

PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

EXPOSITOR: Ing. Humberto Galoc



PROTECCION DE TRANSFROMADORES DE POTENCIA

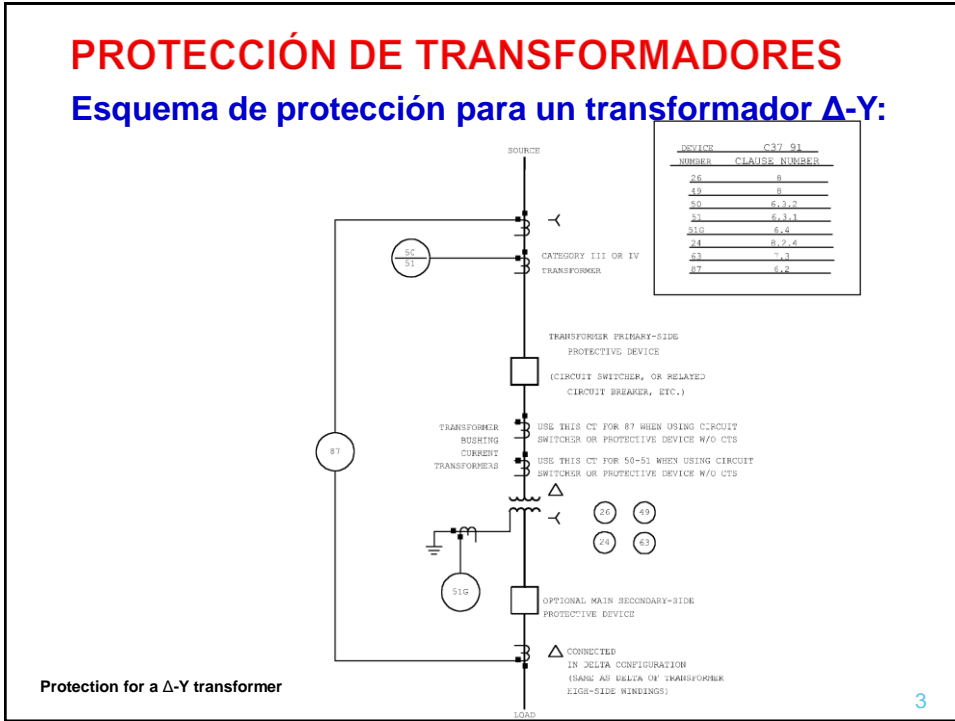


Contenido:

1. Comportamiento ante fallas internas y externas
2. Funciones de protección de sobrecorriente
3. Función de protección diferencial de corriente (87T)
4. Algoritmos
5. Transformador Zig-Zag

PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

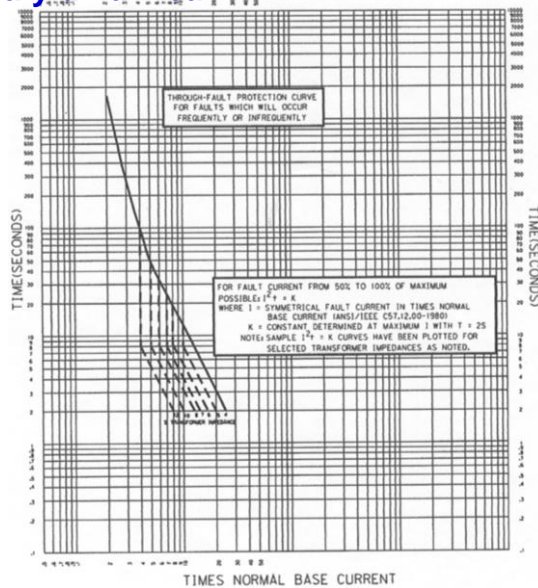
Esquema de protección para un transformador Δ-Y:



1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

Capacidad térmica y dinámica:

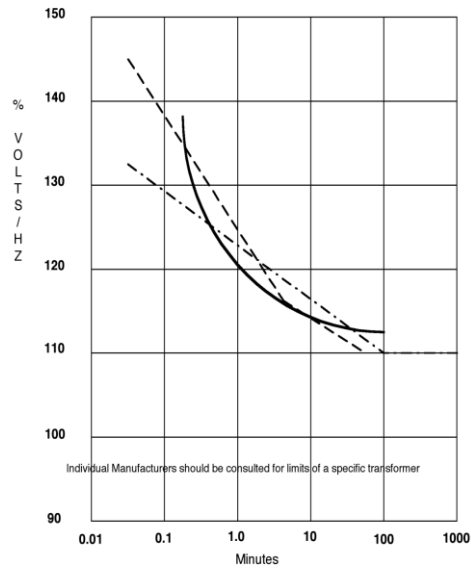
Capacidad térmica y dinámica para transformadores trifásicos mayor a 30 MVA (Figure A.4 norma IEC)



1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

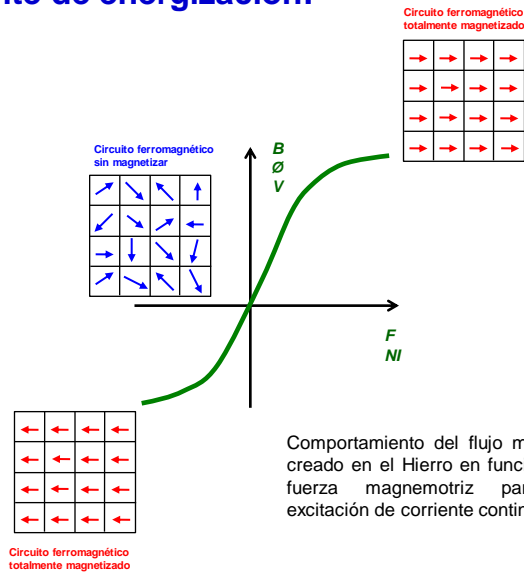
Capacidad de sobreexcitación:

Límites de sobreexcitación
(Norma IEC)



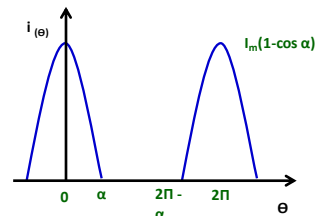
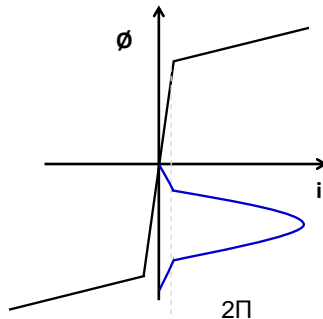
1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

Corriente de energización:



1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

Corriente de energización:



$$i(\theta) = I_m (\cos \theta - \cos \alpha), \theta \in [0, \alpha] \text{ y } [2\pi - \alpha, 2\pi] \\ = 0, \theta \in [\alpha, 2\pi - \alpha]$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_{(\theta)} \cos n\theta \, d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} I_m (\cos \theta \cos n\theta - \cos \alpha \cos n\theta) \, d\theta$$

$$a_n = \frac{I_m}{\pi} \left[\frac{1}{n+1} \sin (n+1)\alpha + \frac{1}{n-1} \sin (n-1)\alpha - 2 \cos \alpha \frac{1}{n} \sin n\alpha \right]$$

$$a_1 = \frac{I_m}{\pi} \left[\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right] \quad i_{(\theta)} = I_m (1 - \cos \alpha)$$

7

1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

Corriente de energización:

La corriente de energización puede aparecer en las tres fases y en el neutro conectado a tierra del transformador, su magnitud y duración dependen de factores externos y del diseño del transformador, tales como:

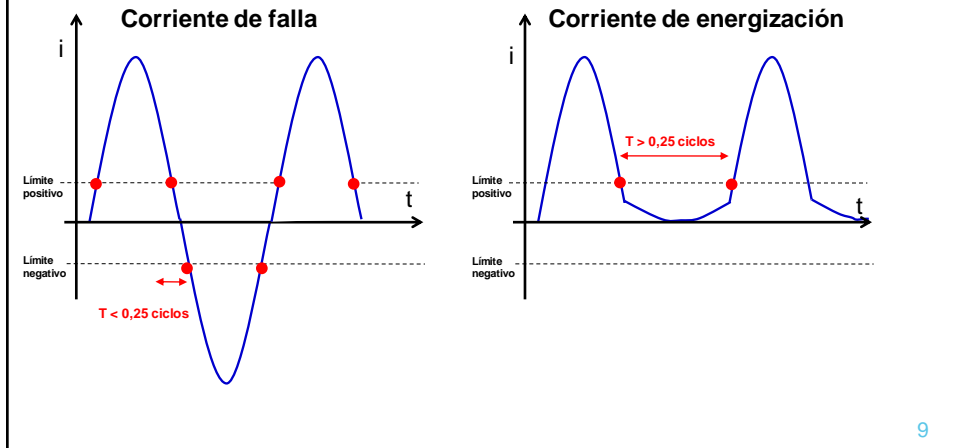
- Impedancia de la fuente de alimentación.
- Capacidad del transformador.
- Localización del devanado energizado (Interno o externo) con respecto al núcleo laminado.
- Conexión de los arrollamientos.
- Punto de la onda de tensión en el instante de cierre del contacto del interruptor que energiza al transformador.
- Características magnéticas del núcleo
- Remanencia del núcleo.
- Uso de resistores de preinserción.
- Restablecimiento súbito de la tensión, después de haber aislado una falla.
- Energización en paralelo de transformadores.

8

1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

Corriente de energización:

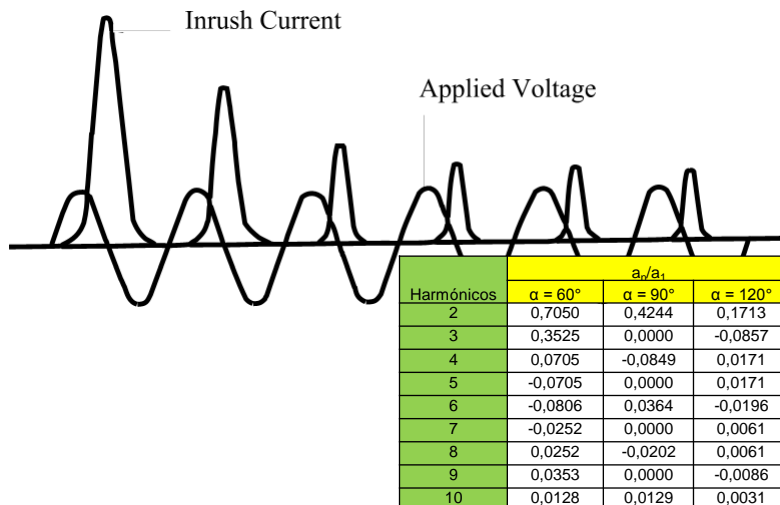
Distorsión de la onda de corriente durante la energización

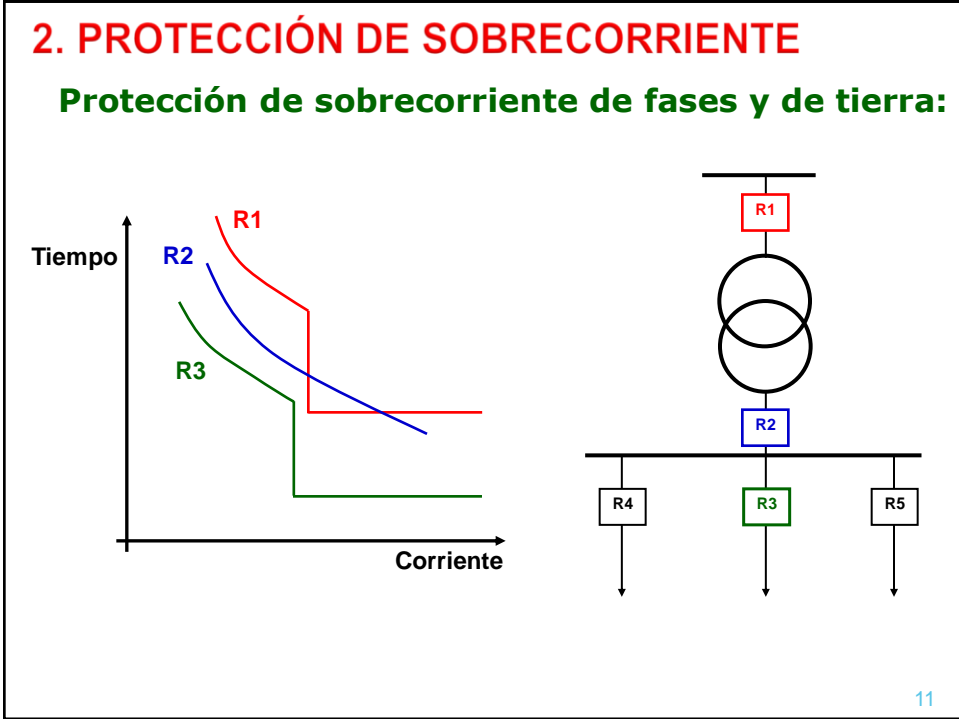


1. COMPORTAMIENTO ANTE FALLAS INTERNAS EXTERNAS

Corriente de energización:

Corrientes armónicas durante la energización





2. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

Curvas de tiempo inverso:

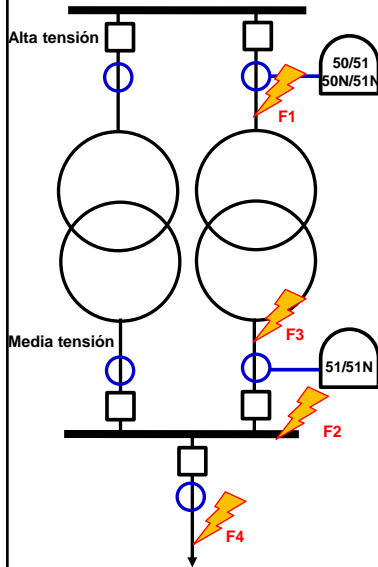
t_p = operating time in seconds
 t_r = electromechanical induction-disk emulation reset time in seconds (if electromechanical reset setting is made)
 TD = time-dial setting
 M = applied multiples of pickup current [for operating time (t_p), $M > 1$; for reset time (t_r), $M \leq 1$]

<p>U.S. Moderately Inverse Curve: U1</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.0226 + \frac{0.0104}{M^{0.02} - 1}}{1 - M^2} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{1.08}{1 - M^2} \right]$	<p>U.S. Inverse Curve: U2</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.180 + \frac{5.95}{M^2 - 1}}{1 - M^2} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{5.95}{1 - M^2} \right]$
<p>U.S. Very Inverse Curve: U3</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.0963 + \frac{3.88}{M^2 - 1}}{1 - M^2} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{3.88}{1 - M^2} \right]$	<p>U.S. Extremely Inverse Curve: U4</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1}}{1 - M^2} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{5.67}{1 - M^2} \right]$
<p>U.S. Short-Time Inverse Curve: U5</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.00262 + \frac{0.00342}{M^{0.02} - 1}}{1 - M^2} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{0.323}{1 - M^2} \right]$	<p>I.E.C. Class A Curve (Standard Inverse): C1</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.14}{M^{0.02} - 1} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{13.5}{1 - M^2} \right]$
	<p>I.E.C. Class B Curve (Very Inverse): C2</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{13.5}{M - 1} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{47.3}{1 - M^2} \right]$
	<p>I.E.C. Class C Curve (Extremely Inverse): C3</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{80.0}{M^2 - 1} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{80.0}{1 - M^2} \right]$
	<p>I.E.C. Long-Time Inverse Curve: C4</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{120.0}{M - 1} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{120.0}{1 - M} \right]$
	<p>I.E.C. Short-Time Inverse Curve: C5</p> $t_p = TD \cdot \left[\frac{0.05}{M^{0.04} - 1} \right]$ $t_r = TD \cdot \left[\frac{4.85}{1 - M^2} \right]$

12

2. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

Protección de sobrecorriente de fases y de tierra:



Criterio de arranque

- 51** 130% de la corriente nominal del transformador (mayor etapa de refrigeración).
- 51N** 20% a 40% de la corriente nominal del transformador (mayor etapa de refrigeración).
- 50/50N** Se ajusta para despejar fallas en bornes de alta tensión (F1) no debe detectar fallas en media tensión (F2).

Criterio de temporizaciones

51/51N (Media tensión) El TMS (Dial) se debe ajustar para despejar fallas en la barra (F2) de media tensión en un tiempo de aproximadamente 500 ms.

51/51N (Alta tensión) El TMS (Dial) se debe ajustar para despejar fallas en la barra de media tensión (F2) en un tiempo de aproximadamente 750 ms, con el objetivo de coordinar con las funciones de sobrecorriente del devanado de media tensión.

La función 51N, se debe evitar su activación en tiempos menores de 600 ms para fallas en la zona 2 de las líneas adyacentes a la barra de alta tensión.

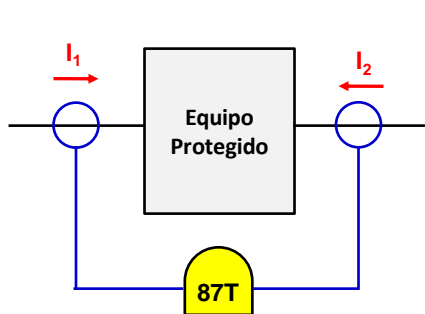
50/50N (Alta tensión) 100 ms

13

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

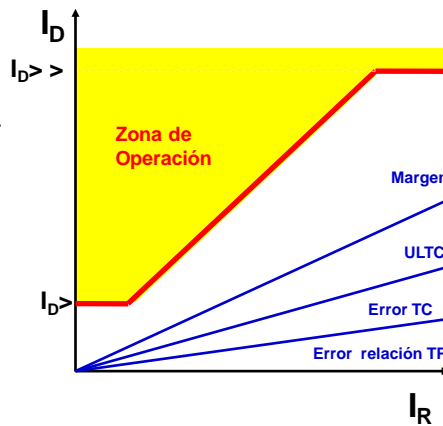
Protección diferencial de corriente:

Características de operación del relé porcentual



$$I_D = |I_1 + I_2|$$

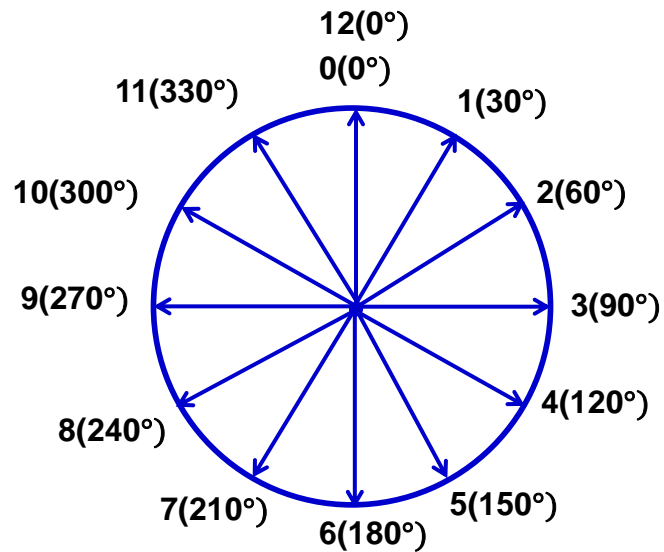
$$I_R = (|I_1| + |I_2|)/2$$



14

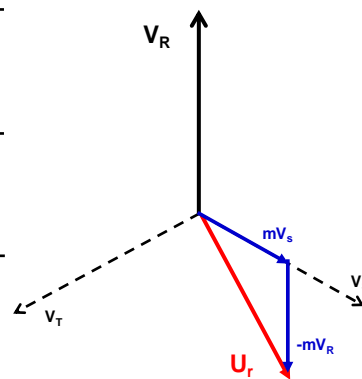
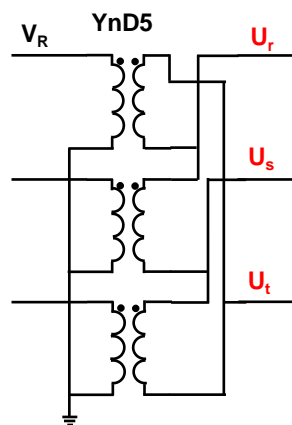
3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Rotación:



3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Grupo de conexión:



$$U_r = m(V_S - V_R)$$

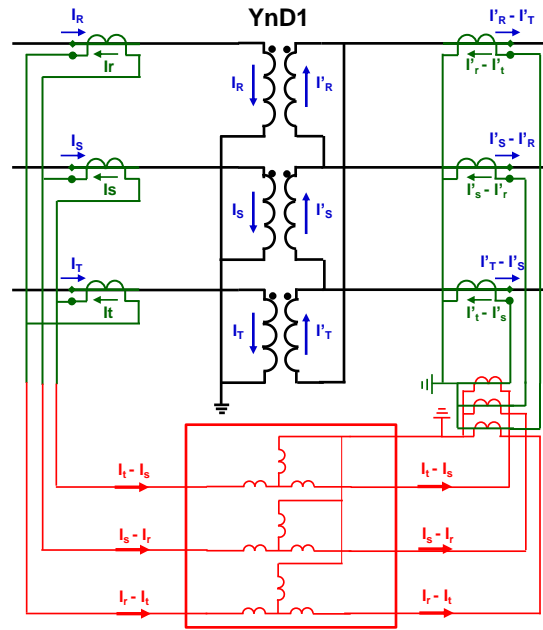
$$U_s = m(V_T - V_S)$$

$$U_t = m(V_R - V_T)$$

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Protección
diferencial
de corriente:

Esquema típico de conexiones para la
protección diferencial porcentual para
un transformador YnD1

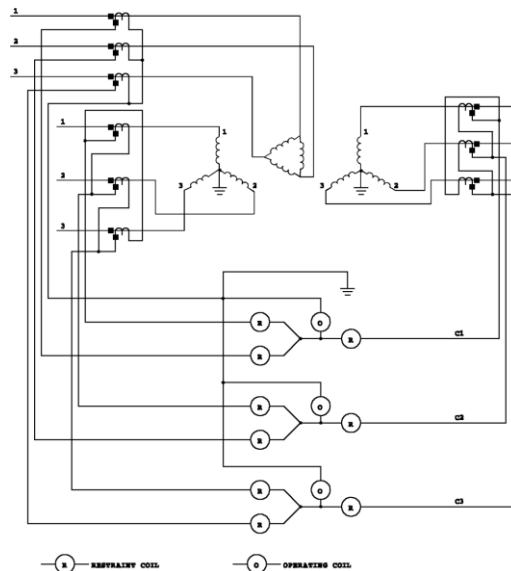


17

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Protección diferencial de corriente:

Esquema típico de conexiones para la
protección diferencial porcentual para
un transformador Y - Δ - Y



—(X)— REFRAIN COIL

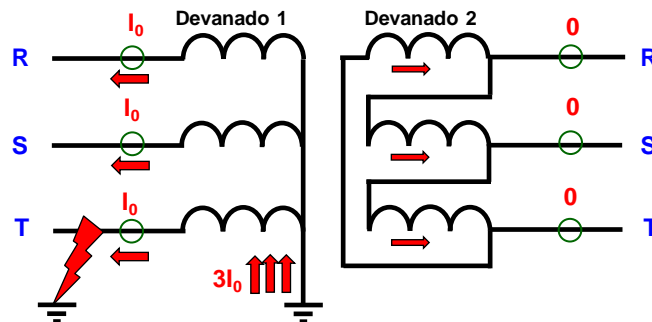
—(O)— OPERATING COIL

18

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Protección diferencial de corriente:

Compensación de la corriente de secuencia cero:

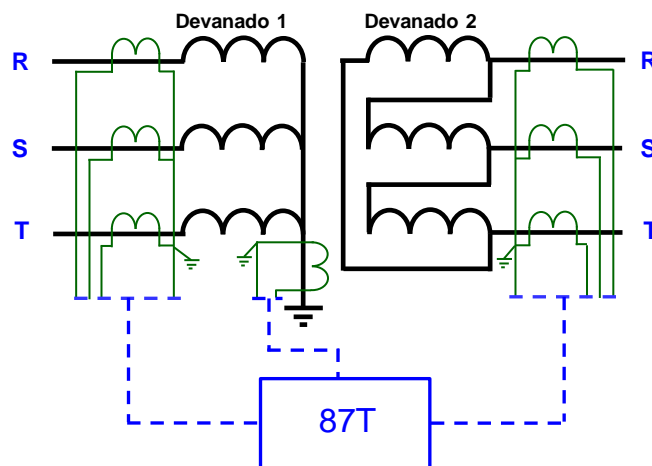


19

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Protección diferencial de corriente:

Compensación de la corriente de secuencia cero:

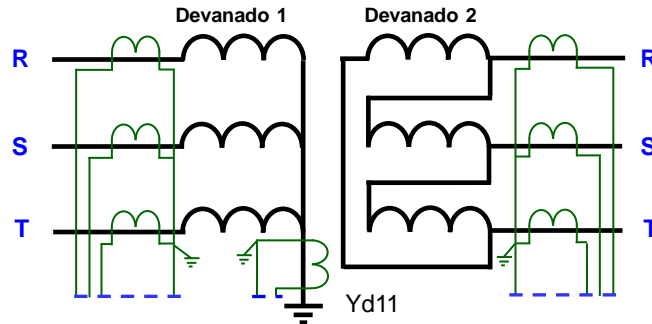


20

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Protección diferencial de corriente:

Compensación de secuencia cero con la corriente del neutro y grupo de conexión



$$\begin{bmatrix} I_{1R} \\ I_{1S} \\ I_{1T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{1R} \\ i_{1S} \\ i_{1T} \end{bmatrix} + \frac{1}{3} \begin{bmatrix} i_{St} \\ i_{St} \\ i_{St} \end{bmatrix}$$

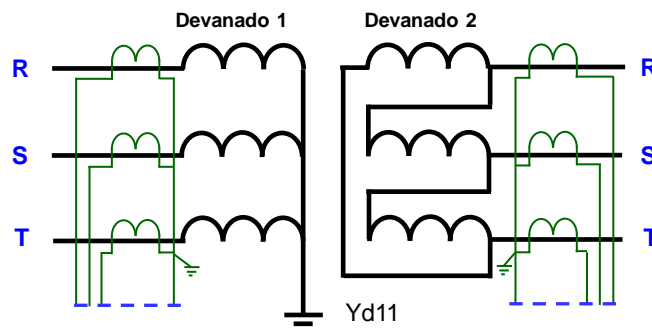
$$\begin{bmatrix} I_{2R} \\ I_{2S} \\ I_{2T} \end{bmatrix} = \frac{k_2}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{2R} \\ i_{2S} \\ i_{2T} \end{bmatrix}$$

21

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE CORRIENTE

Protección diferencial de corriente:

Compensación automática de la corriente de la corriente de secuencia cero y compensación del grupo de conexión



$$\begin{bmatrix} I_{1R} \\ I_{1S} \\ I_{1T} \end{bmatrix} = \frac{k_1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{1R} \\ i_{1S} \\ i_{1T} \end{bmatrix}$$

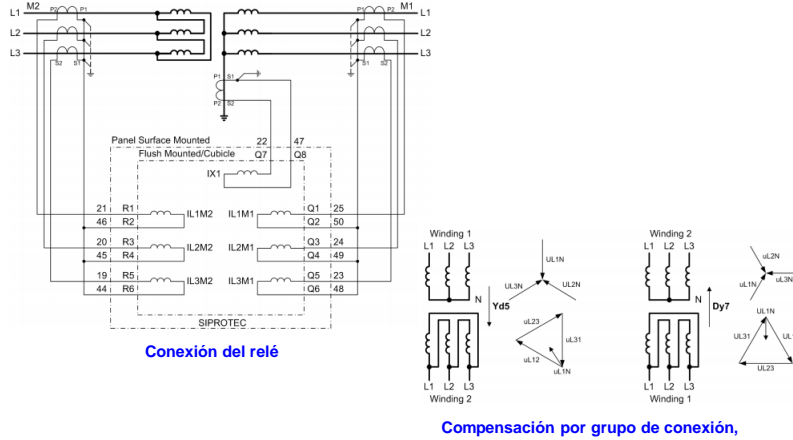
$$\begin{bmatrix} I_{2R} \\ I_{2S} \\ I_{2T} \end{bmatrix} = \frac{k_2}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{2R} \\ i_{2S} \\ i_{2T} \end{bmatrix}$$

22

4. ALGORITMOS

Protección diferencial de corriente:

Relé SIEMENS:

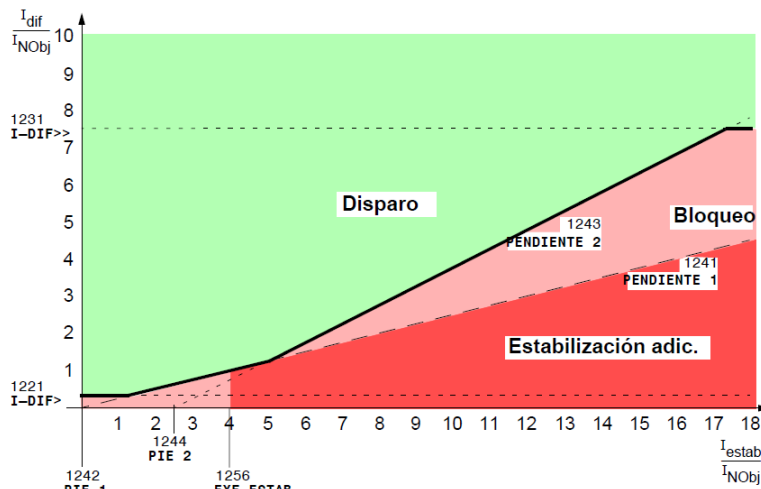


23

4. ALGORITMOS

Protección diferencial de corriente:

Curva de operación de la función 87T del relé SIEMENS 7UT612

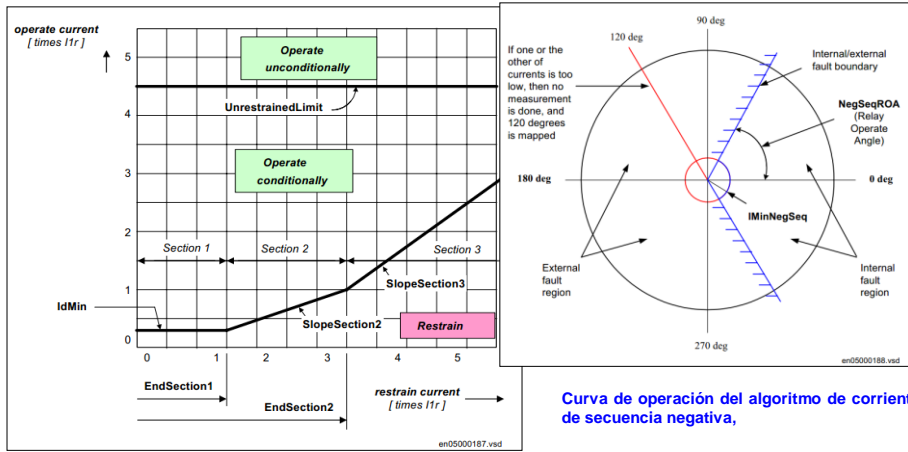


24

4. ALGORITMOS

Protección diferencial de corriente:

Curva de operación de la función 87T del relé ABB RET670:



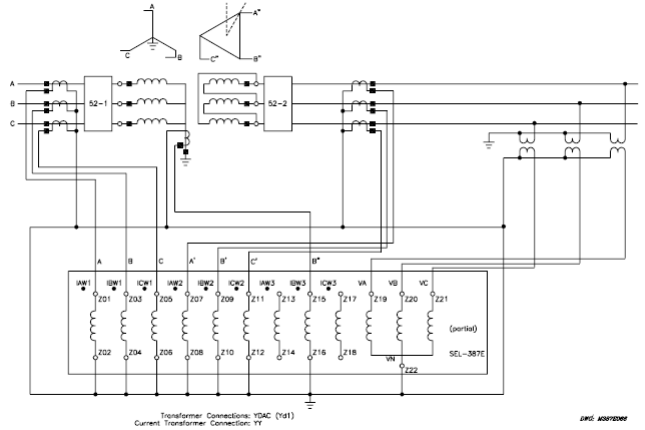
Curva de operación del algoritmo de corriente de secuencia negativa,

Curva de operación con corriente de restricción

4. ALGORITMOS

Protección diferencial de corriente:

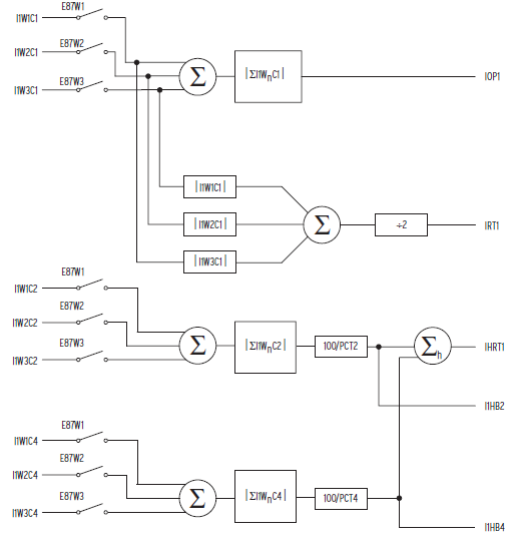
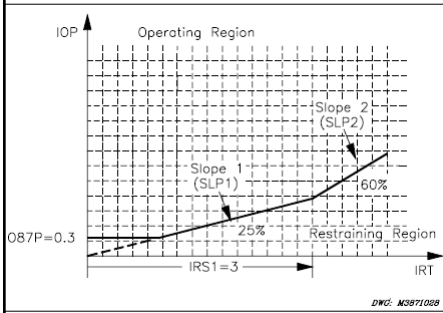
Relé SEL:



4. ALGORITMOS

Protección diferencial de corriente:

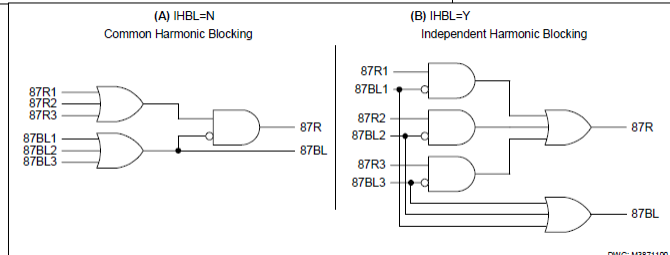
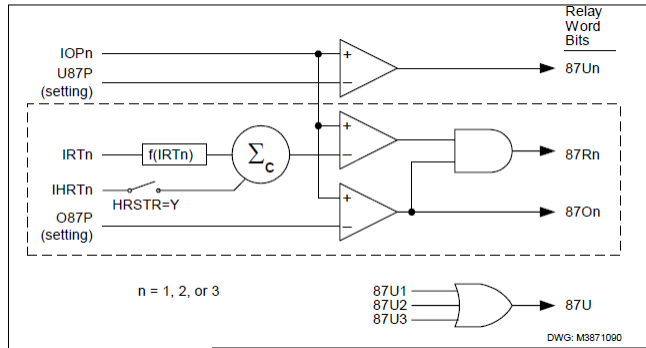
Relé SEL:



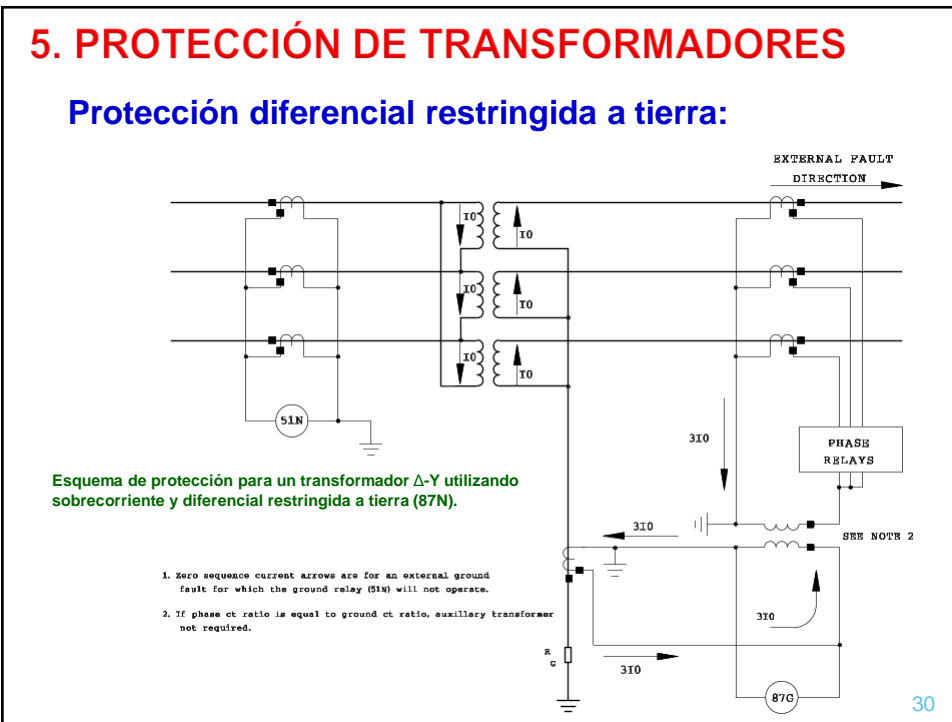
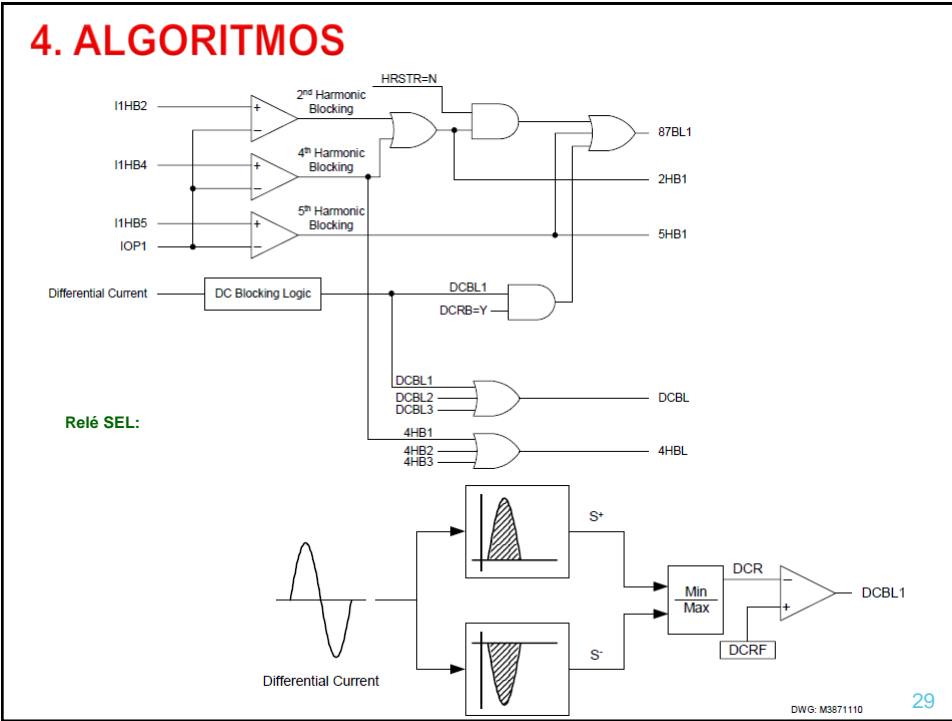
27

4. ALGORITMOS

Protección diferencial de corriente:



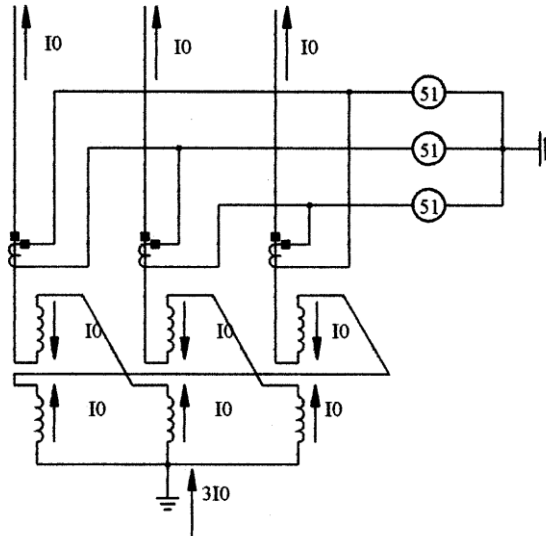
28



5. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

Esquema de protección para un transformador Zig-Zag:

Protección de sobrecorriente

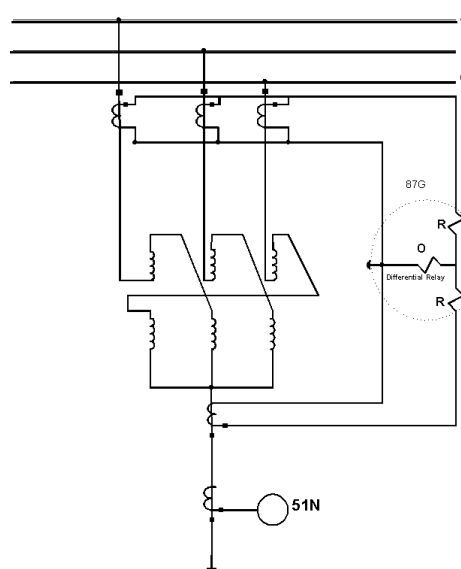


31

5. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

Esquema de protección para un transformador Zig-Zag:

Sobrecorriente y diferencial



32