

TRANSFORMADORES Y PROTECCIONES



1. RELÉ DE BUCHHOLTZ
2. RELÉ DE JANSEN
3. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES POR RELÉ DE SOBREENTENSIDAD DE CUBA.
4. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES
5. PROTECCIÓN DE ALTA TEMPERATURA EN TRANSFORMADORES
6. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD Y TENSIÓN.

1. RELÉ DE BUCHHOLTZ

Objeto del relé Buchholtz.

Cualquier anomalía magnética o eléctrica que se presenta en el interior de un transformador da origen a calentamientos locales que descomponen el aceite o dan lugar a la combustión de los aislantes, originándose un desprendimiento más o menos importante de gas. El primer objeto del relé de Buchholtz es detectar este desprendimiento.

Puede también llegar a detectarse en el relé gases no combustibles, no originados por anomalía eléctrica ó magnética, por ejemplo, aire aspirado por la bomba de circulación, o procedente de una bolsa de aire no eliminada a poner en servicio el transformador.

El segundo objeto del relé de Buchholtz es la detección de un descenso anormal del nivel de aceite considerado admisible para el buen funcionamiento del transformador.

Funcionamiento del relé Buchholtz.

El relé está previsto para ser intercalado en la tubería que une la parte más alta de la cuba del transformador y el depósito de expansión.

En ocasiones las bornas de salida del transformador contienen aceite, formando un recipiente completamente separado y aislado del resto de la cuba. Estas bornas se unen entre sí por medio de una serie de tubos los cuales van conectados por un colector común a un relé de Buchholtz, independientemente del propio transformador.

El mecanismo introducido en una caja estanca, se compone de dos flotadores FA y FD que pueden girar en torno a sus respectivos ejes, basculando de este modo dos contactos de mercurio situados en las ampollas adosadas a cada flotador.

Cada uno de estos contactos cierra su correspondiente circuito (de alarma el flotador superior FA, y de disparo y bloqueo de disyuntores el inferior FD.).

El descenso del flotador de alarma FA, puede ser visualizado por una mirilla transparente, situada en un lateral del relé.

Casos en que actúa el relé Buchholtz.

Si como consecuencia de las causas que citamos anteriormente, se produce un desprendimiento de gases en el interior del transformador, estos ascienden hasta el interior del relé por una tubería de unión entre éste y la cuba, ocupando un cierto volumen y como consecuencia, desplazando el aceite situado en el interior del relé.

a) Al producirse un defecto poco importante, si las emanaciones de gas son suficientes para hacer descender el nivel de aceite hasta NA, se produce una rotación alrededor de su eje del flotador FA, que accionará el contacto correspondiente al circuito de alarma, mientras el flotador FD no acusa movimiento ninguno.

b) Producido un defecto importante, se origina una violenta emanación de gas, que provoca un desplazamiento del aceite de la cuba al depósito de expansión; antes de que los gases lleguen al relé, haciendo, por efecto del impulso producido por el aceite, girar en torno a su eje del flotador FD, y provocando el cierre del contacto de disparo, que excita un relé auxiliar, dando lugar al desenganche de la máquina por medio de sus disyuntores y el bloqueo de estos con la correspondiente alarma.

El contacto del flotador FD también se cierra si el volumen de los gases que ascienden al relé, hace descender el nivel de aceite en él a ND.

c) Si el nivel de aceite, bien por una contracción brusca, por una fuga, o por un cierre anormal de la válvula automática de retención de aceite VR, desciende en el relé, se origina el descenso del flotador FA, o FA y FD, según sea el nivel alcanzado por NA o ND, produciéndose la alarma o, el disparo y bloqueo de los disyuntores.

Extracción de gases para identificación de avería.

Cuando se efectúen estas pruebas, se tomará la precaución de no encender fuego o fumar en las proximidades del transformador, ya que los gases producidos son de carácter inflamable.

En todos los casos se seguirán las instrucciones de maniobra para el accionamiento del Buchholtz de un transformador o de un autotransformador, que se pueden encontrar en el correspondiente reglamento de servicio de la instalación.

Para determinar si los gases detectados son o no combustibles, en caso de alarma o disparo por relé de Buchholtz en un transformador, se procede a hacer barbotear los gases contenidos en el relé en un recipiente con solución de nitrado de plata al 10% de concentración.

Si en la solución se origina un precipitado de color lechoso, esto indica que se ha producido una combustión del aceite o de los aislantes del interior del transformador y por lo tanto, este no podrá ser puesto de nuevo en servicio por existir indicios de una avería interna.

2. RELÉ DE JANSEN

Objeto del relé Jansen

Las anomalías que se presentan en el interior de un regulador de carga, como pueden ser la ruptura de las resistencias de conmutación, no quedar en posición correcta el regulador, contactos en condiciones deficientes, etc., dan lugar a calentamientos locales que descomponen el aceite u originan la combustión de los dieléctricos, produciéndose un brusco desprendimiento de gases, que originan un desplazamiento del aceite contenido en la caja del regulador hacia el depósito de expansión.

El objeto del relé de Jansen es detectar las anomalías producidas en regulador en carga, dejando bloqueada la actuación del mismo, originando el desenganche de la máquina y bloqueo de sus disyuntores con la correspondiente alarma.

Funcionamiento del relé de Jansen

El aparato se instala intercalado en la tubería que une el regulador en carga con el depósito de expansión.

El mecanismo situado en su interior, consta de una clapeta situada frente al orificio de salida de aceite hacia el regulador y provista de un pequeño orificio en forma de semicírculo, que permite el paso de aceite en condiciones normales. Esta clapeta bajo el empuje del aceite desplazado hacia el conservador, vascúla entorno a un eje situado en su parte inferior, actuando por medio de una biela sobre un soporte que contiene una ampolla de vidrio con mercurio en su interior produciendo el cierre del circuito de energización del relé auxiliar.

La actuación del relé se puede verificar mediante la mirilla transparente situada en un lateral.

El resorte tiene por objeto tarar, tensándolo o destensándolo, la fuerza de empuje del aceite para las cuales actúa el mecanismo del relé.

Los pulsadores, situados en la parte superior del aparato protegido por una parte estanca, tiene por misión la reposición del mecanismo cuando este ha actuado y la verificación del buen funcionamiento del relé (Prueba).

Descripción del funcionamiento del circuito eléctrico auxiliar.

El contacto situado en el interior del relé, cierra el circuito de activación de un relé auxiliar, produciendo el desenganche de la máquina mediante la apertura de sus disyuntores, el bloqueo de los mismos y de la regulación en carga, con la correspondiente alarma.

Para la normalización del transformador se requiere primero la reposición del relé de Jansen mediante el pulsador situado en el, reponiendo a continuación el relé auxiliar de Jansen mediante el pulsador que se encuentra en el panel correspondiente.

En todos los casos para la normalización del transformador si ha actuado el relé de Jansen, se seguirá la instrucción de maniobra para actuación del relé de Jansen de un transformador o autotransformador, que pueda encontrarse en el reglamento de autoservicio de la instalación.

3. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES POR RELÉ DE SOBREINTENSIDAD DE CUBA.

Cuando existe un defecto de aislamiento entre las partes activas del transformador y la cuba, si se encuentra esta conectada a tierra, se produce una descarga eléctrica entre la parte con defecto de aislamiento y la cuba del transformador.

Como la cuba debe estar siempre conectada a una tierra franca mediante un conductor, para la protección del personal, aislándola de otro posible contacto con tierra que no sea el conductor de puesta a tierra, cualquier intensidad de descarga a la cuba del transformador tendrá que pasar forzosamente por este, por tanto, si hacemos pasar el conductor de puesta a tierra por un transformador de intensidad toroidal, la intensidad que recorra el conductor, generara una intensidad inducida en el transformador toroidal, que podremos utilizar para excitar un relé de sobreintensidad instantánea.

Este relé a su vez por medio de un contacto excitará un relé auxiliar, que provoca el disparo y bloqueo de los disyuntores necesarios para aislar el transformador (disyuntor en alta y baja generalmente).

Para la puesta en servicio del transformador después de un disparo por rele de cuba, será preciso reponer previamente el relé auxiliar de cuba que es el que realmente dispara y bloquea el cierre de los disyuntores.

Hay que hacer notar que una descarga de borna a cuba del transformador, producirá la actuación del relé de cuba sin que exista una avería interna del transformador. Así mismo si no se ha tomado la precaución de hacer pasar por el transformador toroidal el cable de alimentación a ventiladores, bombas de circulación de aceite, regulación en carga o cualquier otro elemento auxiliar del transformador, la derivación a la cuba de uno de estos cables de alimentación, provocará un disparo indebido.

En cualquier caso de actuación de la protección de sobreintensidad de cuba, se seguirán las instrucciones de maniobra que pueden encontrarse en reglamento de servicio de la instalación.

4. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES

Objeto de la protección diferencial

La protección diferencial tiene por objeto la detección de cualquier tipo de falta eléctrica interna en el transformador, así como de las externas, que se encuentren dentro de la zona abarcada por la protección, es decir, dentro de la zona comprendida entre los transformadores de intensidad del lado primario y del secundario del transformador, que alimenta a los relés diferenciales.

A título de ejemplo podemos citar los siguientes casos:

- Faltas internas Derivación a masa, corto entre espiras, etc.

- Faltas externas Cortocircuito entre bornas del transformador, cortocircuito entre bornas y masa, etc.

Es evidente que algunos de los aspectos abarcados por la protección diferencial, se encuentran ya cubiertos por la protección de Buchholtz. A pesar de ello, la protección diferencial es de actuación mucho más sensible que la de Buchholtz y cubre ciertas faltas externas graves, que no serían detectadas por el relé de Buchholtz, de aquí su utilización conjuntamente con esta protección.

Principio de funcionamiento de la protección diferencial de transformadores.

Consideremos primeramente el funcionamiento de un relé diferencial elemental.

El relé diferencial se encuentra conectado a dos transformadores de intensidad de adecuada relación de transformación, recibiendo por tanto las intensidades de ambos transformadores, de tal modo que por el relé pasará una intensidad: $I_D = I_1 - I_2$, por lo tanto si $I_1 = I_2$ la intensidad diferencial de ambas I_D será igual a cero. En este caso el relé diferencial no se verá excitado y no actuará, pero para todo valor de I_1 distinto de I_2 : circulará por el relé diferencial una corriente I_D que será capaz de excitarlo, es decir, que si existe una diferencia entre las corrientes secundarias de los transformadores de intensidad originada por un defecto dentro de la zona protegida, y como consecuencia, el relé diferencial la acusará.

Supongamos el caso de una falta externa a la zona protegida, entonces las corrientes secundarias que son sensiblemente iguales, circularán entre los transformadores (como se indica por las flechas), y no pasará corriente por el relé diferencial, por tanto este no actuará.

Consideremos ahora el caso de una falta dentro de la zona de protección, las corrientes acudirán de ambos lados, al punto de la falta, y por tanto la suma de las corrientes en los secundarios de los transformadores de intensidad fluirá por el relé diferencial, haciéndolo actuar.

Evidentemente no es necesario que la corriente fluya de ambos lados hacia la falta, puesto que si tenemos el elemento suministrador de energía a un solo lado, la corriente acudirá desde lado a la falta, y existirá una diferencia entre las corrientes de entrada y salida que se manifestará como consecuencia, por una diferencia en las corrientes secundarias de ambos transformadores de intensidad y, circulará por el relé diferencial, haciéndolo actuar.

Circunstancias particulares de actuación.

Bajo algunas circunstancias particulares, puede actuar el relé diferencial sin existir ninguna avería dentro de la zona protegida.

Puede ser, por ejemplo, necesario en caso de revisión o avería del disyuntor, en alta o baja del transformador darle servicio por bypass.

En condiciones normales de las corrientes primaria y secundaria:

I_p e I_s del transformador de potencia atraviesan en su totalidad los primarios de los transformadores de intensidad T1 y T2; las corrientes secundarias correspondientes serán sensiblemente iguales y no existirá por tanto corriente diferencial.

En el momento de cierre de un bypass; la corriente primaria I_p dispone de dos caminos de circulación, disyuntor y bypass, por lo que se divide en dos componentes I_{p1} e I_{p2} , una de las cuales I_{p1} no atraviesa en su recorrido el primario del transformador de intensidad T1, no dando por tanto lugar a corriente transformada en su secundario, en consecuencia existirá bajo estas condiciones una corriente diferencia. Entre las corrientes secundarias de T1 y T2 que hará actuar el

relé disparando ambos disyuntores, dejando el transformador de potencia fuera de servicio, cosa que no se pretendía al efectuar la maniobra de puesta por bypass del disyuntor.

El caso es más desfavorable, si se efectúa una puesta en servicio del transformador de potencia, con el disyuntor 1 abierto y aislado por bypass y cerrando también el disyuntor 2 o viceversa, puesto que en este caso, como es obvio, no habrá intensidad secundaria por uno de los dos transformadores de intensidad T1 o T2, habiéndola en el otro.

Este inconveniente puede quedar soslayado, si los transformadores de intensidad son Bushing (interiores a las bornas del transformador de potencia) o se sitúan fuera de la zona abarcada por el bypass ya que en este caso siempre pasarán por el primario de los transformadores de intensidad la totalidad de las intensidades primaria y secundaria del transformador de potencia, por lo que no existirá corriente diferencia entre las corrientes secundarias de T1 y T2. De no darse esta última condición será necesario en las maniobras de puesta por bypass de disyuntores de transformador que tengan protección diferencia, bloquear la actuación de esta, extrayendo sus testblok.

Otros casos a tener en consideración es el de la interrupción del circuito de intensidades de uno cualquiera de los dos transformadores de intensidad, por corte en los bobinados secundarios de los transformadores de intensidad, bajada de una regleta de intensidades, o un testblok de la protección con un fallo en sus dedos de contacto o colocado defectuosamente.

En cualquiera de los anteriores supuestos, faltará la intensidad en el secundario de uno de los dos transformadores de intensidad, con lo que la corriente del otro transformador, circulará íntegramente con corriente diferencia, actuando la protección.

Consideraciones en torno al relé diferencial real.

Hay que tener en cuenta que el relé diferencial utilizado como modelo para lo hasta aquí expuesto, es un relé esquemático, no real que facilita la comprensión de los procesos de actuación. En esencia su comportamiento básico, no difiere sensiblemente del de un relé diferencial real.

En la práctica los transformadores de intensidad que consideremos con corrientes secundarias idénticas, a causa de las diferentes propiedades magnéticas, o distinta calidad de magnetismo remanente de su núcleo, no tienen corrientes secundarias idénticas. Este defecto no es importante para un régimen de funcionamiento normal, pues ambas corrientes no diferirán lo suficiente para hacer funcionar el relé diferencial, pero en las condiciones de un cortocircuito externo a la zona protegida, se producen corrientes en ambos primarios de los transformadores, que originarán grandes saturaciones en los núcleos magnéticos, y por tanto se acentuarán las diferencias de intensidades secundarias en ambos transformadores de intensidad, cuanto mayor es la intensidad de falta, pudiendo dar lugar a un funcionamiento incorrecto o irregular de la protección. Para evitar este inconveniente, se creó el relé diferencial de tanto por ciento. Este relé está provisto de una bobina de retención, conectada en serie con los dos transformadores de intensidad, a cuya toma intermedia se conecta una bobina de accionamiento, de tal modo que por una mitad de la bobina de retención circulará una corriente I_1 , y por la otra mitad una corriente I_2 , y siendo N el número de espiras, tendremos que los amperios-vuelta totales en la bobina serán $[N(I_1+I_2) / 2]$ por lo tanto el esfuerzo de retención será proporcional a $(I_1 + I_2) / 2$. Por la bobina de accionamiento pasará la intensidad diferencia $I_1 - I_2$ y el esfuerzo de accionamiento es proporcional a tal diferencia.

A la corriente $(I_1 - I_2)/2$, se la denomina corriente de paso o de retención, y a la corriente $I_1 - I_2$ corriente de accionamiento.

La característica de funcionamiento del relé, que establece la relación entre $(I_1 - I_2)/((I_1 + I_2)/2) = K \cdot 100$, siendo K una constante propia del relé.

(A menudo se utiliza el término corriente de paso para designar a I_2 y se trazarán las características de funcionamiento utilizando $I_2 / 2$ en lugar de $(I_1 + I_2)/2$)

Podemos ver a medida que aumentan las corrientes de paso, es requerida una mayor corriente de actuación $I_1 - I_2$. Bajo condiciones de falta externa a la zona protegida, se produce una gran corriente en el secundario de los transformadores de intensidad y por tanto una gran corriente de paso, que origina un fuerte par de frenado, como consecuencia se requerirá para la actuación del relé una corriente diferencia grande.

Si elegimos adecuadamente y de acuerdo con las características de los transformadores de intensidad la inclinación de la recta característica (recta de par nulo), mediante las tomas existentes en el relé, este no actuará a pasar de las diferencias de corriente en los secundarios de los transformadores, producida por una falta externa.

Hemos de tener en cuenta que en los transformadores de potencia existe una corriente magnetizante del núcleo del transformador que no genera una corriente secundaria por tanto, esta quedaría siempre como una corriente diferencia. Por otra parte estos transformadores de potencia están dotados de una regulación mediante tomas, que hace variar su relación de transformación dentro de ciertos límites, mientras los transformadores de intensidad mantienen su relación constante.

Esto da lugar a diferencias de intensidad, que de no ser el relé diferencial porcentual y tener por tanto una cierta tolerancia para pequeñas diferencias de intensidad, provocaría una actuación no correcta.

La protección diferencial del porcentaje antes descrita, evita un disparo indebido en las condiciones de falta externa, conmutación de tomas de regulación en carga, corriente magnetizante del transformador.

Tengamos en cuenta las condiciones que afectan a la protección en el caso de conexión del transformador a la red.

Es evidente que en el momento de la conexión del primario o del secundario a la red de tensión, es decir, de cerrar un disyuntor en alta o en baja, por el devanado que se conecta a la red, circulará la corriente de conexión; que es en el momento de conectar de gran magnitud. Mientras que en el devanado que aún no hemos conectado, no tendremos ninguna circulación de corriente al estar el circuito abierto, por tanto existirá una gran diferencia de intensidades en los transformadores de intensidad, que hará actuar el relé aún siendo este porcentual, pues al ser $I_2 = 0$ e $I_1 = I_C$, (intensidad de conexión), el par de actuación será proporcional a I_C , mientras el de retención lo será a $(I_C / 2) < I_C$. Para soslayar el problema, se creó el relé diferencial de porcentaje de armónicos, que es el normalmente utilizado para las protecciones del transformador.

Conexión de la protección diferencial.

Es de destacar que siempre como norma general, se conectarán en triángulo los transformadores de intensidad cuando la intensidad a transformar proceda de un devanado de

transformador de potencia conectado en estrella, y en estrella cuando proceda de un devanado de transformador de potencia en triángulo.

Existen diversas consideraciones de orden técnico que hacen necesario este tipo de conexión, que sería prolijo exponer aquí. Citaremos a título de ejemplo que entre las intensidades primaria y secundaria de un transformador de potencia, cuya conexión es estrella triángulo, existe un desfase angular de, desfase que es preciso corregir mediante el adecuado conexionado de los transformadores de intensidad, para la aplicación de sus intensidades al relé diferencial.

Frenado por armónicos.

Como decíamos anteriormente al aplicar tensión a uno de los lados del transformador de potencia, mientras el otro lado permanece desconectado de la tensión, se produce una fuerte corriente de conexión transitoria en el devanado del lado en conexión. Esta corriente en armónicos, no es puramente senoidal, por tanto podemos valernos de estas armónicas que caracterizan a la corriente de conexión, para por medio de un filtrado adecuado extraerlas de la corriente total de conexión y aplicarlas a una bobina de retención, que creará un par de frenado opuesto al par de actuación, impidiendo que el relé diferencial actúe incorrectamente en el momento de conectar el transformador.

5. PROTECCIÓN DE ALTA TEMPERATURA EN TRANSFORMADORES

Protección de alta temperatura en transformadores.

Como al principio del trabajo citamos, en los transformadores existen pérdidas de energía que se pueden clasificar en dos grupos:

- Pérdidas en el hierro (por Histéresis y Foucault).
- Pérdidas en el cobre o por efecto Joule.

Estas pérdidas energéticas tienen como efecto principal provocar un calentamiento, tanto del núcleo (Pre) , como en los devanados del transformador (pérdidas por Joule).

De estas pérdidas las de mayor importancia, desde el punto de vista de aporte calorífico, son las pérdidas por el efecto Joule, que dependen del cuadrado de la intensidad circulante por los devanados y por tanto de la carga a que este sometido el transformador; mientras las pérdidas en el hierro son sensiblemente constantes cualquiera que sea la carga aplicada, ya que dependen exclusivamente de la tensión, que será sensiblemente constante.

Los transformadores como toda máquina son tanto más rentables económicamente, cuanto menor sea el número de averías que afecten a su tiempo de utilización. La vida media de los transformadores está determinada fundamentalmente por la duración del aislamiento en sus devanados.

En su mayoría, los aislantes se deterioran rápidamente si su temperatura sobrepasa reiteradamente el límite admisible, por ello es necesario proteger el transformador contra

sobrecalentamientos excesivos de sus conductores, utilizándose como medios más comunes a este fin, los a continuación citados:

- * Refrigeración natural y forzada
- * Termostatos de alarma y disparo por alta temperatura.
- * Dispositivo de imagen térmica.

Refrigeraciones natural y forzada.

Los transformadores de potencia tienen su parte activa alojada en una cuba y sumergida en un fluido (aceite o piraleno. Este último en desuso, debido a su alto poder contaminante), que además de contribuir a un mejor aislamiento eléctrico, tienen la función de evacuar el calor generado por las pérdidas en el interior de transformador a los radiadores destinados a disiparlo en la atmósfera.

Según el modo de emplear el aire y fluido refrigerante, se pueden distinguir dos sistemas de refrigeración (con posterioridad hablaremos más extensamente sobre sistemas de refrigeración y aceites):

Refrigeración natural.

Durante el funcionamiento en refrigeración natural, se origina un desplazamiento del aceite por termosifón, debido a las diferencias de temperatura del fluido en las partes superior e inferior de la cuba, esta diferencia aproximadamente de unos 12°C, mantienen un flujo continuo de fluido en el núcleo magnético y superficie de las bobinas, arrastrando el calor producido en su interior a los radiadores de refrigeración y transmitiéndolo de estos a atmósfera.

Refrigeración forzada.

Si tenemos en cuenta que una de las principales limitaciones en cuanto a potencia de los transformadores, es la originada por el calentamiento de los aislantes y partes activas, podemos mejorar la refrigeración, bien activando la circulación del fluido refrigerante por medio de bombas, bien forzando con ventiladores la circulación de aire frío a través de los radiadores, o ambas cosas a un mismo tiempo. Obtendremos por este medio un considerable aumento de la potencia nominal del transformador

Supongamos que el transformador tiene para las condiciones de refrigeración natural una potencia aparente nominal de 40 MVA y asignemos a esa potencia el valor de 100% . Los incrementos de potencia en los distintos regímenes serán:

- Con aceite normal aire forzado (ONAF) de 40 MVA a 53 MVA que supone un 133% del nominal.

- Con aceite y aire forzado (OFAF) de 40 MVA a 67 MVA , que supone un 167% del nominal.

Para la puesta en marcha automática del sistema de refrigeración forzada se dispone de termostatos (también pueden ser unos termómetros dotados de contactos) adosados en la tapa superior de la cuba del transformador, que detectan la temperatura en la capa alta de aceite. Por medio de estos termostatos (termómetros), se ordena escalonadamente el arranque o parada de los ventiladores y bombas de circulación, según sea el nivel de temperatura alcanzado en el fluido refrigerante.

Los *grupos de ventiladores* arrancan sobre 60°C parando sobre 55°C y las *motobombas* arrancan sobre 70°C y paran sobre 60°C.

Termostatos de alarma y disparo por alta temperatura.

Si el transformador es sometido a fuertes sobrecargas durante tiempo prolongado, no actuando por fallo o resultado insuficientes para evacuar la cantidad de calor producido por los sistemas de refrigeración natural o forzada, se producirá un calentamiento excesivo, tanto del fluido refrigerante, como de los conductores, que puede dar lugar a un deterioro de los aislamientos y del fluido, originando una avería grave.

Para la detección de sobrecalentamientos en el fluido refrigerante del transformador, se disponen adosados a la tapa superior de la cuba, dos termostatos tipo sonda .

Los termostatos detectan la temperatura en la capa superior del fluido (es la parte más caliente del fluido) estando tarados, de modo que cierran sus contactos uno entre 70-80 °C accionando una señal de alarma, y el otro entre 90-95 °C, que excita a un relé auxiliar de disparo por alta temperatura, provocando el disparo de los disyuntores necesarios para aislar el transformador.

Hay que tener en cuenta que la actuación de esta protección puede estar originada por un fallo en la puesta en marcha automática de la refrigeración forzada, en este caso se intentará la puesta en marcha en MANUAL de estos sistemas. Además es recomendable verificar que la actuación de la protección es correcta mediante el termómetro/s adosados al exterior del transformador.

Protección de imagen térmica

En los transformadores es de gran importancia la temperatura en el cobre, puesto que la vida de estos depende en gran manera de los sobrecalentamientos en la parte activa.

Dado el alto grado de aislamiento que requieren los transformadores para alta tensión, sería harto dificultoso colocar sondas termométricas en los devanados, que nos permitan una detección directa de la temperatura en el cobre, sin un notable perjuicio de aislamiento en los devanados.

Para evitar el problema que representa la toma directa de la temperatura en el cobre se ideó el dispositivo de imagen térmica, que hace posible obtener una reproducción en imagen de las mismas condiciones de temperatura que en el interior de transformador.

- Descripción física del aparato

El dispositivo está constituido por una sonda termométrica situada en el interior de un cilindro aislante, al que se encuentra arrollada una resistencia de caldeo, recorrida por una parte de la intensidad secundaria de un transformador de intensidad, por cuyo primario circula la intensidad de carga del transformador.

El conjunto resistencia e caldeo-sonda termométrica, está situado en el interior de un recipiente metálico estanco, lleno de aceite, sumergido a su vez en el aceite del transformador de potencia.

Todo este conjunto se encuentra adosado a la tapa superior de la cuba y protegido con un cilindro metálico perforado.

En la parte superior del aparato, existe una caja de bornas, a las que se conectan las salidas de la sonda termométrica y de la resistencia de caldeo.

En paralelo con esta se coloca una resistencia ajustable que permite regular la intensidad que pasa por la resistencia de caldeo y por tanto el ajuste fino del aparato.

Las bornas de salida de la sonda termométrica, se conectan a un instrumento indicador de temperatura, que puede estar dotado de contactos eléctricos para activar una alarma a un proceso predeterminado de temperatura, o provocar el disparo de los disyuntores necesario para aislar el transformador de potencia.

Principios de funcionamiento.

La temperatura del cobre en los transformadores, depende fundamentalmente del calor generado por las pérdidas por el efecto Joule y de la temperatura del aceite circulante.

Como la resistencia está sumergida en aceite (o piraleno) que tendrá su temperatura idéntica a la del transformador, siendo además recorrida por una intensidad proporcional a la carga, que genera en ella un calor en relación directa al cuadrado de esta intensidad. ($Q=R \cdot I \cdot 0.24 \text{ calorías}$); la sonda termométrica medirá una temperatura que será suma de la generada por el nivel calórico del aceite, más el aportado por la resistencia de caldeo.

Dimensionando adecuadamente la resistencia de caldeo y el recipiente contenedor del sistema, para que el efecto sea el mismo que el producido en el interior del transformador, la temperatura señalada por el instrumento de medida, será la misma que la del cobre de los devanados en su punto más caliente.

6. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD Y TENSIÓN.

De forma genérica entendemos por transformadores de medida aquellos destinados a transmitir una señal informativa a aparatos de medida, a contadores y a dispositivos de protección y mando.

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD.

Transformador de intensidad

Transformador de medida en el cual la intensidad secundaria es, en las condiciones normales de empleo, prácticamente proporcional a la intensidad primaria y desfasada con relación a ésta un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado

Error de intensidad

Error que el transformador introduce en la medida de una intensidad y que proviene del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la relación de transformación nominal.

El error de intensidad, expresado en porcentaje, viene dado por la formula:

$$\text{Error de intensidad} = \frac{K_n \cdot I_s - I_p}{I_p} \cdot 100$$

en la que:

K_n es la relación de transformación nominal.

I_p es la intensidad primaria real.

I_s es la intensidad secundaria real correspondiente a la intensidad I_p en las condiciones de medida.

VALORES DE LAS INTENSIDADES NOMINALES

Intensidad primaria

10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 A

Intensidad secundaria

Los valores son **1 y 5 A**, pero el valor preferente es **5 A**

VALORES NOMINALES DE LA POTENCIA DE PRECISIÓN

Los valores normalizados son: **2,5 - 5 - 10 - 15 - 30 VA**

CLASES DE PRECISIÓN

La clase de precisión se designa por un número (**índice de clase**) igual al límite superior del error de intensidad admisible, expresado en %, para la intensidad nominal primaria y la carga de precisión.

Clases de precisión normales

Las clases de precisión normales de los transformadores de intensidad para **medida** son: **0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3**

Clases de precisión especiales

Las clases de precisión especiales para transformadores de intensidad para **medida** son: **0,2 S - 0,5 S**

Las clases de precisión para transformadores de intensidad para **protección** son: **5 P - 10 P**

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Transformadores de tensión

Transformador de medida en el cual la tensión secundaria es, en condiciones normales de empleo, prácticamente proporcional a la tensión primaria y desfasada con relación a ésta un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de conexiones.

Transformador de tensión no puesto a tierra

Transformador de tensión en el que todas las partes del arrollamiento primario, incluidos los bornes, están aislados con relación a tierra a un nivel que corresponde a su nivel de aislamiento nominal.

Transformador de tensión puesto a tierra

Transformador de tensión monofásico destinado a tener uno de los extremos de su arrollamiento primario conectado directamente a tierra.

Error de tensión

Error que el transformador introduce en la medida de una tensión y que proviene del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la relación de transformación nominal. El error de tensión, expresado en porcentaje, viene dado por la fórmula:

$$\text{Error de tensión \%} = \frac{\text{kn Us} - \text{Up}}{\text{Up}} * 100$$

kn es la relación de transformación nominal.

Up es la tensión primaria real.

Us es la tensión secundaria real correspondiente a la tensión Up en las condiciones de medida.

VALORES DE TENSIÓN PRIMARIA NOMINAL

Los valores normales, expresados en voltios, de tensión primaria nominal de los transformadores monofásicos para la utilización en una red monofásica, o entre fases de una trifásica, son los siguientes:

110 - 220 - 385 - 440
2 200 - 3 300
5 500 - 6 600
11 000
13 200 - 16 500
22 000
27 500 - 33 000
44 000
55 000 - 66 000
110 000
132 000
220 000
396 000

Los valores normales de tensión primaria nominal de los transformadores monofásicos utilizados entre una fase de una red trifásica y tierra o entre un punto neutro de la red y tierra son los valores indicados divididos por 3

VALORES NORMALES DE LA POTENCIA DE PRECISIÓN

Los valores normales de la potencia de precisión, expresados en VA, con un factor de potencia de 0,8(i) son: **10** - 15 - **25** - 30 - **50** - 75 - **100** - 150 - **200** - 300 - 400 - **500VA**

Los valores preferentes son los que están en negrita.