

TIPOS DE PERDIDAS EN TRANSFORMADORES

1. INTRODUCCIÓN.

El sistema de energía eléctrica consiste en tres etapas, las cuales se dividen en generación, transmisión y distribución. Los niveles de tensión son variables para cada etapa, lo cual es necesario elevar o disminuir el nivel de tensión para su uso. Los niveles de tensión normalizadas según CNE-Suministro 2011, Sección 01, 0.17.A Niveles de tensión.

- Baja tensión: 220 V, 380 V, 440 V.
- Media tensión: 20.0 kV, 22.9 kV, 33 kV, 22.9 / 13.2 kV, 33/19 kV.
- Alta tensión: 60 kV, 138 kV, 220 kV.
- Muy alta tensión: 500 kV.

Para el cambio de niveles de tensión es necesario utilizar los transformadores los cuales se dan en el cambio de etapa, al elevar la tensión para generar menores pérdidas en las líneas de transmisión y disminuir su nivel de tensión para las zonas de las concesionarias (distribución). El transformador es una máquina eléctrica estática, su funcionamiento se basa en principio de inducción electromagnética, como toda máquina no tiene una eficiencia al 100%, lo cual se tiene que tratar de disminuir al máximo, en este caso, hablaremos acerca de cuales son los tipos de pérdidas que se dan en el transformador y que debemos de tener en consideración.



Fig. 1. Subestación eléctrica de transmisión.

2. ANTECEDENTES.

El primer transformador fue construido por Michael Faraday en 1831, cuando descubrió la inducción electromagnética, lo que usó bobinas enrolladas una encima de la otra, al variar la corriente que circulaba por una de ellas, cerrando o abriendo el interruptor de la fuente, el flujo magnético a través de la otra bobina variaba y se inducía una corriente eléctrica en la segunda bobina, considerado como el primer transformador.

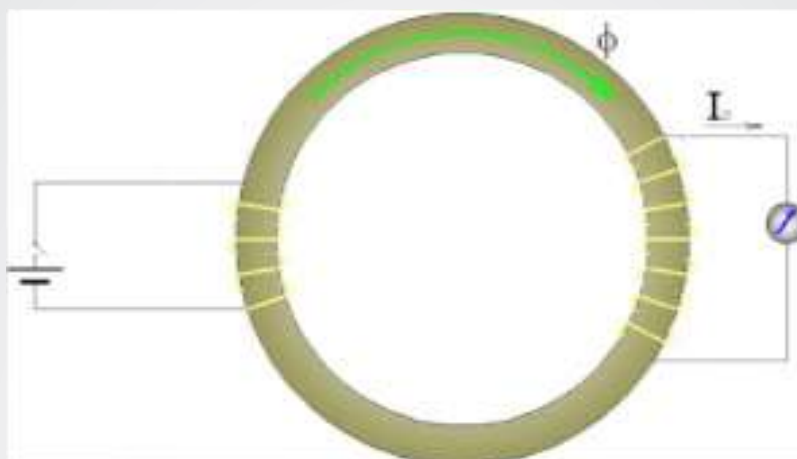


Fig. 2. Transformador de Faraday.

En la actualidad, los transformadores están constituidos de la misma manera, consta de un núcleo magnético, un arrollamiento primario de entrada y un arrollamiento secundario de salida. El núcleo está formado por un material ferromagnético que favorezca la propagación del flujo magnético, algunos materiales son acero con aleación de silicio, para minimizar las pérdidas en el hierro, debido a las corrientes parásitas de Foucault, la sección conductora del flujo magnético se divide en pequeñas láminas y son puestas, una lámina y una lámina de acero un papel o barniz aislante. Las chapas magnéticas se suelen montar a tope para evitar dispersión de flujo y así que cambie de dirección abruptamente. Los arrollamientos, es el número de espiras y la selección del hilo de cada uno de ellos estarán en función de los valores de tensión e intensidad tanto de entrada como de salida. Las pérdidas en el transformador se manifiestan en forma de calor en los arrollamientos de cobre y respecto al núcleo magnético tenemos pérdidas por histéresis magnética y pérdidas por corrientes de Foucault. Los transformadores son considerados unas máquinas eficientes debido a las bajas pérdidas a comparación de las potencias que van a transmitir.

3. DESARROLLO.

El uso permanente de los transformadores es necesario que su eficiencia sea la máxima posible, por ello se debe minimizar las pérdidas que puedan generarse. El transformador es una máquina eléctrica estática, por lo que, no genera pérdidas mecánicas, solo pérdidas eléctricas y magnéticas, las cuales son:

- Pérdidas en el hierro.
- Pérdidas en el cobre.

3.1 Pérdidas en el cobre.

Las pérdidas en el cobre están dadas por los bobinados de un transformador. El valor de las pérdidas está medido por las intensidades de carga al cuadrado y a la resistencia de los bobinados, la cuál es variable desde el funcionamiento hasta plena carga y se representa en forma de calor. El material por el cual va circular la corriente tiene una resistencia mayor a cero, lo que genera pérdidas de energía por calentamiento de los devanados. Se debe considerar una separación o aislados entre sí, para transformadores de baja potencia y tensión se usan hilos esmaltados. Para el caso de grandes transformadores se utilizan pletinas rectangulares encintados en papel impregnado en aceite.

Representación numérica de las pérdidas en el cobre:

Las pérdidas en lado primario están dadas por:

$$P_1 = I_1^2 * R_1$$

Dónde:

P_1 : Pérdidas en el primario.

I_1 : Intensidad de corriente en el primario.

R_1 : Resistencia en el primario.

Las pérdidas en lado secundario están dadas por:

$$P_{cu2} = I_2^2 * R_2$$

Dónde:

P_{cu2} : Pérdidas en el secundario.

I_2 : Intensidad de corriente en el primario.

R_2 : Resistencia en el primario.

Las pérdidas en lado secundario están dadas por:

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2}$$



Fig. 3. Bobinado de un transformador trifásico.

3.2 Pérdidas en el hierro.

Está determinado por las pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes parásitas (Focault).

3.2.1 Pérdidas por histéresis. Se tiene un material ferromagnético originalmente desmagnetizado y a dicho material se imanta y desimanta sucesivamente, entonces, intrínsecamente el material desarrolla el denominado ciclo de histéresis.

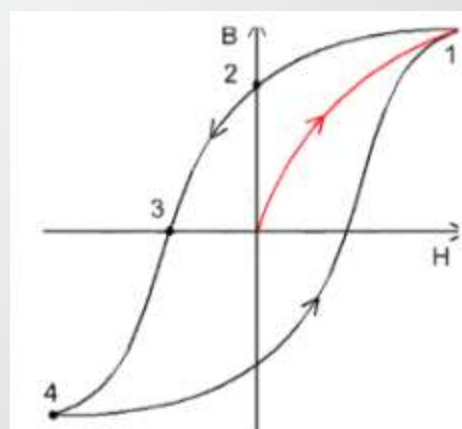


Fig. 4. Curva de histéresis.

Los materiales se pueden clasificar en:

A. Materiales magnéticos duros: se caracterizan por una alta fuerza coercitiva y una alta inducción magnética remante, de tal modo los ciclos de histéresis de estos materiales son anchos y altos. Estos materiales, una vez se imantan, son difíciles de desimantar, por ello son para fabricar imanes artificiales.

B. Materiales magnéticos blandos: se imanan y desimanan fácilmente. Por lo que tienen permeabilidades magnéticas altas. Su uso es para transformadores, motores, generadores, etc.

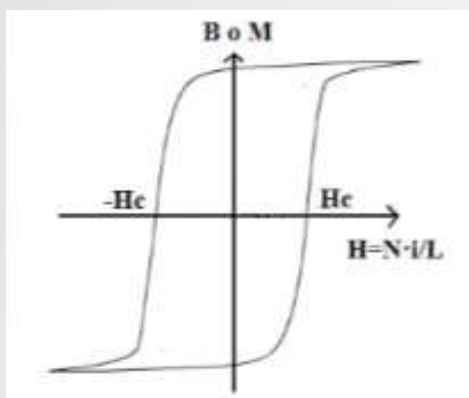


Fig. 5. Curva de histéresis para un material duro.

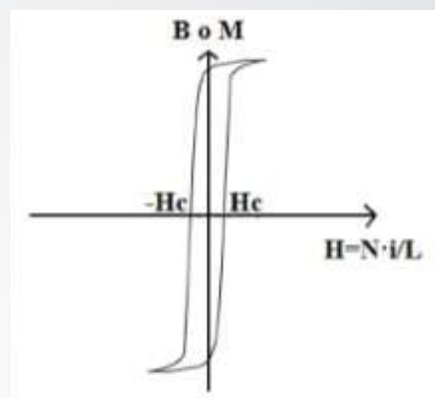


Fig. 6. Curva de histéresis para un material blando.

El proceso de magnetización y desmagnetización provoca calentamientos en el material. Estas pérdidas se deben a la diferencia entre la energía transferida al campo durante la magnetización y la que se devuelve en la desmagnetización. El valor de estas pérdidas son el valor del área encerrada por el contorno del ciclo de histéresis.

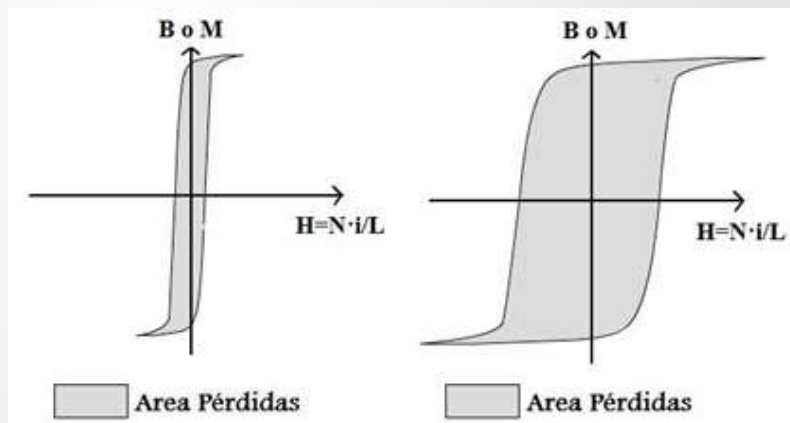


Fig. 7. Áreas de pérdidas para material blando y duro, respectivamente.

Para calcular numéricamente las pérdidas por histéresis podemos usar la siguiente fórmula:

$$P_H = k_H \cdot f \cdot \beta_{max}^n$$

Donde:

P_H : Pérdidas por el ciclo de histéresis.

k_H : coeficiente del material

f : frecuencia

β_{max} : inducción máxima

n : exponente de Steinmetz (depende del material).

3.2.2 Pérdidas por corrientes parásitas. Se producen en cualquier material conductor que se encuentre sometido a una variación del campo magnético, como núcleos de los transformadores. Están hecho de materiales magnéticos y estos materiales son buenos conductores que genera una fuerza electromotriz inducida que origina corrientes que circulan en el mismo sentido ocasionado el efecto Joule. Las pérdidas por corrientes parásitas dependerán del material con el que está construido el núcleo magnético del transformador. Para reducir estas pérdidas de potencia es necesario que el núcleo del transformador no sea macizo, por lo que el núcleo deberá estar construido por chapas apiladas de espesores muy delgados, colocadas una encima del otro y aisladas entre sí. Al realizar ello, conseguimos que la corriente eléctrica no pueda circular de una chapa a otra y se mantenga independiente en cada una de ellas con lo que se induce menos corriente y disminuye la potencia de pérdidas por las corrientes parásitas.

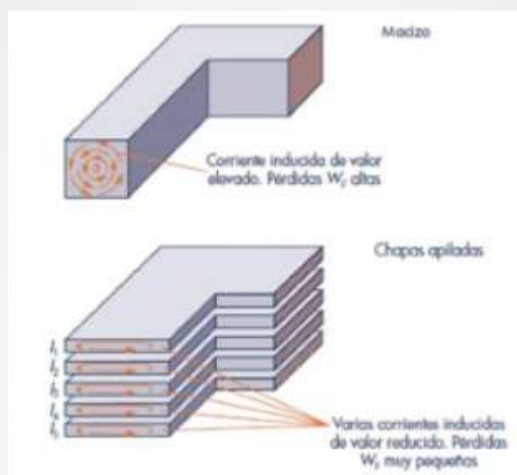


Fig. 8. Composición del núcleo por las corrientes parásitas

Para calcular numéricamente las pérdidas por corrientes parásitas es la siguiente:

$$P_F = k_F \cdot f^2 \cdot \beta_{max}^2$$

Dónde:

P_H : Pérdidas por el ciclo de histéresis.

k_F : constante de Foucault

f : frecuencia

β_{max} : inducción máxima

4. CONCLUSIONES.

- Los transformadores por mas eficientes que sean, siempre presentarán pérdidas por más mínimas que sean y éstas se presentarán en forma de calor.
- La disminución de las pérdidas de un transformador va a depender de los materiales que se van a utilizar, esto genera una elevación del costo de fabricación.
- Las pérdidas en el hierro de un transformador se presentarán por el material a utilizar donde generará un ciclo de histéresis y las corrientes Foucault.
- Las pérdidas en el cobre están directamente relacionadas al bobinado del transformador, debido a la presencia de una resistencia en el conductor.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Educa_Catedu. (s.f.). Constitución de un transformador. Obtenido de http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3015/html/121_constitucin_de_un_transformador.html.
- Poveda, E. (s.f.). Perdida de potencia y eficiencia en los transformadores. Librio Calle.
- Vigo, U. d. (21 de 11 de 2011). Obtenido de http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_perdidasmagneticas.htm.

Autor: Ing. Víctor Gonzales Zamora, Analista de Ingeniería

Edición: Lic. Francie Salazar Mandamiento, Responsable de Marketing e Imagen Corporativa