D.I: Sistemas de protección de transformadores

Curso: Introducción a los Sistemas de Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia
IIE-Fing-UdelaR

Facultad de Ingeniería - UDELAR

Indice

1. Introducción
2. Protecciones mecánicas:
3. Protección de transformador frente a sobrecorrientes:
4. Protección contra sobreflujo:

INTRODUCCIÓN:

Los transformadores de potencia son los equipos de mayor costo en las subestaciones de transformación, además de fundamentales en la salida de la potencia generada en las subestaciones de centrales de generación y vitales en todos los casos para el normal funcionamiento del sistema eléctrico de potencia.

INTRODUCCIÓN:

Falla en un transformador

Cuando ocurre una falta en un transformador, el daño es normalmente severo. El transformador debe ser transportado para ser reparado, lo cual toma un tiempo considerable. Operar un sistema de trasmisión con un transformador fuera de servicio es siempre muy complicado. Frecuentemente, el impacto de una falta un transformador es más serio que la salida de servicio de una línea.

TIPOS DE FALLAS EN UN TRANSFORMADOR:

Tipos de falla:

Los devanados y el núcleo del transformador están sometidos a diferentes fuerzas durante la operación normal:

1. vibración
2. expansión y contracción debido al ciclo térmico
3. calentamiento debido al flujo magnético
4. fuerzas debido a corrientes de falta pasantes
5. calentamiento debido a sobrecarga o refrigeración inadecuada

Estas fuerzas pueden causar deterioro y falla de la aislación.

TIPOS DE FALLAS EN UN TRANSFORMADOR:

Las fallas en los transformadores de potencia pueden causar exigencias tanto internas como externas que hacen que la unidad no sea capaz de realizar su función, tanto desde el punto de vista eléctrico como mecánico.

TIPOS DE FALLAS EN UN TRANSFORMADOR:

Causas iniciales

Las causas iniciales que llevan a fallas en los transformadores se pueden agrupar:

falla en los arrollamientos : Algunas de las razones que llevan a este tipo de falla son: deterioro de la aislación, defectos de fabricación, sobrecalentamiento, stress mecánico, vibraciones.

terminales y cambiador en vacío : Fallas debido al montaje incorrecto, daño durante el transporte, vibraciones excesivas o diseño inadecuado.

TIPOS DE FALLAS EN UN TRANSFORMADOR:

Causas iniciales...cont.

fallas en los bushings : Las causas para este tipo de falla incluyen vandalismo, contaminación y animales.

cambiador bajo carga : Estas fallas pueden ser debido a mal funcionamiento del mecanismo, problema de contacto, contaminación del medio aislante. Los cambiadores bajo carga generalmente se utilizan en las empresas eléctricas más que en el sector industrial.

Otras fallas : Entre otras causas de fallas se encuentran las fallas en en la aislación, falla en los transformadores de corriente que están en el interior de los bushings.

TIPOS DE TRANSFORMADORES:

Tipos de transformadores

Hay dos tipos de transformadores de potencia que se utilizan tanto en la industria como en los sistemas de potencia:

de aislación líquida Los transformadores con aislación líquida están diseñados de manera que el núcleo y los arrollamientos están contenidos en un tanque lleno de líquido, generalmente aceite.

de aislación seca Los transformadores de aislación seca, generalmente, tienen el núcleo y los arrollamientos rodeados por un gas, en algunos casos puede ser aire.

SISTEMA DE PROTECCIÓN DE UN TRANSFORMADOR:

Sistema de protección

El sistema de protección para un transformador de potencia es una combinación de funciones de manera de:

- proteger el sistema de potencia de las fallas en el transformador.
- proteger el transformador debido a las perturbaciones que ocurren en el sistema de potencia.
- proteger al transformador de fallas incipientes dentro del mismo.

SISTEMA DE PROTECCIÓN DE UN TRANSFORMADOR:

Cuando ocurre una falta en un transformador, el daño es proporcional al tiempo de la falta. Por lo tanto, el transformador debe ser desconectado tan rápido como sea posible de la red. Debido a esto, se utilizan normalmente relés de protección rápidos y confiables.
Se recomienda que el sistema de protección provoque el disparo instantáneo de todos los interruptores del transformador en caso de falta interna, y que también desconecte el transformador en caso de falta externa, a modo de respaldo.

SISTEMA DE PROTECCIÓN DE UN TRANSFORMADOR:

Transformador: potencia > 5MVA

Un sistema de protección de un transformador de potencia superior a 5MVA está compuesto por al menos:

- Relé detector de gas (Relé Buchholz)
- Relé de imagen térmica
- Termómetro
- Protección diferencial contra faltas entre fases
- Protección contra sobreflujo
- Protección de sobrecorriente
- Protección contra faltas a tierra

SISTEMA DE PROTECCIÓN DE UN TRANSFORMADOR:

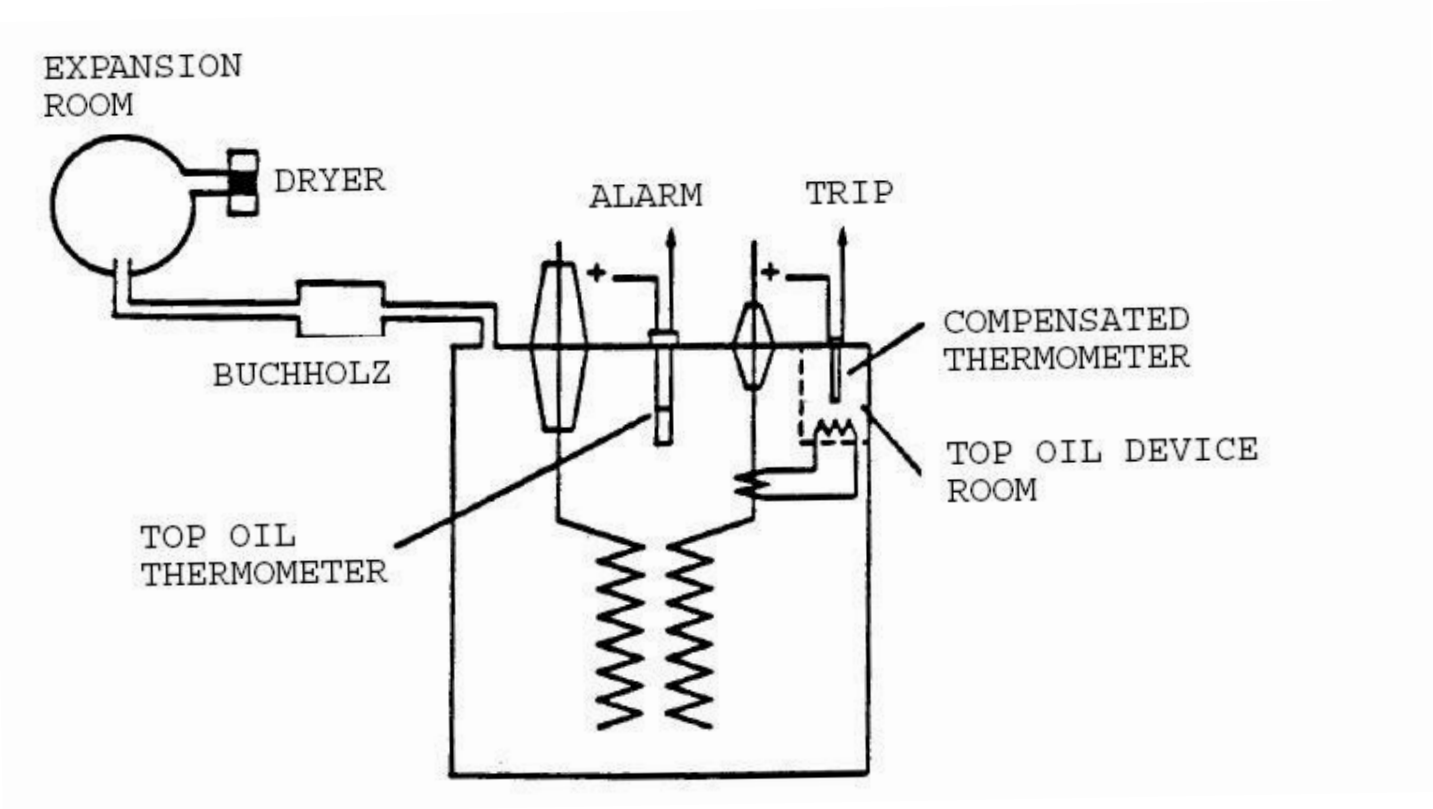
Transformador: potencia < 5MVA

Un sistema de protección de un transformador de potencia menor a 5MVA está compuesto por al menos:

- Relé detector de gas (Relé Buchholz)
- Relé de imagen térmica
- Protección de sobrecorriente
- Protección contra faltas a tierra

PROTECCIONES MECÁNICAS:

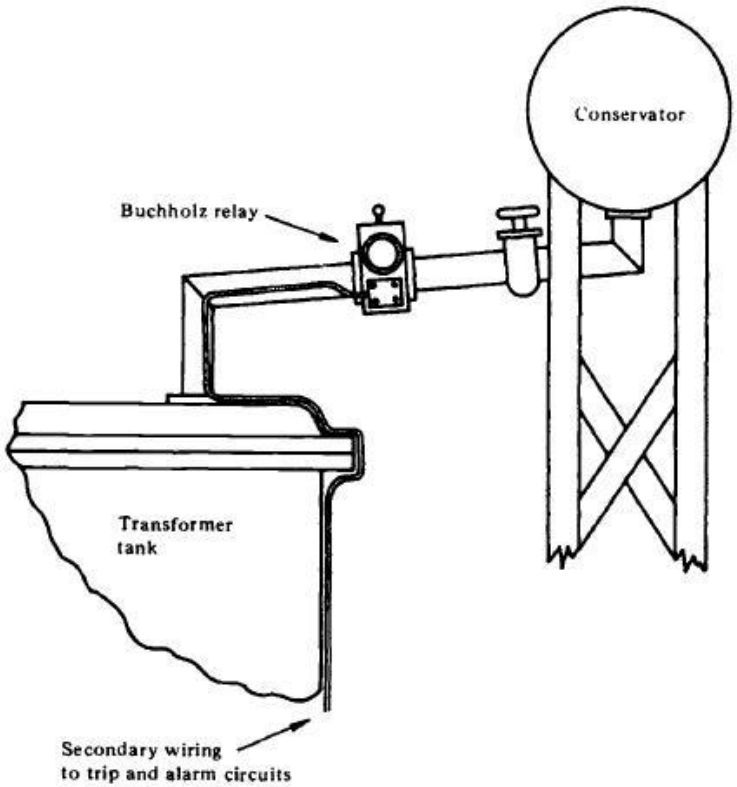
La siguiente figura muestra la ubicación del relé Buchholz, el termómetro y el relé de imagen térmica.



PROTECCIONES MECÁNICAS: BUCHHOLZ

Relé Buchholz:

Esquema simplificado de un relé Buchholz y su ubicación en un transformador:



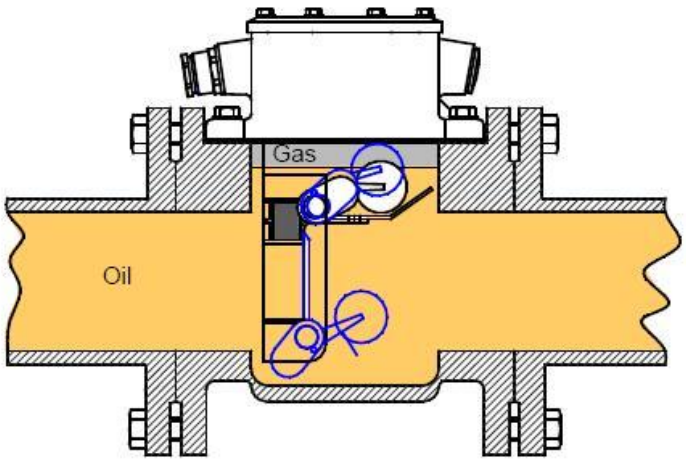
PROTECCIONES MECÁNICAS: BUCHHOLZ

En los transformadores con tanque de expansión, los defectos internos se detectan en forma simple y segura, por este relé, que actúa ante la formación de gases, la pérdida de aceite o la acumulación de aire por lo que además vigila el nivel de aceite.

PROTECCIONES MECÁNICAS: BUCHHOLZ

A continuación se explica el funcionamiento del relé Buchholz:

Acumulación de gas:

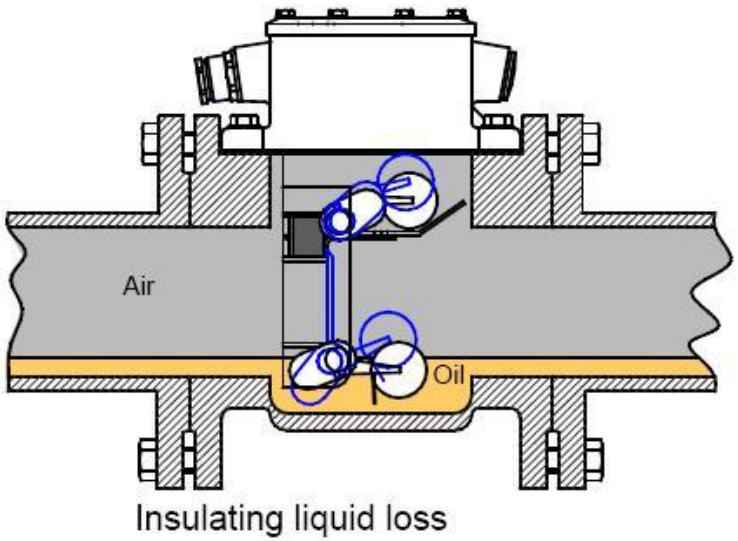


Gas accumulation

El gas en el líquido se mueve hacia arriba, haciendo bajar el nivel de aceite. El flotador se mueve hacia abajo, cerrando el contacto de alarma. El flotador de abajo no es afectado.

PROTECCIONES MECÁNICAS: BUCHHOLZ

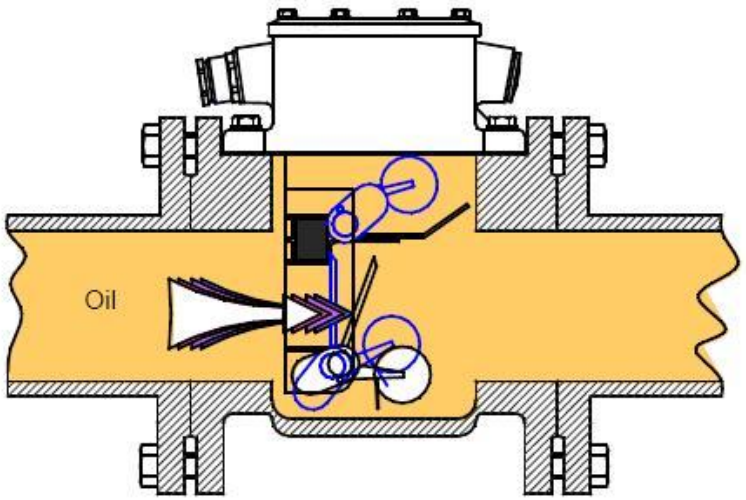
Pérdida de aceite:



Como el líquido baja, el flotador superior hace actuar el contacto de alarma. Si el nivel contínua bajando, el flotador inferior hace actuar el contacto de disparo, que desconecta el transformador.

PROTECCIONES MECÁNICAS: BUCHHOLZ

Flujo de aceite



Cuando el flujo de aceite pasa a través del amortiguador (damper), dependiendo de la aceleración del mismo puede hacer actuar solo el contacto de alarma o también puede hacer actuar el contacto de disparo, desconectando el transformador.

PROTECCIÓN TÉRMICA

Sobrecalentamiento de los transformadores

Los transformadores pueden sobrecalentarse debido a las siguentes razones:

- Temperatura ambiente altas
- Fallas en el sistema de enfriamiento
- Fallas externas no despejadas
- Sobrecarga
- Condiciones anormales del sistema como baja frecuencia, alta tensión, corriente de carga no sinusoidal.

PROTECCIÓN TÉRMICA

Consecuencia del sobrecalentamiento

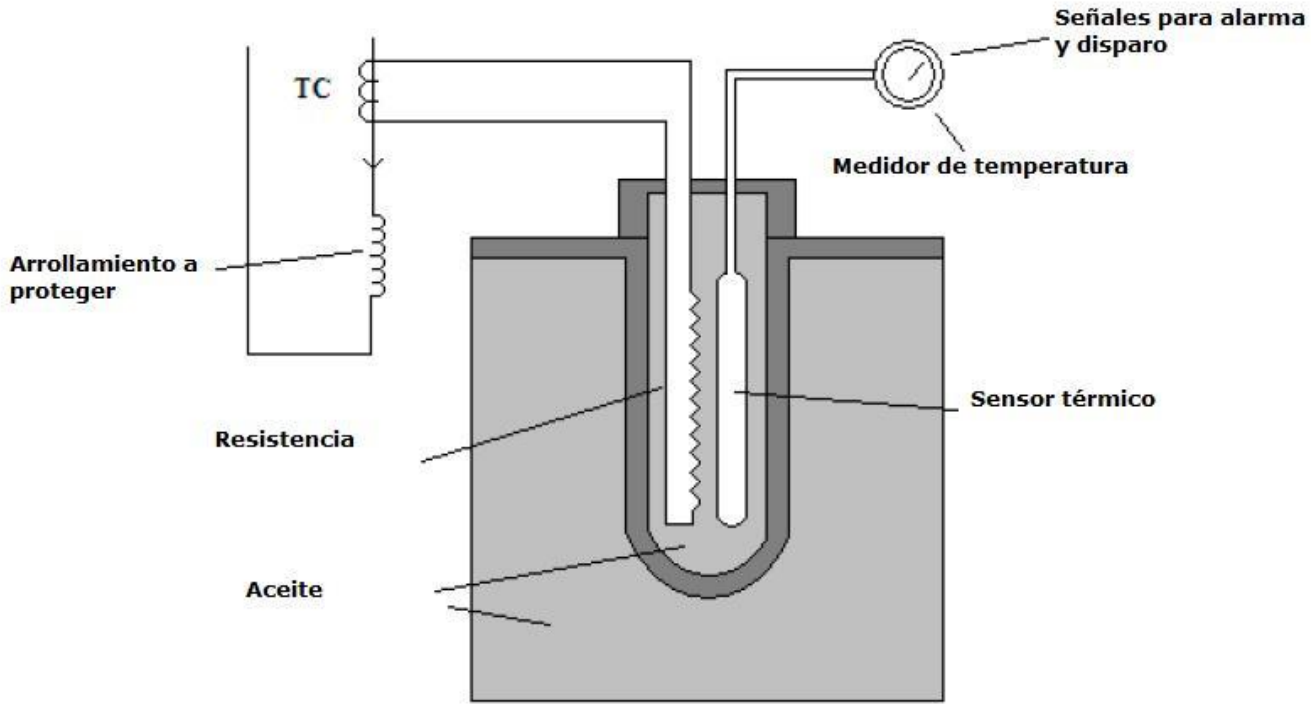
Los resultados indeseables del sobrecalentamiento son:

- El sobrecalentamiento acorta la vida del aislamiento del transformador en proporción a la duración de la alta temperatura y en proporción al grado de la alta temperatura.
- La sobretemperatura severa puede causar una falla en la aislación.
- La sobretemperatura severa puede hacer que el refrigerante del transformador se caliente y se incendie.
- El sobrecalentamiento puede generar gases que pueden resultar en una falla eléctrica.

PROTECCIONES MECÁNICAS: IMAGEN TÉRMICA

La protección de imagen térmica busca determinar la temperatura de los arrollamientos, en base a la medición de la corriente que circula a través de ellos.
La carga máxima admisible en un transformador, está determinada por la temperatura del punto más caliente del devanado, y su conocimiento permite la utilización de la capacidad térmica del transformador, o sea grandes sobrecargas durante cortos intervalos de tiempo, y pequeñas sobrecargas durante largos períodos.

PROTECCIONES MECÁNICAS: IMAGEN TÉRMICA



PROTECCIONES MECÁNICAS: IMAGEN TÉRMICA

Funcionamiento:

Si llamamos:

Θ_e: temperatura del punto más caliente del arrollamiento

$\Delta\Theta_h$: elevación de la temperatura del punto más caliente del aceite respecto a la temperatura ambiente

Θ_a: temperatura ambiente

$\Delta\Theta$: diferencia de temperatura del punto más caliente del arrollamiento y del punto más caliente del aceite. Diferencia que llamaremos: diferencia de arrollamiento.

tenemos: $\Theta_e = \Theta_a + \Delta\Theta_h + \Delta\Theta$

PROTECCIONES MECÁNICAS: TERMÓMETRO

Termómetro

El termómetro da una medida directa de la máxima temperatura del aceite, y en régimen normal permite conocer la temperatura de los arrollamientos. Mediante contactos auxiliares, los termómetros pueden dar, a determinadas temperaturas, señales de alarma y/o señales de disparo.

CURVA DE SOPORTABILIDAD DEL TRANSFORMADOR:

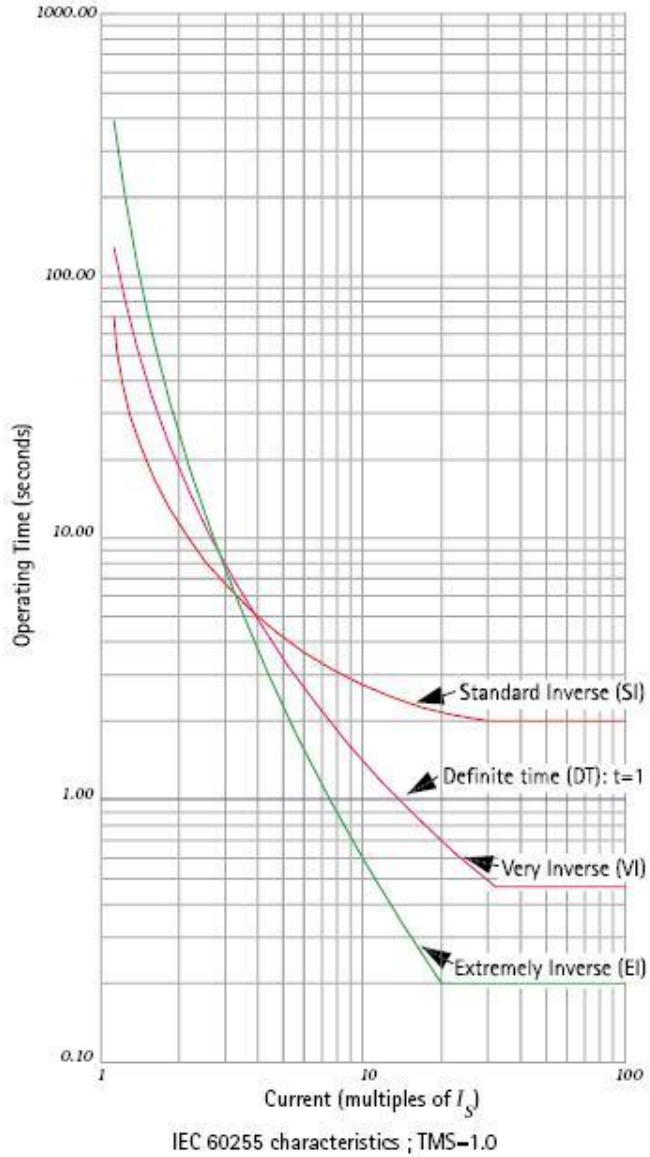
La protección contra sobrecarga del transformador se puede proporcionar, además, con los relés de sobrecorriente.
Estos relés tiene la función de sobrecorriente temporizada que permite ajustarse en valores superiores a la sobrecarga normal y la característica de actuación debe coordinarse con los relés de sobrecorriente aguas abajo y aguas arriba. La función de sobrecorriente instantánea se ajusta, siempre que sea posible, dentro de los rangos de corriente permitido por el transformador, para la corriente de falta que puede soportar (through-fault current).

CURVA DE SOPORTABILIDAD DEL TRANSFORMADOR:

Los relés de sobrecorriente tienen su característica de operación definida.

Relay Characteristic	Equation (IEC 60255)
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standard earth fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

CURVA DE SOPORTABILIDAD DEL TRANSFORMADOR:



CURVA DE SOPORTABILIDAD DEL TRANSFORMADOR:

Curva de soportabilidad:

La características de operación de las funciones de sobrecorriente se deben coordinar con las curvas de soportabilidad del transformador a las corrientes de cortocircuito.
La norma IEEE Std C57.109 describe estas curvas que tienen en cuenta tanto el daño por efecto mecánico como por efecto térmico que afecta a un transformador cuando está sometido a corrientes de falta.

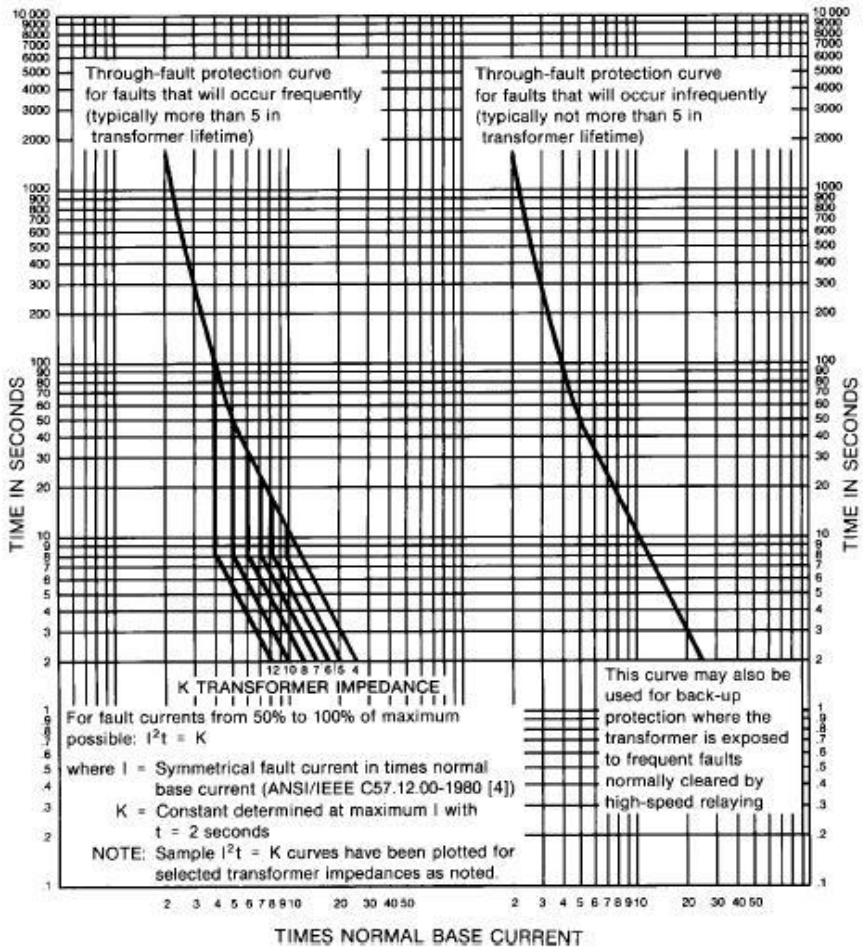
CURVA DE SOPORTABILIDAD DEL TRANSFORMADOR:

Las mismas están dividas en cuatro categorías de transformadores inmersos en aceite:

- Categoria I: 5-500kVA single-phase, 15-500kVA three-phase
- Categoria II: 501-1667kVA single-phase, 501-5000kVA three-phase
- Categoria III: 1668-10000kVA single-phase, 501-30000kVA three-phase
- Categoria IV: above 10000kVA single-phase, above 30000kVA three-phase

CURVA DE SOPORTABILIDAD DEL TRANSFORMADOR:

Protección de sobrecorriente:



—Through-fault protection curves for liquid-immersed Category III transformers (1668–10 000 kVA single-phase, 5001–30 000 kVA three-phase)

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE:

Protección de sobrecorriente

Las protecciones de sobrecorriente se utilizan para proteger al transformador frente a faltas externas. En los transformadores pequeños, la protección de sobrecorriente se utilizan para proteger frente a faltas internas. En los transformadores grandes, la protección de sobrecorriente se utiliza como respaldo de la protección diferencial.

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA:

La protección de sobrecorriente temporizada, que se instala en el lado primario del transformador de potencia, proporciona protección para faltas en el interior del mismo y proporciona una función de respaldo para faltas en el lado secundario y terciario del transformador.
Esta función proporciona una protección limitada para las faltas internas del transformador, porque no es posible que los ajustes sean sensibles y además operen en forma rápida.

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA:

Ajustes: Corriente de arranque:

El valor de la corriente de arranque debe ser superior a capacidad de sobrecarga del transformador, y además debe ser capaz de soportar la corriente de energización del mismo.
Además, debe coordinar con la protección de sobrecorriente instalada en el lado secundario y terciario del transformador.

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA:

Ajustes: Curva de operación:

La curva de operación debe coordinar con la protección de sobrecorriente instalada en el lado secundario y terciario del transformador. Sin embargo, los transformadores tienen limitada el tiempo que puede soportar una corriente de falta, ya sea por efecto térmico como mecánico.
Para obtener una protección apropiada para el transformador, la protección de sobrecorriente debe operar antes que el transformador se dañe por una falta externa.

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA:

Ajustes: Sobrecorriente del lado secundario y terciario

Cuando se instalan protecciones de sobrecorriente del lado secundario del transformador, estas funciones son la protección principal para faltas del lado secundario del mismo. Sin embargo, estas protecciones de sobrecorriente no proporcionan una protección para faltas internas.

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE INSTANTÁNEA:

La protección de sobrecorriente instantánea, instalada en el lado primario del transformador, proporciona protección rápida frente a faltas internas en el mismo. El valor de la corriente de operación se ajusta de manera de no operar para faltas en el lado secundario del transformador y no operar para la corriente de energización del transformador.
La corriente de operación de la protección de sobrecorriente instantánea se ajusta entre un 120 % - 175 % de la corriente de falta del lado secundario del transformador.
La función de sobrecorriente instantánea en el lado secundario y terciario no se habilita debido a que no se puede coordinar con las funciones instantáneas de las salidas.

PROTECCIÓN CONTRA SOBREFLUJO:

Efecto del sobreflujo:

El término de sobreflujo significa una densidad de flujo excesiva en el transformador, densidad de flujo por encima del codo (knee-point) de saturación.
Dependiendo de la duración, el sobreflujo puede ocasionar un daño serio o simplemente deteriorar la aislación.

Causas que producen sobreflujo en un transformador:

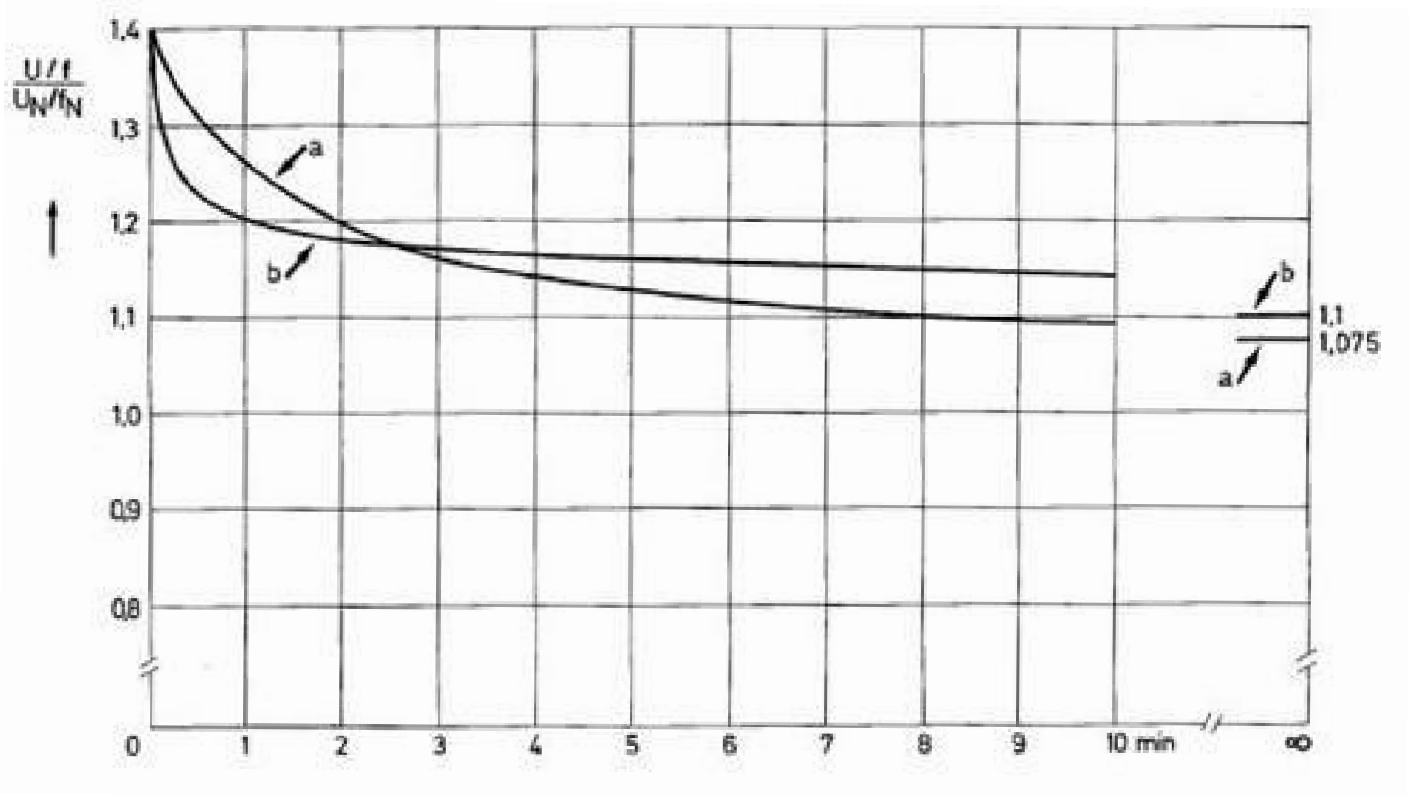
- sobretensiones
- operar por debajo de su frecuencia nominal

PROTECCIÓN CONTRA SOBREFLUJO:

La protección contra el sobreflujo (saturación) de un transformador de potencia debe impedir su calentamiento debido a una densidad de flujo demasiado elevada. Una mayor saturación provoca la existencia de una mayor corriente magnetizante, mayor pérdidas en el hierro y calentamiento adicional del circuito magnético.
El dispositivo de protección contra la saturación vigila el flujo magnético, midiendo la relación: $\frac{tensión}{frecuencia}$.

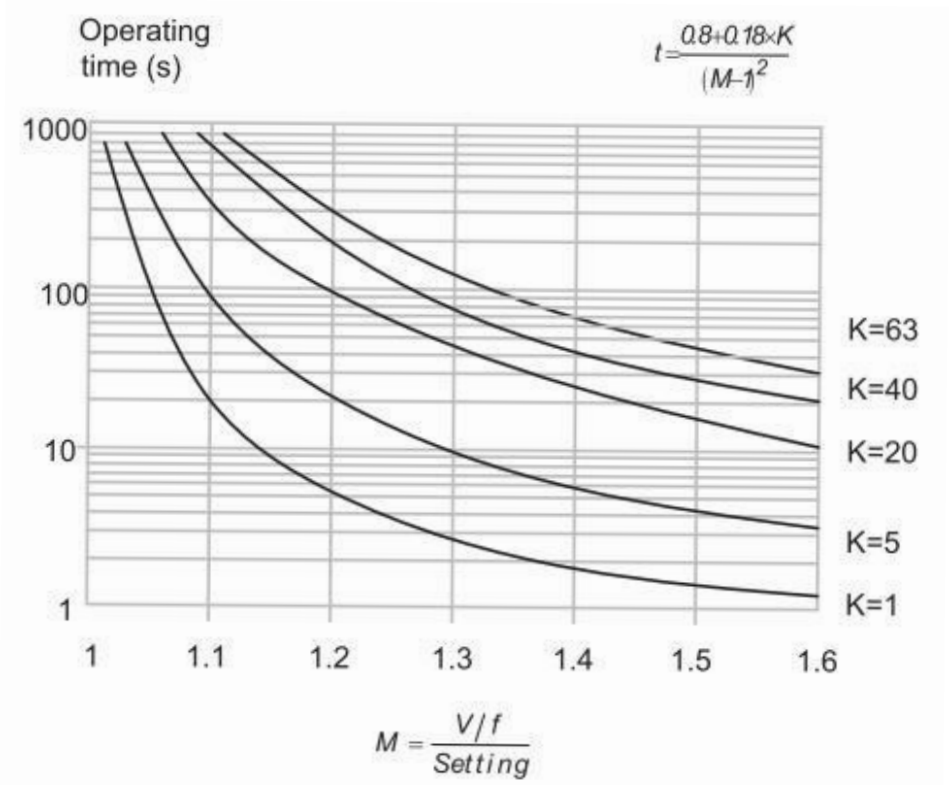
PROTECCIÓN CONTRA SOBREFLUJO:

Si un relé de máxima tensión vigila el flujo magnético, sólo suministra una información equívoca pues un aumento simultáneo de la tensión y de la frecuencia no significa todavía que haya saturación. En la figura se muestra una curva con el tiempo admisible de sobreflujo en un transformador de potencia.



PROTECCIÓN CONTRA SOBREFLUJO:

La protección normal es un relé que mide V/f, con una característica operación de tiempo inversa. Una característica típica se puede ver en la siguiente figura:



Esta función se implementa en el devanado donde no hay cambiador de puntos.