



UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ
Escuela Universitaria de
Ingeniería Eléctrica-Electrónica

Protecciones Eléctricas
Relé diferencial

Ildefonso Harnisch Veloso
Arica-Chile

Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

1

Relé diferencial

Relé diferencial (87): Introducción

ü Basan su funcionamiento en la comparación de las corrientes que entran y salen de un equipo (1ra ley de Kirchhoff).

ü Se utilizan para proteger máquinas síncronas y asíncronas, transformadores de poder, barras de subestaciones y líneas cortas, con potencias superiores a unos 5 a 8 MVA.

§ Relé diferencial común

ü Es una protección donde se utiliza un relé de sobrecorriente 50 ó 51 conectado como relé diferencial y la designación **87** es más apropiada para esta aplicación.

ü Zona protegida es aquella zona que se encuentra entre los TTCC.

Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

2

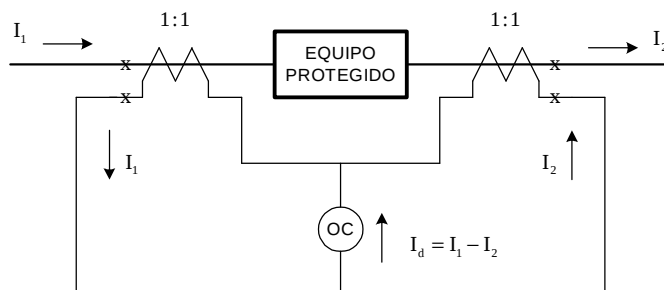
Relé diferencial

Relé diferencial común

§ Comportamiento en condiciones normales de funcionamiento

ü La corriente de entrada y salida son iguales.

ü la corriente diferencial es cero. $I_d = 0$. El relé no opera.



Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

3

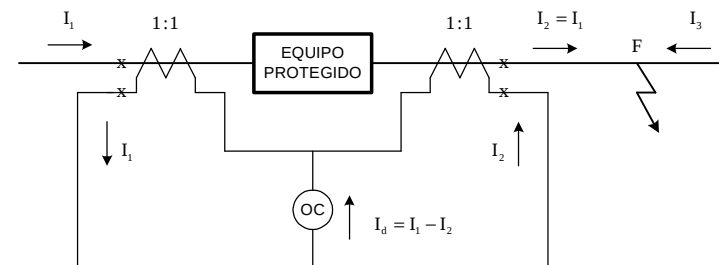
Relé diferencial

Relé diferencial común

§ Comportamiento para una falla externa (1Φ, 2Φ, 3Φ)

ü Falla externa es aquella que ocurre fuera de la zona protegida.

ü $I_1 = I_2 \Rightarrow I_d = 0$; El relé no opera.



Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

4

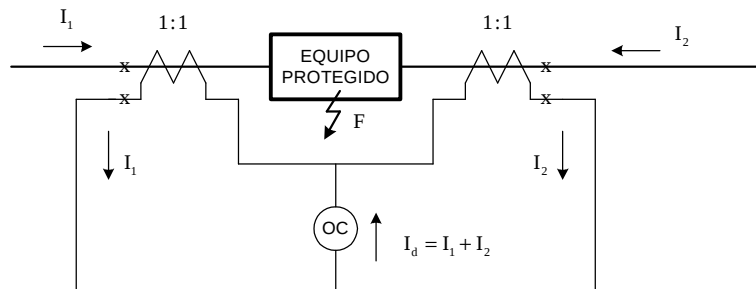
Relé diferencial

Relé diferencial común

§ Comportamiento para una falla interna (1Φ, 2Φ, 3Φ)

$$I_d = I_1 + I_2 = I_F \Rightarrow \text{El relé opera}$$

$$\text{Si la red es radial, } I_2 = 0, \Rightarrow I_d = I_1$$



Relé diferencial

Relé diferencial común

§ Resumen

ü La protección diferencial es inherentemente selectiva.

ü Es totalmente independiente de cualquier otra, es decir, no necesita estar coordinada con ninguna otra protección, y por lo tanto, se puede hacer extremadamente rápida.

§ Dificultades

ü No debería operar para fallas externas (through fault).

ü En la práctica esto no es totalmente cierto.

ü Se pueden producir corrientes diferenciales para fallas externas que se incrementan a medida que la falla es más severa, causando la operación del relé de sobrecorriente.

Relé diferencial

Causas de aparición de corrientes diferenciales

ü El error de corriente (corriente diferencial) puede ser significativo para fallas externas, pudiendo el relé de sobrecorriente operar en forma indebida.

ü La aparición de esta corriente se debe al desbalance que existe entre ambos TC provocando que las corrientes secundarias sean distintas.

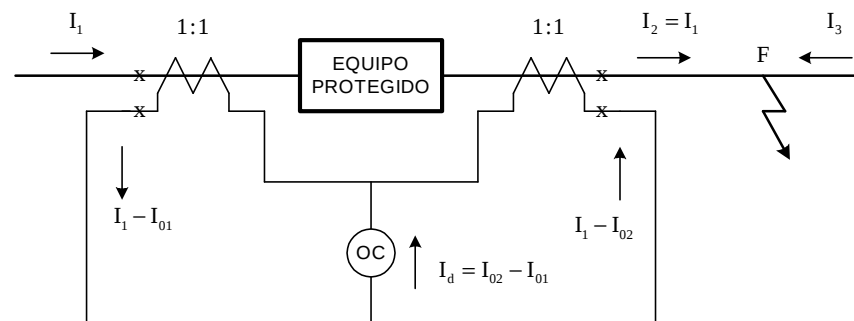
ü Este desbalance se debe:

- Ø Diferentes características magnéticas.
- Ø Saturación de uno o ambos TC.
- Ø Diferentes burden de los TC.
- Ø Pequeñas diferencias de las razones de transformación de los TC.
- Ø Diferencias en los factores de sobrecorrientes.
- Ø Presencia de la componente DC en la corriente de falla origina respuestas transientes diferentes debido a características magnéticas diferentes o magnetismo residual distinto.

Relé diferencial

Causas de aparición de corrientes diferenciales

q Si se considera que ambos TC tienen la misma razón de transformación; la corriente diferencial, es la diferencia de las corrientes de excitación.



q Para resolver este problema se utiliza el relé diferencial de porcentaje o compensado, sin sacrificar sensibilidad.

Relé diferencial

Características de un relé diferencial común

ü Las imperfecciones mencionadas de los TC provocan un aumento de la corriente diferencial a medida que se incrementa la corriente para fallas externas (through faults).

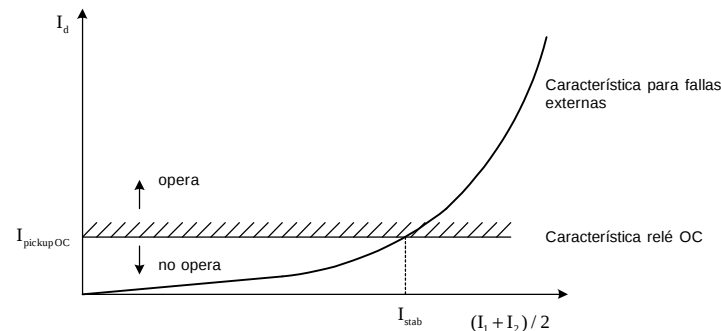
ü Se define el límite de estabilidad como la máxima corriente para fallas externas más allá de la cual el relé pierde su estabilidad (opera).

ü La corriente de falla interna mínima requerida para que el relé opere, correctamente en este caso, será la corriente pickup.

Through fault current: Es la corriente que pasa por la zona protegida cuando ocurre una falla externa a dicha zona.

Relé diferencial

Características de un relé diferencial común



$(I_1 + I_2)/2$: Through fault current; corriente pasante, corriente circulante, corriente de retención.

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

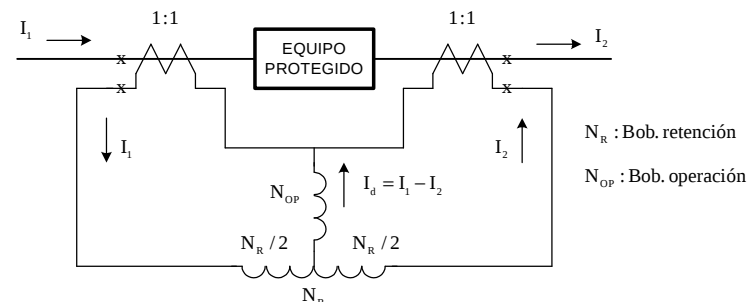
ü Dado que la protección diferencial es selectiva, ha sido necesario **insensibilizarla** para evitar su operación para fallas externas (through fault) debido al desbalance de los TC.

ü Para ello, se agrega una bobina de retención (frenado) que se energiza con la "through fault current".

ü El relé opera cuando la corriente diferencial alcance un valor igual o superior a un porcentaje de la corriente de la bobina de retención, que corresponde a la media de las corrientes de retención (corriente de retención, corriente de paso, through current).

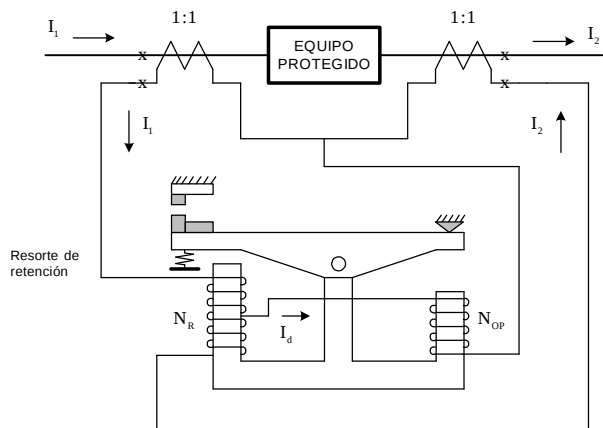
Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje



Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje



Relé diferencial viga equilibrada: el funcionamiento básico se basa en las fuerzas magnéticas generadas en las bobinas de retención y operación.

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Funcionamiento en condiciones normales o de falla externa (through fault)

- La bobina de retención está enrollada en el mismo sentido.
- Las corrientes de retención I_1 y I_2 son prácticamente iguales y tienen el mismo sentido de circulación en N_R .

$$FMM_R = \frac{N_R}{2} I_1 + \frac{N_R}{2} I_2 \quad FMM_{OP} = N_{OP} (I_1 - I_2) = N_{OP} I_d$$

$$(I_1 - I_2) \ll (I_1 + I_2) \Rightarrow$$

$$FMM_R \gg FMM_{OP} \Rightarrow Fm_R \gg Fm_{OP} \Rightarrow \text{Relé no opera}$$

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Funcionamiento para falla interna

- La corriente I_2 invierte su sentido.

$$FMM_R = \frac{N_R}{2} I_1 - \frac{N_R}{2} I_2$$

$$FMM_{OP} = N_{OP} (I_1 + I_2) = N_{OP} I_F$$

$$FMM_{OP} \gg FMM_R \Rightarrow Fm_{OP} \gg Fm_R \Rightarrow \text{Relé opera}$$

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Característica del relé diferencial de porcentaje

- Considerando los sentidos de las corrientes entrando para I_1 y saliendo para I_2

$$FMM_{OP} = N_{OP} (I_1 - I_2) = N_{OP} I_d$$

$$FMM_R = \frac{N_R}{2} I_1 + \frac{N_R}{2} I_2 = N_R \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)$$

- La FMM creada por la bobina de retención es igual como si el promedio de las corrientes de retención pasa por toda la bobina.

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Característica del relé diferencial de porcentaje

ü Las fuerzas magnéticas son proporcionales a las FMM²

$$Fm_{OP} = k_1 FMM_{OP}^2 \quad Fm_R = k_1 FMM_R^2$$

ü La condición de operación es:

$$Fm_{OP} \geq Fm_R$$

$$N_{OP} |I_1 - I_2| \geq N_R \frac{|I_1 + I_2|}{2} \quad |I_1 - I_2| \geq \frac{N_R}{N_{OP}} \frac{|I_1 + I_2|}{2}$$

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Característica del relé diferencial de porcentaje

$$|I_1 - I_2| \geq \frac{N_R}{N_{OP}} \frac{|I_1 + I_2|}{2} \quad k = \frac{N_R}{N_{OP}} \quad |I_1 - I_2| \geq k \frac{|I_1 + I_2|}{2}$$

$$|I_1 - I_2| \geq k \frac{|I_1 + I_2|}{2} + k_0$$

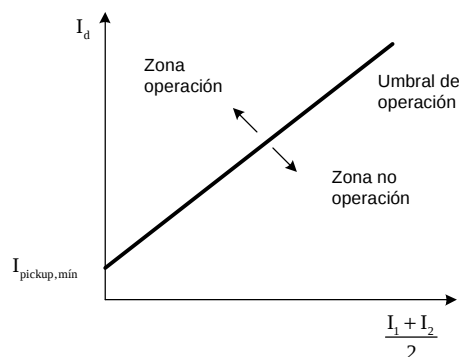
K: constante ajustable, llamada slope, también llamada sensibilidad, generalmente se expresa en %.

K₀: Toma en cuenta el efecto del resorte.

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Característica del relé diferencial de porcentaje



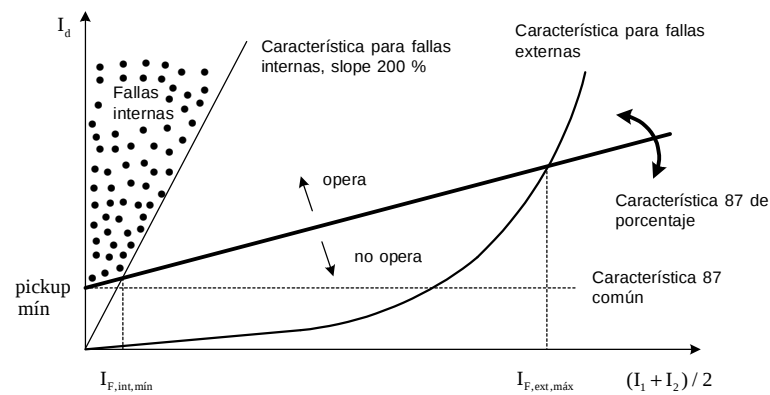
ü A menor **k** mayor sensibilidad.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} = I_{retención} = \text{through current} = \text{corriente de paso} = \text{corriente circulante}$$

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Característica de operación del relé diferencial de porcentaje



ü La corriente pick-up no es constante. El relé adapta automáticamente el valor de la corriente pick-up a la 'through fault' current.

Relé diferencial

Protección diferencial de porcentaje

§ Ajustes del relé diferencial de porcentaje

ü Ajuste del slope:

- Ø 5 a 25 % para máquinas síncronas
- Ø 10 a 45 % para transformadores de poder
- Ø A mayor slope, menor sensibilidad del relé.

ü Ajuste de la corriente pickup mínima

Ø Este ajuste compensa el efecto del resorte de restauración, puede ser 0.1 A ó 0.2 A, ó el valor que recomiende el fabricante. Esto toma en cuenta la corriente diferencial que se produce en condiciones normales de operación.

Relé diferencial

Protección diferencial de transformadores

§ Regla fundamental

ü En condiciones normales de operación o falla trifásica externa, idealmente la comparación debe corresponder a corrientes de retención de igual magnitud y fase.

Ø Debido al desbalance de los TC, existirá un error (corriente diferencial) que debe ser compensada por el ajuste de la sensibilidad del relé.

§ Consideraciones para su aplicación

ü La comparación de corrientes en este tipo de protección es particularmente complicada cuando se aplica a transformadores de poder, y esto se debe a:

- a) Las corrientes del primario y secundario pueden no estar en fase, dependiendo de la conexión del transformador.

Relé diferencial

Protección diferencial de transformadores

§ Consideraciones para su aplicación

- b) Las corrientes del primario y secundario no tienen la misma magnitud, debido a que normalmente la relación de voltajes entre estos enrollados no es la unidad.
- c) Las razones normalizadas de los TC no siempre arrojan valores secundarios iguales a comparar.
- d) La protección no debe ser afectada por las condiciones de operación del transformador, como cambio de tomas o funcionamiento en vacío.
- e) La corriente de excitación en el momento de la conexión del transformador (in-rush) puede tomar valores muy elevados, dependiendo del valor instantáneo de la onda de voltaje en el momento de la conexión. Su forma es asimétrica y decrece exponencialmente.

Protección diferencial de transformadores

§ Consideraciones para su aplicación

- f) En transmisión se usan bastante los transformadores de tres enrollados o auto transformadores con terciario, lo que complica aún más la comparación de las corrientes.
- g) Algunas conexiones especiales, como la Yz, se tratan en forma diferente a la que correspondería según su índice horario para conseguir que la protección no opere para fallas externas.

§ Solución a las dificultades planteadas

- a) Corrección del desfase entre las corrientes primarias y secundarias
 - ü Los TC se conectan en conexión inversa a la correspondiente del transformador de poder. De esta manera se anula el desplazamiento angular de las corrientes por fase a comparar.
 - Ø Lado D del T/F de poder: TC en Y
 - Ø Lado Y del T/F de poder: TC en D

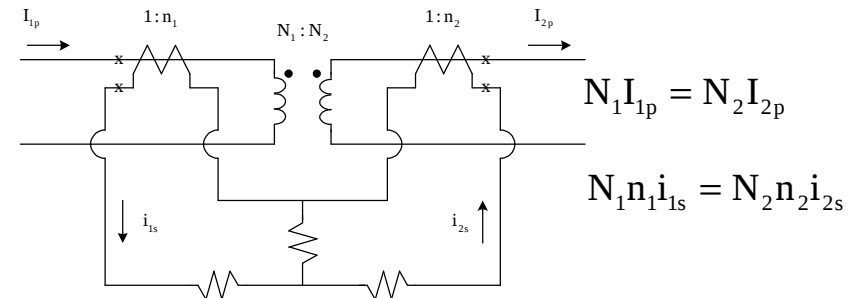
Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas

- ü Las conexiones de los TC son una réplica de las conexiones del T/F de poder. De todas maneras, es conveniente asegurarse de la correcta conexión de los TC.
 - ü En el caso de las protecciones electrónicas, los TC de ambos lados se pueden conectar en Y, ya que el desfase puede ser compensado en forma interna por la protección.
- b) Corrección de la diferencia de magnitudes entre las corrientes primarias y secundarias
- ü Para mostrar la idea considérese un transformador monofásico

Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas



- ü Se desea que $i_{1s} = i_{2s}$ (condiciones normales y falla externa); entonces, los TC se deberían seleccionar de manera que se cumpla:

$$N_1 n_1 = N_2 n_2 \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Protección diferencial de transformadores

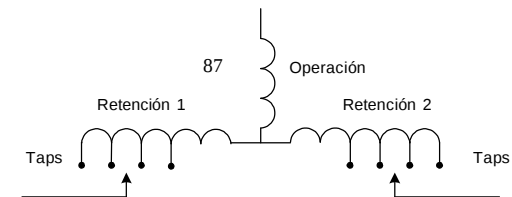
§ Solución a las dificultades planteadas

- ü En general, no será posible satisfacer esta relación ya que los TC están estandarizados.
 - ü Por lo tanto, una vez que se seleccionen los TC se tendrá una diferencia entre las magnitudes de las corrientes por comparar.
- c) Por otra parte, con el fin de solucionar el problema de las distintas corrientes secundarias por comparar, se utilizan relés con:
- C1) Diferentes sensibilidades (slopes), por ejemplo: 15 - 25 - 40 - 50 %.
- C2) Con diferentes números de vueltas en sus enrollados de retención (taps), de modo que, aunque las corrientes en comparación no sean iguales, el relé (que compara torques), opere con el mismo porcentaje o pendiente, siempre que la razón de éstas sea igual a la razón de los taps correspondientes (iguales corrientes en veces Taps).

Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas

- Ø Los taps están definidos en Amperes de manera que produzcan la misma FMM de retención y por lo tanto el mismo flujo magnético de retención y en consecuencia, la misma fuerza (torque).

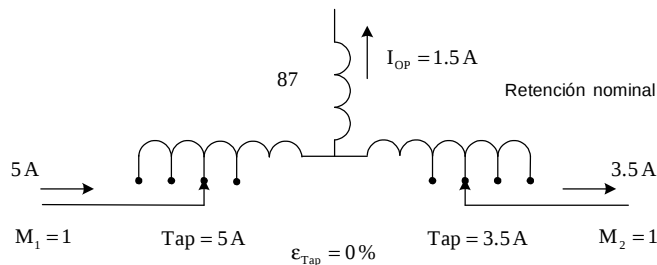


- Ø Por ejemplo, los taps disponibles en ambas unidades de retención son: 2.9, 3.2, 3.5, 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 8.7 A.

Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas

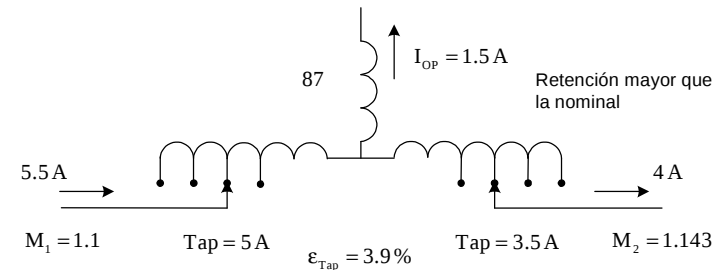
- Ø Al escoger los taps 5 y 3.5 A y suponiendo que estas corrientes circulan por las respectivas bobinas de retención, el relé produce la fuerza (el torque) de retención nominal y si las corrientes son opuestas la fuerza (torque) de retención será nulo.



Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas

- Ø Si las corrientes por el Sep son mayores que los Taps



- Ø Error de Tap del relé

$$\epsilon_{Tap} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100; M_1 > M_2 \quad \epsilon_{Tap} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100; M_2 > M_1$$

Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas

C3) En caso de no tener taps, se deben utilizar auto transformadores auxiliares de corriente con tomas, para tratar de igualar las corrientes por comparar.

- d) Puede ser resuelto ajustando la sensibilidad (slope) del relé.
- e) El relé diferencial tipo viga equilibrada o disco de inducción, se aplica en transformadores de poder no mayores de 4 a 8 MVA, puesto que para potencias mayores se requeriría insensibilizarlo o temporizarlo para lograr que no opere en el instante de conexión del transformador, debido a la corriente in-rush, atentando de este modo contra las principales ventajas de la protección diferencial, como lo son su rapidez y sensibilidad.

- Ø Las soluciones anteriores se han ido dejando de lado, debido a que se ha desarrollado un relé especialmente para aplicaciones de transformadores de poder que resuelve el problema.

Protección diferencial de transformadores

§ Solución a las dificultades planteadas

- Ø Relé diferencial con retención de armónicas.

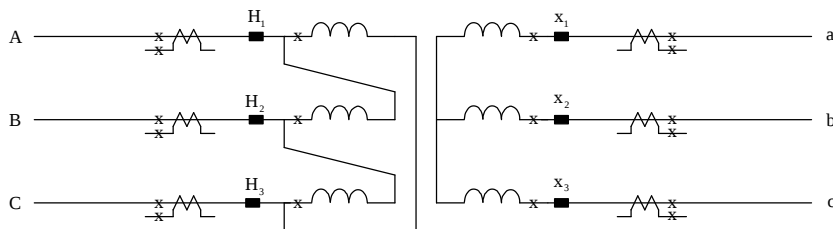
q Es capaz de diferenciar entre corrientes de falla y corriente in-rush.

q Para ello, se aprovecha el alto contenido de segunda armónica de la corriente in-rush que se utiliza como retención.

Alambrado protección 87 para transformadores Δ -Y

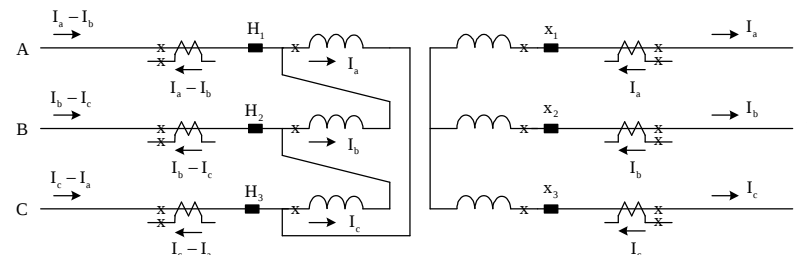
Ū Como ejemplo, se utilizará la conexión Dy1

1. Dibujar la representación esquemática del transformador de poder incluyendo los TC a ambos lados. Los bornes de polaridad de los TC pueden estar al lado izquierdo o derecho del TC respectivo.



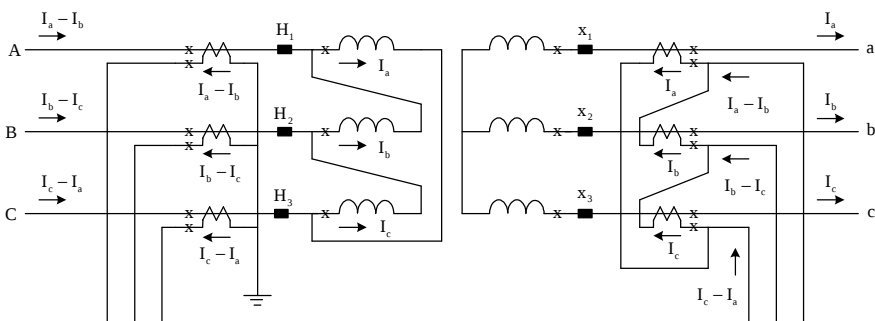
Alambrado protección 87 para transformadores Δ -Y

2. Dibujar los sentidos de las corrientes a través de los enrollados del lado Y.
3. Suponer razón de vueltas 1 : 1 entre los enrollados de una misma pierna (o banco) del transformador de poder y en los TC. Determinar las corrientes de línea en el lado delta y en el secundario de los TC.



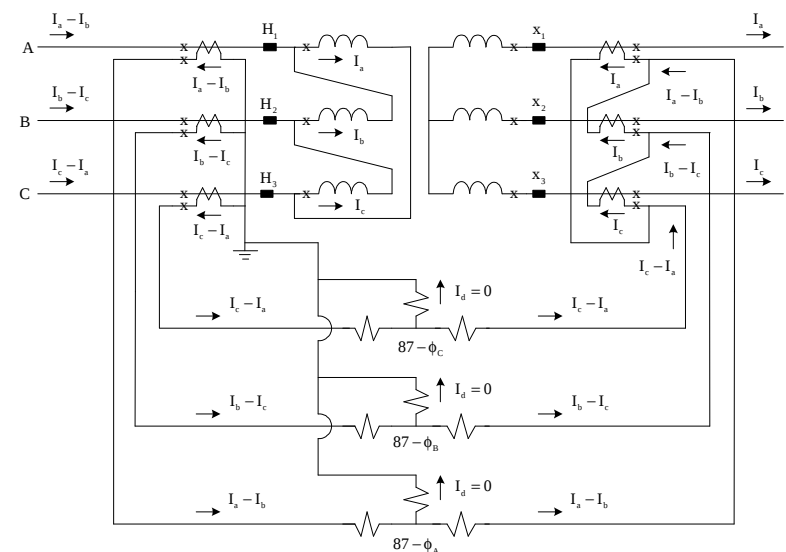
Alambrado protección 87 para transformadores Δ -Y

4. Conectar los enrollados secundarios de los TC de manera que sus respectivas corrientes de línea a ambos lados del transformador de poder sean iguales (corrientes de retención). Esto se consigue, conectando los TC en forma opuesta a la conexión del transformador de poder.

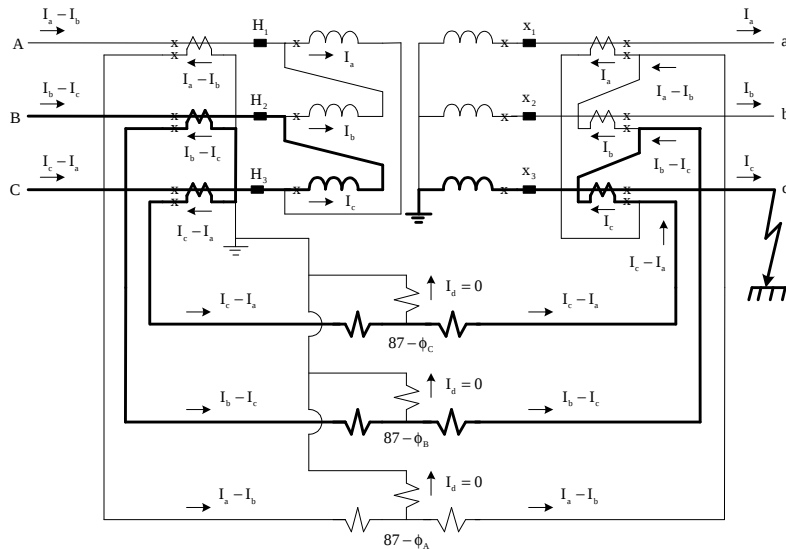


Alambrado protección 87 para transformadores Δ -Y

5. Dibujar y conectar los 87 de porcentaje.



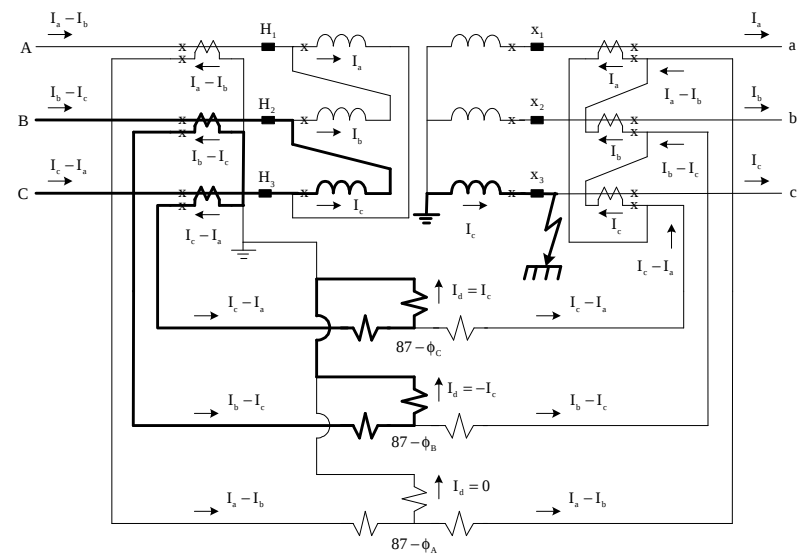
Falla externa monofásica en la fase c



Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

37

Falla interna monofásica en la fase c



Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

38

Ajuste del 87 de porcentaje

La corriente diferencial (error de corriente) depende:

- a) Error debido a la diferencia entre la razón de vueltas del transformador de poder y la relación inversa entre la razón de los TC.

ü La discrepancia entre la razón requerida ($N_1 n_1 = N_2 n_2$) y la estándar da origen a un desajuste entre las corrientes de retención, causando un error de corriente diferencial.

Este error puede ser minimizado de dos formas:

- a1) Utilizando auto transformadores de corriente auxiliares con Taps para tratar de igualar las corrientes de retención. Cómo los pasos son discretos no será posible igualar totalmente ambas corrientes.

Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

39

Ajuste del 87 de porcentaje

- a2) Utilizando Taps incorporados en las unidades de retención del relé.

Ø Las corrientes de retención verdaderas, en régimen permanente, no son exactamente iguales a los Taps disponibles, por lo tanto, los Taps se deben seleccionar para que las bobinas de retención queden equilibradas en términos de FMM (flujo magnético), para que cada bobina produzca la misma fuerza o torque de retención (ver cap. 2).

Ø En consecuencia, los Taps se ajustan para que las corrientes de retención sean iguales en veces Taps, con los Taps lo más próximos a las respectivas corrientes de manera de aproximarse a la retención nominal.

Ø En la práctica no habrá un balance exacto de las corrientes en veces Tap, lo que dará origen a un **error de Taps**.

q Este procedimiento es análogo al anterior, produce el mismo efecto; es decir, producir en condiciones normales de operación una fuerza (torque) de retención muy superior al de operación.

Protecciones en redes eléctricas - Escuela Universitaria de Ingeniería Eléctrica-Electrónica UTA

40

Ajuste del 87 de porcentaje

b) Error por clase de precisión

- ü Se debe a la saturación del núcleo magnético de los TC cuando se producen corrientes elevadas de cortocircuito.
- ü Las clases de precisión utilizadas son: 2.5 %, 5 % o 10 %.
- ü Los errores asociados son: $\pm 2.5 \%$, $\pm 5 \%$ o $\pm 10 \%$.
- ü Suponiendo que los dos TC asociados a un relé 87 operan en la peor condición:
TC1: $+2.5 \%$, $+5 \%$ o $+10 \%$.
TC2: -2.5% , -5% o -10% .
- ü El error total será: 5 %, 10 % o 20 %.

Ajuste del 87 de porcentaje

c) Error asociado a los cambios de tomas en el transformador de poder

- ü El ajuste del 87 se hace con el cambiador de tomas en su posición central; cualquier cambio de tomas produce un error de corriente.
- ü Generalmente, el rango total de variación de las tomas es $\pm 10 \%$.
- ü El peor caso se produce cuando el cambiador está en el límite superior.

$$\epsilon_{\text{Tap T/F}} = +10\%$$

d) Margen de seguridad

- ü Se introduce para garantizar la selectividad del relé dentro de su zona de protección. Se considera un 5 % de margen.

El error total será:

$$\epsilon_{\text{total}} = \epsilon_{\text{clase precisión}} + \epsilon_{\text{Tap T/F}} + \epsilon_{\text{Tap relé}} + \epsilon_{\text{seguridad}}$$

Ajuste del 87 de porcentaje

e) Selección de los TC

- ü Calcular la corriente nominal a cada lado del transformador.
- ü Elegir las razones de los TC de modo que la corriente secundaria correspondiente a la corriente primaria nominal, no exceda el rango de los TC (5 A).

Ajuste del 87 de porcentaje

Especificación de ajustes

- ü La especificación del ajuste se simplifica bastante, ya que, por ser inherentemente selectiva, no necesita ser coordinada con otra protección, pudiendo ser instantánea.
- ü Se deberá especificar: Razones de los TC principales y auxiliares, si los hubiera, Taps del relé y porcentaje o pendiente (slope).

Cálculo de Taps

1. Calcular la corriente nominal a ambos lados del transformador de poder.
2. Elegir razones de TCs de modo que la corriente secundaria en los TCs no excedan la I_N secundaria del TC (5 A ó 1 A). En esta elección deberá tenerse en cuenta de equilibrar las corrientes secundarias que llegan al relé por medio de los taps.

Ajuste del 87 de porcentaje

Cálculo de Taps

3. En el caso de relés electromecánicos, no se requieren transformadores auxiliares de corriente para balancear las corrientes de retención, si la I_{ret} mayor no excede tres veces a I_{ret} menor. Si se trata de relé numérico, deberá consultarse el manual respectivo.

$$\frac{I_{ret.mayor}}{I_{ret.menor}} \leq 3$$

4. Los Tap's se seleccionan de manera que las corrientes de restricción en veces Tap sean iguales (retención nominal en régimen permanente).

$$\frac{I_{ret1}}{Tap1} = \frac{I_{ret2}}{Tap2} \Rightarrow \frac{Tap2}{Tap1} = \frac{I_{ret2}}{I_{ret1}}$$

Ajuste del 87 de porcentaje

Cálculo de Taps

- Ø Se debe cuidar que el error por Tap del relé no sea superior al 15%. En el caso de transformadores con cambio de tomas bajo carga habrá que considerar el error por cambio de Tap dentro de esta tolerancia. Así por ejemplo, si el transformador posee cambio de Tap que permite variar el voltaje en $\pm 10\%$, que es lo usual, el error por TAP en el relé no deberá exceder el 5%.
- Ø Si no se pueden elegir Taps que estén dentro de las tolerancias indicadas, deberá escogerse otras razones de TC's, o usar TC's auxiliares.

Ajuste del 87 de porcentaje

Elección de la sensibilidad o pendiente del relé

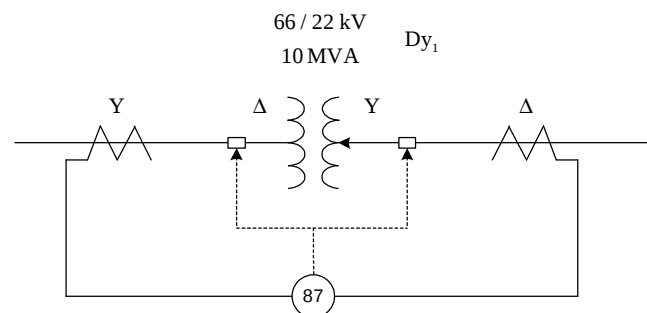
La sensibilidad de relés diferenciales electromecánicos que se aplican a transformadores de poder pueden ser: 15, 25, 40 y 50%.

Para elegir la sensibilidad se toma en cuenta los siguientes factores:

- 1) Rango máximo de cambio de tomas del transformador de poder, manual o automático; generalmente no excede $\pm 10\%$.
- 2) Error por Tap en el relé no mayor de 5%, según lo establecido antes.
- 3) Error debido a saturación de los TCs para fallas externas. Esto se obtiene conociendo el valor de la corriente máxima por falla externa y la característica de saturación de los TCs.

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{clase\ precisión} + \varepsilon_{Tap\ T/F} + \varepsilon_{Tap\ relé} + \varepsilon_{seguridad}$$

Ejemplo numérico



Tap disponibles en el relé 87: 2.9 – 3.2 – 3.5 – 3.8 – 4.2 – 4.6 – 5.0 – 8.7 A.

Ajuste de sensibilidad: 25 %, 30 % y 45 %.

TC disponibles: 120 x 400 x 500 – 5 A; clase 2.5 C 200.

Rating permanente de las bobinas de retención 10A y de la de operación 5A.

Alambrar el relé, seleccionar los TC, los Tap del relé y su sensibilidad.

Ejemplo numérico

a) Realizar el alambrado del relé

b) Calcular las corrientes nominales del T/F de poder

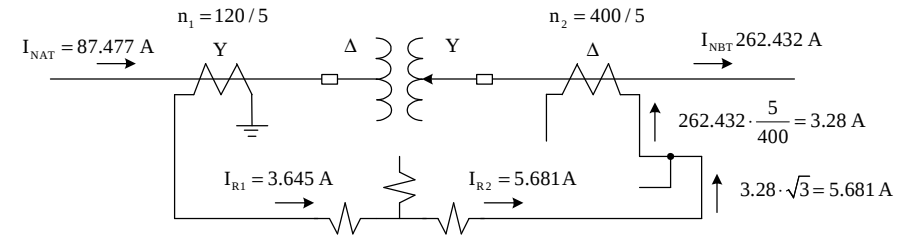
$$I_{N_{AT}} = 87.477 \text{ A}; \quad I_{N_{BT}} = 262.432 \text{ A} \quad (\text{en el Tap central})$$

c) Seleccionar TC's a ambos lados del T/F de poder

$$TC_{AT} = 120 / 5 \quad \text{y} \quad TC_{BT} = 400 / 5$$

Ejemplo numérico

d) Determinar las corrientes de retención



ü Se puede observar que las corrientes en los secundarios de los TC's están por debajo de su rating permanente de 5 A.

ü Y también, las corrientes por las bobinas de retención y de operación no superan los rating permanente de 10 y 5 A respectivamente.

ü Y también, las corrientes por las bobinas de retención y de operación no superan los rating permanente de 10 y 5 A respectivamente.

Ejemplo numérico

e) Seleccionar los Tap del 87

ü Tal como se dijo, los Tap se seleccionan en condiciones normales de operación de manera que las corrientes de restricción en veces Tap sean iguales.

$$\frac{I_{ret1}}{Tap1} = \frac{I_{ret2}}{Tap2} \Rightarrow \frac{Tap2}{Tap1} = \frac{I_{ret2}}{I_{ret1}} = \frac{5.681}{3.645} = 1.558 < 3$$

ü Seleccionar los Tap's del relé de manera que su razón sea lo más próxima a la razón de corriente 1.558. En este caso:

$$\frac{Tap2}{Tap1} = 1.563 = \frac{5.0}{3.2} \Rightarrow \begin{aligned} Tap1 &= Tap_{AT} = 3.2 \text{ A} \\ Tap2 &= Tap_{BT} = 5.0 \text{ A} \end{aligned}$$

Ejemplo numérico

Razón entre Tap: Combinaciones posibles								
Taps	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.6	5.0	8.7
2.9	1.000	1.103	1.207	1.310	1.448	1.586	1.724	3.00
3.2		1.000	1.094	1.188	1.313	1.438	1.563	2.719
3.5			1.000	1.086	1.200	1.314	1.429	2.486
3.8				1.000	1.105	1.211	1.316	2.289
4.2					1.000	1.095	1.190	2.071
4.6						1.000	1.087	1.890
5.0							1.000	1.740
8.7								1.000

Ejemplo numérico

f) Error de Tap

$$M_1 = \frac{3.645}{3.2} = 1.139 \quad M_2 = \frac{5.681}{5.0} = 1.136 \quad \epsilon_{\text{Taps}} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100 = 0.26\%$$

f) Error total de la corriente diferencial

$$\epsilon_{\text{Total}} = \epsilon_{\text{clase prec}} + \epsilon_{\text{Tap T/F}} + \epsilon_{\text{Tap relé}} + \epsilon_{\text{seguridad}}$$

$$\epsilon_{\text{Total}} = 5 + 10 + 0.26 + 5 = 20.26\%$$

g) Selección de la slope o sensibilidad

$$\text{Slope} > 20.26\% \Rightarrow \text{Slope} = 25\%$$

Transformador trifásico sin rotación de fase

ü Los transformadores son: Y – Y; Δ - Δ ; Δ - zig - zag

ü Preferentemente los TC a ambos lados se conectan en Y (también se pueden conectar en delta).

ü Si hubiese actuación de la protección diferencial para una falla externa monofásica a tierra, se debe utilizar la conexión delta de los TC.

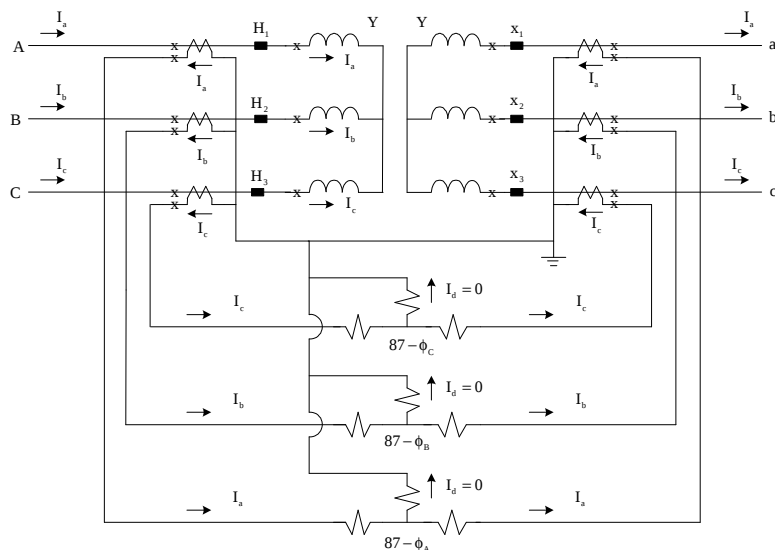
ü La conexión a tierra que se muestra tiene dos finalidades.

Ø Provocar un cortocircuito directo, en caso de que se produzca una falla de aislación interna de los TC.

Ø Por seguridad, para garantizar que las carcassas de los TC estén al mismo potencial de tierra.

Transformador trifásico sin rotación de fase

ü Conexión Y – Y neutro flotante



Transformador trifásico sin rotación de fase

ü Si la conexión del transformador de poder es Δ – Δ, los TC pueden conectarse en ambos lado en delta.

ü Si el Transformador de poder es tipo núcleo conectado en ambos lados en estrella a tierra, las corrientes de secuencia cero en pu en ambos lados son diferentes para fallas externas y el 87 podría operar. Si se trata de un banco, la corriente de excitación es prácticamente despreciable, por lo que ambas corrientes de secuencia cero se pueden considerar iguales en pu.

Ø **Clave:** La conexión de los TC en estrella en ambos lados se puede utilizar siempre que la corriente de secuencia cero en por unidad sea la misma a ambos lados del transformador de poder para fallas externas.

Ø La conexión delta de los TC es más segura ya que no permite que circule corriente de secuencia cero por los relés.

Protección diferencial con retención de armónicas

ü El esquema del relé diferencial de porcentaje mostrado tiende a mal operar debido a la corriente inrush.

ü Una manera de combatir este problema es desensibilizar el relé por un período breve de tiempo, justo después de la energización.

ü Esto no es aconsejable, debido a que la probabilidad de falla de aislación en el instante de la energización es bastante alta y el relé no se percataría de tal situación.

ü Cuando se comparan las formas de onda de corriente para una falla interna con la corriente inrush se puede apreciar que la corriente inrush es rica en armónicas mientras que la corriente de falla consiste solamente en la fundamental.

ü Esta situación se aprovecha para resolver el problema planteado.

Ø Desarrollar una retención adicional basada en el contenido de armónicas de la corriente inrush.

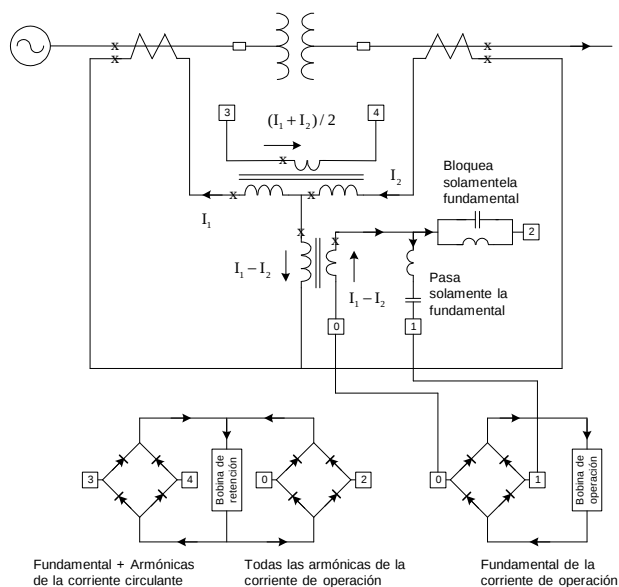
Ø Esta retención aparece solamente durante la condición inrush y es inefectiva durante fallas.

Protección diferencial con retención de armónicas

ü Contenido armónico de la corriente inrush

Frecuencia	Magnitud %
Fundamental	100
DC	40 - 60
Segunda armónica	30 - 70
Tercera armónica	10 - 30
Cuarta armónica	< 5
Quinta armónica	< 5
Sexta armónica	< 5
Séptima armónica	< 5

Protección diferencial con retención de armónicas

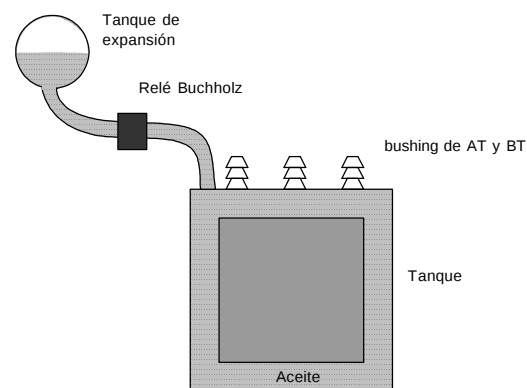


Relé Buchholz (63)

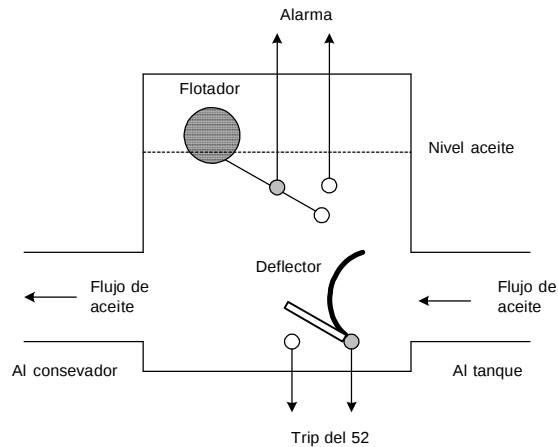
ü Detecta acumulación de gas o variaciones repentinas del flujo normal de aceite dentro del transformador.

ü Suelen instalarse en transformadores que poseen tanque de expansión.

ü Consiste en una cámara que se ubica entre el tanque de expansión (conservador) y el tanque principal.



Relé Buchholz



Relé Buchholz

ü Fallas incipientes (alarma)

- Ø Son fallas que se encuentran en su etapa de inicio debido a una pérdida de aislación; por ejemplo, entre una bobina y el núcleo o entre bobinas.
- Ø Se producen pequeños arcos eléctricos y en consecuencia un aumento de la temperatura en el lugar, causando la descomposición del aceite, que produce burbujas de gas que salen del transformador en dirección hacia el conservador.
- Ø Lentamente el gas pasa hacia el compartimiento superior del relé donde se va acumulando y fuerza a que el nivel del aceite baje lentamente haciendo que también haga lo mismo el flotador que finalmente inicializa una señal de alarma.
- Ø También opera cuando el nivel de aceite ha bajado más allá de lo permitido (fugas).

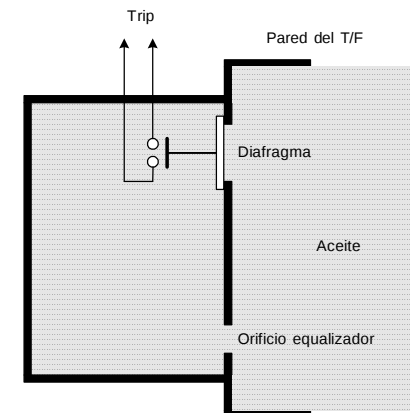
Relé Buchholz

ü Fallas grandes (cortocircuitos)

- Ø Una falla incipiente puede evolucionar hacia una falla más grave, tal como un cortocircuito interno.
- Ø Se produce un arco eléctrico de gran intensidad, provocando un calentamiento rápido del aceite en el lugar.
- Ø Se produce un rápido ascenso de gas y aceite que pasa por el tubo hacia el conservador (el aceite se expande produciéndose un flujo de aceite) que arrastra la lámina deflectora provocando que su switch asociado opere.
- Ø También opera el switch asociado a la alarma.

Relé de presión súbita (20)

- Ø Se utiliza en transformadores sellados (no hay un tanque conservador). En estos casos es difícil instalar un relé Buchholz.
- Ø Se instala en la pared del tanque del transformador.



Relé de presión súbita

Ø No responde a variaciones lentas de la presión del aceite ocasionados por variaciones de la corriente en régimen permanente , sobretensiones de maniobra, cortocircuitos o cualquier tipo de falla externa.

Ø En estos casos, el orificio ecualizador ecualiza (regula) la presión entre el tanque del relé y el tanque del transformador igualando la presión a ambos lados del diafragma.

Ø Para fallas incipientes o cortocircuitos internos el aceite se expande produciendo una onda de presión que se propaga rápidamente por el aceite del transformador. Se produce una diferencia de presión contra el diafragma cerrando los contactos del relé.