
H	Heater or housing
L	Line or logic
M	Motor or metering

N	Neutral<1> or network
SI	Seal-in
TC	Trip coil
X	Auxiliary relay
Y	Auxiliary relay
Z	Auxiliary relay

<1> Suffix N is generally used in preference to G for devices connected the secondary neutral of current transformers, or in the secondary of a current transformer whose primary winding is located in the neutral of a machine or power transformer, except in the case of transmission line relaying, where the suffix G is more commonly used for those relays that operate on ground faults.

Other Suffix Letters

A	Accelerating or automatic
B	Blocking or backup
C	Close or cold
E	Emergency or engaged
F	Failure or forward
H	Hot or high
HR	Hand reset
HS	High speed

L	Left, local, low, lower or leading
M	Manual
O	Open or over
OFF	Off
ON	On
P	Polarizing
R	Right, raise, reclosing, receiving, remote or reverse
S	Sending or swing
T	Test, trip or trailing
TDC	Time-delay closing
TDO	Time-delay opening
U	Up or under

Device Contacts

The letters a and b shall be used for all auxiliary, position, and limit switch contacts for such devices and equipment as circuit breakers, contactors, valves and rheostats, and contacts or relays:

a - Contact that is open when the main device is in the standard reference position, commonly referred to as the nonoperated or de-energized position, and that closes when the device assumes the opposite position.

b - Contact that is closed when the main device is in the standard reference position, commonly referred to as the nonoperated or de-energized position, and that opens when the device assumes the opposite position.

The simple designation a or b is used in all cases where there is no need to adjust the contacts to change position at any particular point in the travel of the main device, or where the part of the travel where the contacts change position is of no significance in the control or operating scheme. Hence the a and b designation usually are sufficient for circuit breaker auxiliary switches.