

CONCEPTOS BÁSICOS DE RELÉS DE PROTECCIÓN

EXPOSITOR: Ing. Humberto Galoc



CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE RELÉS DE PROTECCIÓN



Contenido:

1. Disposiciones generales
2. Clasificación
3. Relé electromecánico
4. Relé estático
5. Relé digital
6. Curvas de sobrecorriente

1. DISPOSICIONES GENERALES

Relés:

Son equipos electromecánicos, de estado solido (estáticos) o basados en microprocesadores (digital/numérico) usados en el sistema de potencia para detectar condiciones anormales o inseguras y tomar las acciones correctivas.

Reciben la información de los transformadores de tensión y corriente con los cuales son capaces de discriminar entre una condición normal y anormal.

Cuando el relé detecta una condición anormal inicia su acción ("opera"), generalmente a través de contactos que se cierran o se abren y que, en forma directa o indirecta, habilitan los circuitos de apertura de los interruptores.

3

1. DISPOSICIONES GENERALES

Función:

Localizar rápidamente la falla y abrir el interruptor correspondiente para interrumpir la corriente que fluye dentro del elemento fallado, con el objetivo de minimizar los daños del equipo fallado y minimizar los efectos negativos al sistema eléctrico de potencia.

4

1. DISPOSICIONES GENERALES

Definiciones

Relé: El concepto de relé de protección ha ido variando con el tiempo y su significado ha ido adquiriendo un nuevo concepto a medida que sus funciones han sido ampliadas y complementadas:

-El primer concepto de relé lo vemos asociado a una función básica, que podemos ejemplificar de forma sencilla a través del relé de sobrecorriente, dispositivo que acciona un relé auxiliar cuando el valor de la corriente medida supera un cierto umbral (relé de sobrecorriente instantáneo) o cuando supera este umbral durante un cierto tiempo (relé de sobrecorriente temporizado), pudiendo en este último caso el tiempo depender o no del valor de la corriente medida.

1. DISPOSICIONES GENERALES

Definiciones

Relé:

-El concepto de relé adquiere un segundo significado, como sistema de protección, cuando comienza a agrupar varias funciones de protección, por ejemplo sobrecorriente de fase , sobrecorriente a tierra, función direccional, función diferencial. A éstas se agregan otras funciones, indicación de la medida de corrientes de fase, emisión de señales de arranque, bloqueo del relé por señales externas, cambio de los parámetros de ajuste.

En esta etapa el relé también puede operar relés auxiliares, que además de comandar la apertura del interruptor sobre la bobina de cierre y apertura, señalizan la posición del mismo.

1. DISPOSICIONES GENERALES

Definiciones

Relé:

-El tercer concepto del relé, que es en realidad un concepto hacia el cual están tendiendo las funciones del mismo, conduce al relé hacia un sistema de protección inteligente, es decir que pueda decidir las acciones a tomar en base a sus experiencias anteriores, las que le han sido de alguna forma enseñadas, por ejemplo cambiando los tiempos de actuación cuando interprete que las señales que le llegan están distorsionadas por algún motivo, por ejemplo saturación de los transformadores de corriente.

En este último concepto de relé se incorporan además las funciones completas de comunicación internas de la subestación y su comunicación con los centros de control externos para supervisar y controlar la subestación en su totalidad o en parte.

1. DISPOSICIONES GENERALES

Sistema de protección:

- ▶ Relé de protección
- ▶ Interruptor de potencia
- ▶ Transformadores de TC y TT
- ▶ Panel de alarma
- ▶ Equipo de teleprotección
- ▶ RTU
- ▶ GPS
- ▶ Servicios auxiliares



1. DISPOSICIONES GENERALES

Sistema de protección:

Sistema de protecciones es el conjunto de elementos y de sus circuitos de control asociados que se encuentran interconectados o dependientes entre sí, cuya función es proteger a un equipo o a un conjunto de equipos.

Este conjunto de elementos operará bajo condiciones predeterminadas, usualmente anormales, desconectando un elemento del SEP o emitiendo una señal.

9

1. DISPOSICIONES GENERALES

Términos usados:

Selectividad: Es la habilidad de separar la zona o equipo fallado, para la máxima continuidad de servicio con las desconexiones mínimas en el sistema.

Velocidad: Detectar la anomalía lo mas pronto posible.

Sensibilidad.- Detectar las condiciones de fallas por muy incipientes que sean.

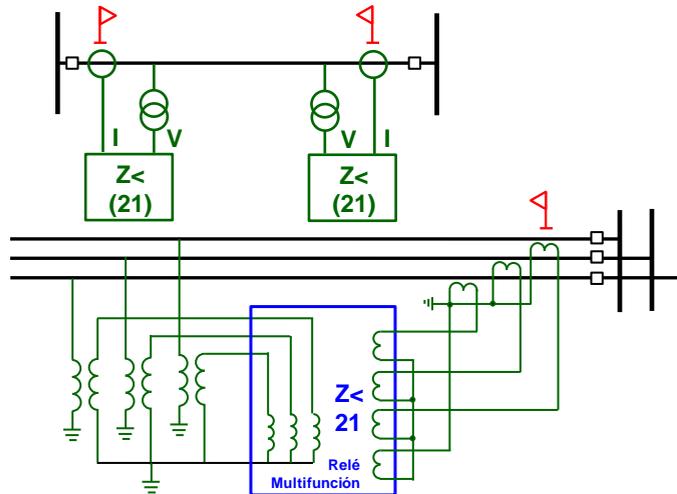
Simplicidad: mínimo equipo de protección y mínimos circuitos asociados, para alcanzar los objetivos de protección.

Economía: la máxima protección a un mínimo costo.

10

1. DISPOSICIONES GENERALES

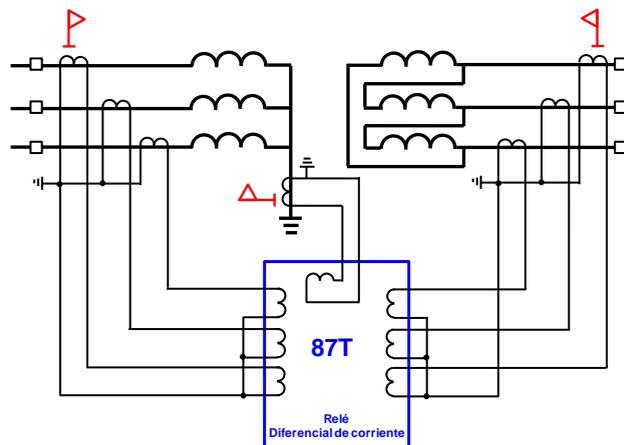
Conexión de un relé de protección:



11

1. DISPOSICIONES GENERALES

Conexión de un relé de protección:



12

1. DISPOSICIONES GENERALES

Esquema de protección:

La justificación técnico - económica de un esquema de protección se realiza considerando los siguientes aspectos:

- Costo de reparación del daño.
- Probabilidad de que la falla se extienda e involucre otro equipo.
- Tiempo fuera de servicio.
- Incidencia económica al usuario y propietario.
- Problemas sociales.
- Imagen de la empresa de servicio público.

13

2. CLASIFICACIÓN

Según el principio de acción:

- Relés de núcleo móvil.
- Relés de bobina móvil.
- Relés electromecánicos polarizados.
- Relés de inducción.
- Relés térmicos.
- Relés con operación por motor.
- Relés electrónicos.

14

2. CLASIFICACIÓN

Según a la magnitud a la que responden:

Relés de impedancia
Relés de Tensión
Relés de Reactancia
Relés de Admitancia
Relés de Potencia
Relés de Frecuencia

15

2. CLASIFICACIÓN

Distintos Diseños de Relés de Protección

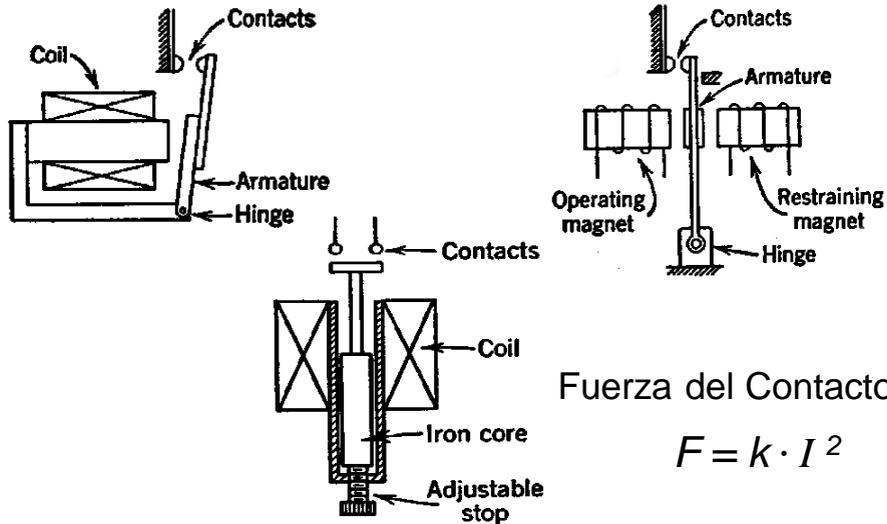
- Relés Electromecánicos
- Relés Analógicos Electrónicos
 - Tubos de vacío y de gas
 - Estado sólido (transistores, circuitos Integrados)
- Relés Basados en Microprocesadores (Digitales)

16

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

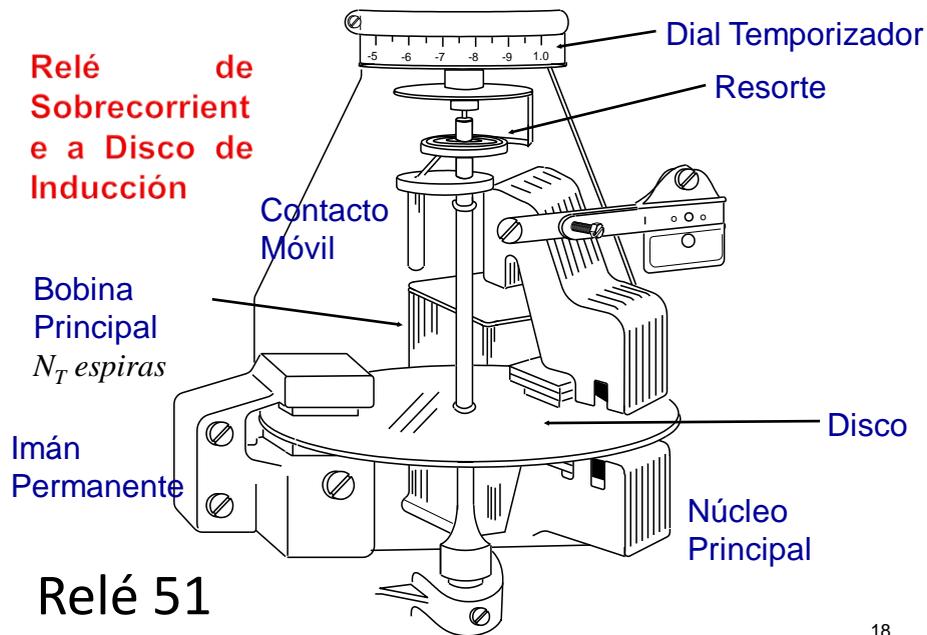
Unidad de Atracción Magnética

Elemento Instantaneo



3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

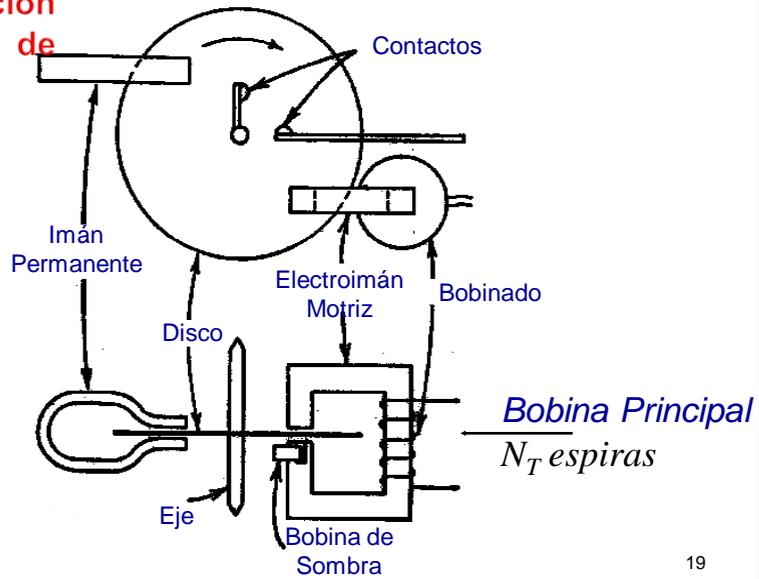
Relé de Sobrecorriente a Disco de Inducción



18

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

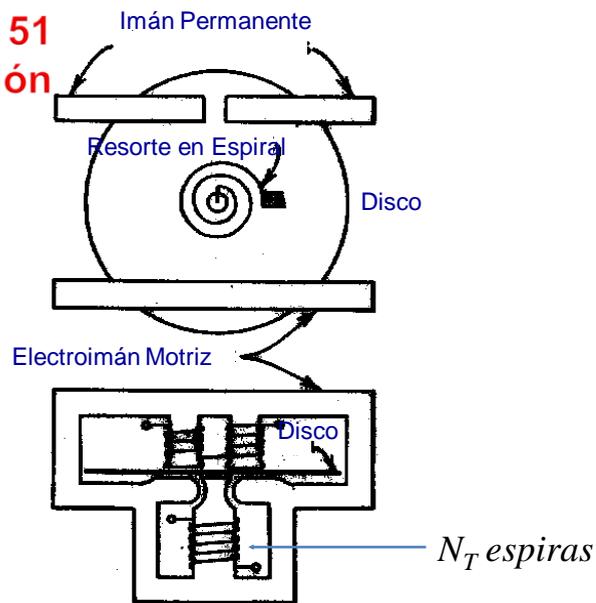
Elemento 51
de Inducción
a Polo de
Sombra



19

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

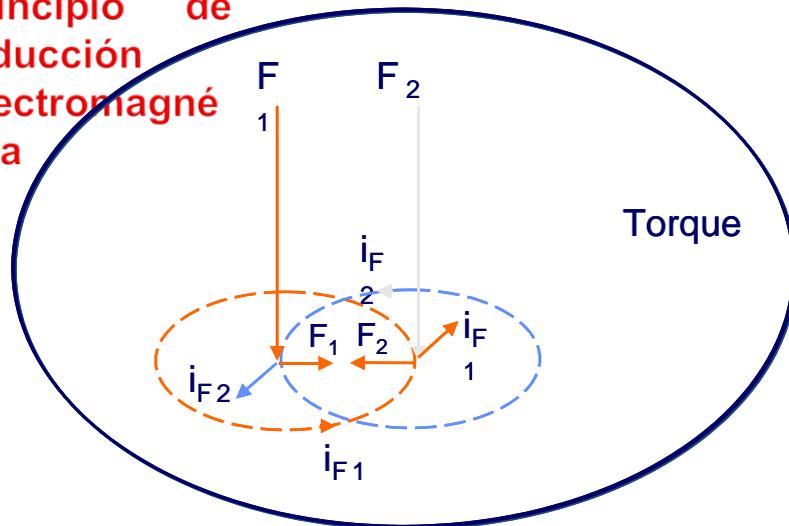
Elemento 51
de Inducción
Tipo
Vatimétrico



20

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Principio de
Inducción
Electromagné
tica



21

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Principio de Inducción Electromagnética

Dados : $\phi_1 = \phi_{1M} \sin \omega t$

$$\phi_2 = \phi_{2M} \sin (\omega t + \theta)$$

Torque:

$$T_{op} \propto \phi_{1M} \phi_{2M} \sin \theta \approx K_e I^2 = K' N_T^2 I^2$$

- El Torque es Aproximadamente Constante y Proporcional al Cuadrado de la Corriente de la Bobina Principal por el Número de Espiras

22

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Elemento 51 a Inducción, de Tiempo Inverso Condición de Operación

- Torque operativo > Torque Antagónico por Resorte ($T > T_s$)

$$K_e I^2 \geq T_s$$

- Condición de Arranque (justo sobre el límite):

$$K_e I_{pu}^2 = T_s$$

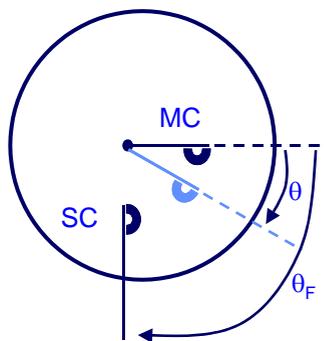
$$I_{pu} = \sqrt{T_s/K_e} = N_T \sqrt{T_s/K'}$$

La corriente de arranque puede ajustarse cambiando el número de espiras (DERIVACIONES)

23

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

In Dinámica del Relé a Disco de Inducción



MC = Contacto Móvil

SC = Contacto Fijo

θ = Angulo de desplazamiento del contacto móvil.

θ_F = Desplazamiento total del contacto móvil para la operación del relé

Torque de Aceleración según la Ley de la Dinámica:

$$T_a = J\alpha = T_{op} - T_m - T_s - T_f$$

24

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Dinámica del Relé a Disco de Inducción

Expresiones Aproximadas de los Torques

Torque de Operación : $T_{op} = f(I) \approx K_e I^2$

Torque del Imán
Permanente : $T_m = K_m \omega = K_m \frac{d\theta}{dt} \approx K_m \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

Torque del Resorte : $T_s \approx K_s \theta \approx \text{constante (asumido)}$

Torque de Rozamiento : $T_f = g(\theta) \approx 0$ (asumido)

Torque de Aceleración : $T_a = J\alpha = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx 0$ (asumido)

25

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Dinámica del Relé a Disco de Inducción

$$T_a = J\alpha = T_{op} - T_m - T_s - T_f \Rightarrow$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K_e I_{pu}^2}{K_m} [M^2 - 1]$$

M is the multiple of the pickup current $M = \frac{I}{I_{pu}}$

26

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Tiempo de Operación del Relé a Disco de Inducción

- Tiempo Aproximado de Operación Suponiendo una Corriente Constante Mayor a la de Arranque:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K_e I_{pu}^2}{K_m} [M^2 - 1] = H(M)$$

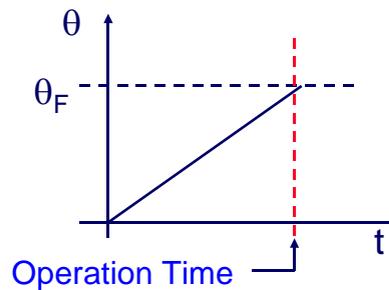
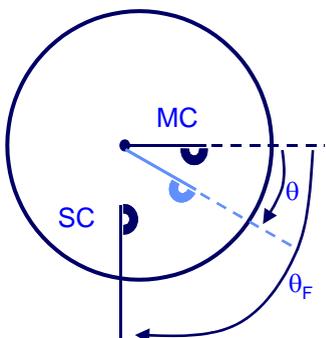
$$t = \frac{\theta_f}{H(M)} = \frac{\theta_f (K_m / K_e I_{pu}^2)}{M^2 - 1} \text{ tiempo de operación}$$

27

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Tiempo de Operación del Relé a Disco de Inducción

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K_e I_{pu}^2}{K_m} [M^2 - 1] = H(M)$$

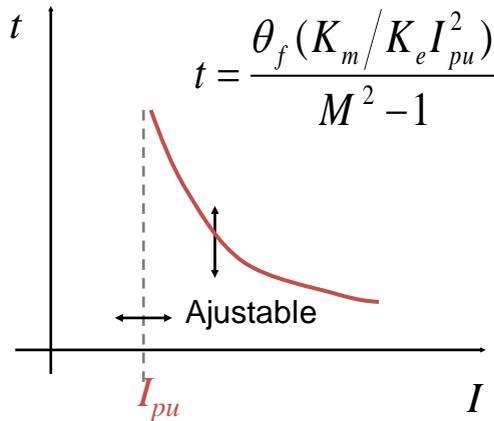


28

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Tiempo de Operación del Relé a Disco de Inducción

Ajuste de la curva de tiempo

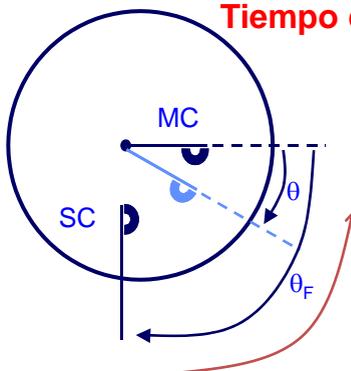


- El Desplazamiento del Contacto Móvil θ_f es Ajustable
- El Dial Temporizador Ajusta el Ángulo del Desplazamiento Total

29

3. RELÉ ELECTROMECAÁNICO

Tiempo de Reset (o Rearme)



Dirección del
Movimiento
Durante el Reset

- Para corrientes mas pequeñas que la corriente de arranque, $M < 1$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K_e I_{pu}^2}{K_m} [M^2 - 1] < 0 \Rightarrow \text{Reset}$$

- Expresión aproximada para el tiempo de Reset:

$$t_{reset} = TD \cdot \frac{C}{1 - M^2}$$

30

4. RELÉ ESTÁTICO

Elementos 50 Estáticos

Pueden Responder a Diferentes Valores de la Corriente

$$i = \sqrt{2} I \sin \omega t \quad \text{Valor Instantáneo}$$

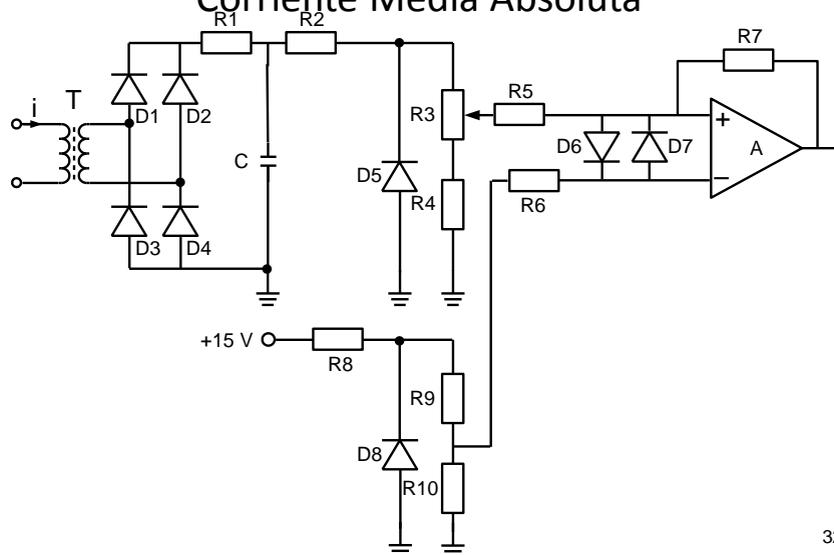
$$I_{ma} = \frac{1}{T} \int_0^T |i| dt \quad \text{Valor Medio Absoluto}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad \text{Valor Eficaz (RMS)}$$

31

4. RELÉ ESTÁTICO

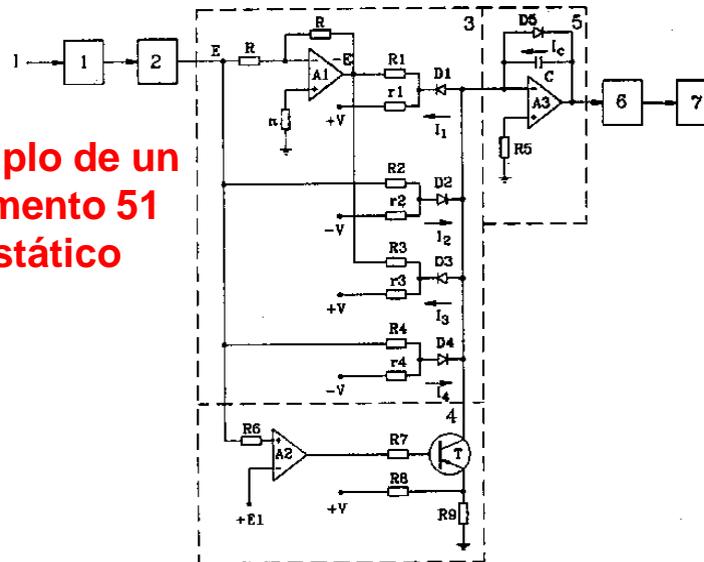
Elemento 50 Estático que Responde a la Corriente Media Absoluta



32

4. RELÉ ESTÁTICO

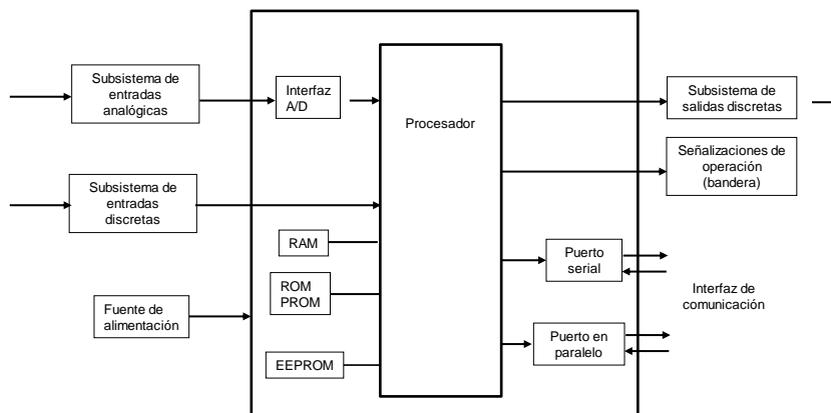
Ejemplo de un
Elemento 51
Estático



33

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Representación esquemática de la arquitectura



34

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Elemento 50 Digital

- Puede Responder al Fasor de la Corriente Fundamental I_1 o a la Corriente de Verdadero Valor Eficaz (TRMS):

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i_k^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

Donde:

i_k = Muestras de Corriente

I_1, I_2, \dots, I_n = Fasores de corriente de las componentes armónicas

35

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Los Relés Digitales Emulan la Dinámica del Disco de Inducción

- Forma Original de la Ecuación Dinámica

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K_e I_{pu}^2}{K_m} [M^2 - 1] = H(M)$$

- Forma Discreta de la Ecuación Dinámica

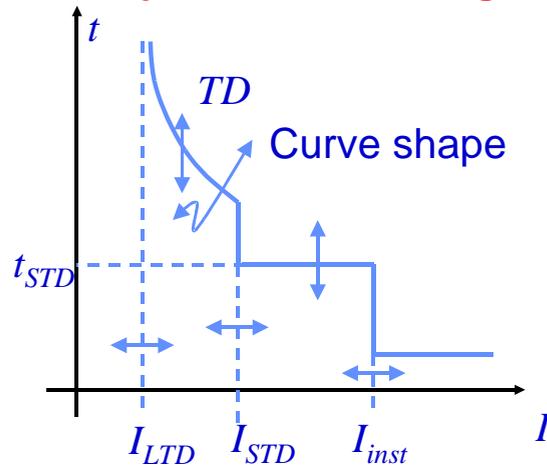
$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{\Delta t} = \frac{K_e I_{pu}^2}{K_m} [M_k^2 - 1] = H(M_k)$$

$M_k = I/I_k$ es calculada en cada muestra

36

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Ajustes del Relé Digital



37

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Definiciones:

Algoritmo: Un algoritmo es un conjunto de procedimientos para realizar un cálculo.

Relé digital: Se trata de programas de cálculos, por ejemplo para obtener las componentes real e imaginaria de las ondas de corriente y tensión, para luego calcular la impedancia aparente.

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Algoritmos:

-La descripción de los algoritmos de los fabricantes no es muy detallada, estos se pueden interpretar sin mayor dificultad si se tiene un buen dominio del tema.

-Distintos fabricantes tienen distintas soluciones para un mismo caso, y que un mismo fabricante puede tener distintas soluciones, aplicables a casos distintos, aunque esas soluciones respondan al mismo principio de protección.

Existen dos grandes tipos de Algoritmos:

Algoritmo de filtrado digital.

Algoritmo de protección propiamente dicho.

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Algoritmo de filtrado digital

La mayor parte de las protecciones se basan en la evaluación y comparación de las ondas de tensión y/o corriente de frecuencia fundamental. Estas señales están fuertemente contaminadas, particularmente en los instantes iniciales después de la falla.

En las protecciones digitales hay en realidad dos procesos de filtrados:

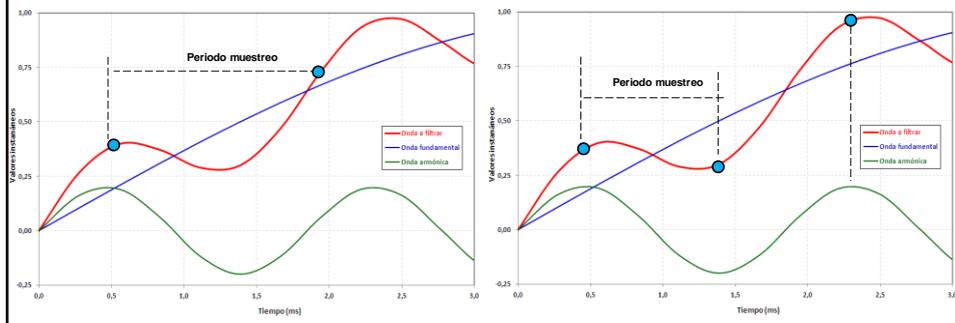
- Pre-filtrado analógico
- Filtrado digital

5. RELE UN RELÉ DIGITAL

Algoritmo de filtrado digital

Pre-filtrado analógico:

Se debe resolver el problema del límite de **Nyquist**, que indica que la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor que dos veces la máxima frecuencia de componente presente en la onda sometida a filtrado. Si esto no se cumple, aparecen errores dominados "aliasing".



6. CURVAS DE SOBRECORRIENTE

- IEEE C37.112 - 1996

$$T = TDS \cdot \left(\frac{A}{M^P - 1} + B \right) \quad M \geq 1$$

$$T = TDS \cdot \left(\frac{C}{1 - M^2} \right) \quad M < 1$$

- IEC 225 - 4

$$T = TDS \cdot \frac{A}{M^P - 1}$$

6. CURVAS DE SOBRECORRIENTE

IEC

Curve	A	B	C	P
I.E.C. Class A–Standard inverse (C1)	0.14	*	13.5	0.02
I.E.C. Class B–Very inverse (C2)	13.5	*	47.3	2.00
I.E.C. Class C–Extremely inverse (C3)	80.0	*	80.0	2.00
I.E.C. Long-time inverse (C4)	120.0	*	120.0	2.00
I.E.C. Short-time inverse (C5)	0.05	*	4.85	0.04

* Tal como la especifica el fabricante.

43

6. CURVAS DE SOBRECORRIENTE

IEEE

Curva	A	B	C	P
U.S. Moderately Inverse (U1)	0.0104	0.0226	1.08	0.02
U.S. Inverse (U2)	5.95	0.180	5.95	2.00
U.S. Very Inverse (U3)	3.88	0.0963	3.88	2.00
U.S. Extremely Inverse (U4)	5.67	0.0352	5.67	2.00
U.S. Short-time Inverse (U5)	0.00342	0.00262	0.323	0.02

44