



Campus Virtual FCEFyN
Universidad Nacional de Córdoba

TRANSFORMADOR IDEAL

ELECTROTECNIA(IE)



Transformadores

1

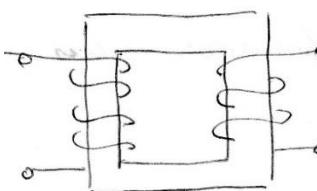
Las técnicas modernas requieren la disponibilidad de distintos niveles de tensión aplicables en las distintas áreas como, Transmisión de Potencias, Comunicaciones, Electromedicina, Señalización, computación etc.

Esto puede lograrse merced al transformador, que es un aparato estático de inducción destinado a transformar un sistema primario de tensiones y corrientes alternas en otro sistema de intensidades de Corriente y tensiones diferentes a voluntad adaptando un aparato a las condiciones óptimas de funcionamiento.

Una definición general lo describe como un aparato formado por dos o más circuitos eléctricos acoplados por un circuito magnético. En común, es decir se requieren al menos dos devanados vinculados por la misma fuente de un flujo magnético con variación temporal.

Esto se podría lograr acoplando los devanados a través del aire, pero dicho acoplamiento se hace más efectivo si se utiliza como transporte del flujo un núcleo de hierro u otro material ferromagnético.

como muestra la figura.



Uno de estos anillos llamados conocido como primario, se conecta a la fuente de alimentación y recibe de ella energía eléctrica. El segundo bobinado denominado secundario entrega la energía eléctrica recibida a la carga.

Cuando se conecta la fuente al circuito primario la corriente que circula por el mismo genera una F.M. Motriz que crea líneas de campo magnético que atravesan las espiras del circuito secundario, e inducen sobre las mismas una tensión que hará circular una corriente a través de la carga que conectamos en el circuito secundario.

El concepto de transformador no implica la presencia de un núcleo ferro magnético, el objeto de este es influir a través de su alta permeabilidad μ para que el flujo Φ magnético que se origina quede prácticamente localizado dentro de la región del espacio ocupado por el núcleo, obteniendo así un flujo más intenso.

Un transformador construido con núcleo Ferromagnético se

llamaria transformador con núcleo de Hierro.

La mayoría de los transformadores que operan a frecuencias industriales ($50\text{ Hz}, 60\text{ Hz}$) son de este tipo, y es el que vamos a estudiar en este material.

En un transformador Real en el proceso de transferencia de la energía desde la fuente a la carga, una parte de la energía se pierde, por lo tanto la energía que llega a la carga es menor de la que entra al transformador.

Comenzaremos el estudio con un transformador ideal donde no existen pérdidas internas en la máquina, pero para que esto se satisfogue, el caso real no debe apartarse demasiado del Ideal.

A continuación se presentan las hipótesis que establece las condiciones que debe cumplir el transformador para que se lo considere Ideal.

1º Condición

La Resistencia de los arranques de los bobinados debe ser nula.

Resistencia del Primario $R_1 = 0$

Resistencia del Secundario $R_2 = 0$

2º Condición

Flujo de Dispersión Nulo

Todo el Flujo Φ creado por la FMM debe quedar confinado al núcleo del circuito magnético para que todas las líneas de campo contengan ambos bobinados; es decir el acoplamiento entre las bobinas debe ser perfecto.

3º Condición

Pérdidas Por Histeresis Nulas

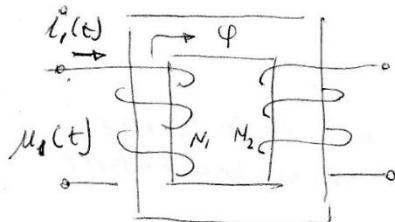
4º Condición

Pérdidas por Corrientes Parásitas Nulas

5º Condición

Permeabilidad $\mu = \infty \Rightarrow$ Resistencia = 0

Funcionamiento Sin Carga (Secundario Abierto)



$$M_1(t) = \sqrt{2} U_1 \operatorname{sen} \omega t$$

FMM = $N_1 i_1(t)$ que genera el flujo $\Phi(t)$. Como el Núcleo Ferromagnético tiene $R=0$ todo el flujo está confinado a circular por el núcleo. Este al atravesar las espiras del bobinado primario induce una fem $e_1(t)$ que por la ley de Faraday y de Lenz

$$e_1(t) = - \frac{d\lambda(t)}{dt} = -N_1 \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$\lambda(t) = \text{flujo constante}$$

$$\lambda(t) = N_1 \Phi(t)$$

El sentido de este fem inducido, es el de oponerse a la causa que le dio origen, es decir a la Tensión de alimentación $U_1(t)$. Por lo tanto

$$U_1(t) + e_1(t) = 0 \quad \text{entonces } M_1(t) = -e_1(t)$$

$$\boxed{M_1(t) = N_1 \frac{d\Phi(t)}{dt}}$$

resistiendo entonces nula la corriente $i_1(t)$ que pudo ser necesaria al comienzo para producir el $\varphi(t)$.
 El valor de la f.e.m. inducida instantánea no es práctico por lo que se ha de recurrir al valor eficaz E_1 que puede obtenerse a partir de los valores máximos utilizando la conocida expresión

$$E_{1\max} = \sqrt{2} E_1 = - \omega \cdot N_1 \cdot \Phi_{\max} \quad \text{de donde}$$

$$E_1 = \frac{E_{1\max}}{\sqrt{2}} = - \frac{2\pi f N_1}{\sqrt{2}} \Phi_{\max} = - \sqrt{2} \pi f N_1 \Phi_{\max}$$

$$\text{Como } U_1 = -E_1 \quad \text{valores eficaces}$$

$$\boxed{U_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \Phi_{\max}}$$

El flujo $\varphi(t)$ va a continuar actuando solo en razón a la 5º suposición e induce en el devanado secundario una f.e.m. $e_2(t)$.

$$e_2(t) = -N_2 \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad \text{pero} \quad e_2(t) = u_2(t)$$

por las suposiciones establecidas, entonces resulta

$$u_2(t) = -N_2 \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad \text{y obtienen los valores eficaces}$$

$$\boxed{E_2 = U_2 = -4,44 f \cdot N_2 \Phi_{\max}.} \quad \text{entonces}$$

$\boxed{\frac{U_1}{U_2} = -\frac{N_1}{N_2} = -K}$ y $\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K}$ donde K es la relación de espiras o relación de transformación. De esta manera un transformador ideal varía los voltajes en proporción inversa con el número de vueltas. Tomando valores absolutos se tiene: $\boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K}$ $\boxed{U_1 = -K U_2}$

Si $N_1 > N_2$ resulta $U_1 > U_2$ y $K > 1$ la máquina opera como reductor de tensión.

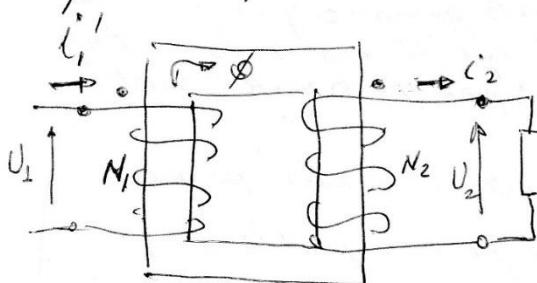
Si $N_1 < N_2$ resulta $U_1 < U_2$ y $K < 1$ la máquina opera como elevador de tensión.

Si $N_1 = N_2$ resulta $U_1 = U_2$ y $K = 1$ El trío opera como separador de líneas.

Si, aislando el circuito de la entrada.

La expresión anterior se aplica de igual manera para valores máximos, efíacos o instantáneos.

Supongamos ahora que se conecta una impedancia de carga a través de los terminales secundarios del transformador. De modo que la tensión induce la secundaria produzca una corriente de carga $i_2 = \frac{U_2}{Z_C}$ que modifica el estado electromagnético actual, Z_C .



Note que la corriente secundaria i_2 se define como positiva y hacia afuera del devanado y Z_C esta produce una FMM que genera un flujo opuesto al producido por la corriente primaria.

Usaremos el principio de superposición para considerar los procesos físicos relacionados con el problema.

Este principio afirma que en los sistemas lineales (donde los efectos son proporcionales a las causas) el efecto resultante de la acción simultánea de un cierto número de causas, es decir, dado por la suma de los efectos producidos por cada una de dichas causas actuando individualmente.

Imaginemos que persiste sin alteraciones el flujo original, induciendo las mismas tensiones que antes, en los armónicos primario y secundario.

Al aplicar la corriente i_2 por el bobinado secundario creará una FMM y por consiguiente se producirá un segundo flujo superpuesto en dirección opuesta en cada fuente de flujo primario (ley de Lenz).

El segundo flujo (provocado por la corriente secundaria),

inducirá una tensión en el armónico, superpuesta a la tensión inducida por el armónico. Superpuestas tendrán anteriormente indicada y las 2 tensiones superpuestas tendrán en la dirección opuesta en cada instante. En definitiva el efecto en el primer armónico, será cancelar la tensión inducida por el primer armónico del flujo. (En realidad el flujo provocado por la corriente primaria compone parte del flujo total, la tensión inducida debida al flujo provocado por el secundario no cancela todo la tensión inducida al flujo provocado por el primario porque el flujo de desorción del secundario no cancela al primario porque se pierde por el aire.)

La tensión se induce en el anotamiento primario por la primera componente de flujo es igual en cada instante al Segundo de tensión.

$$V_{1 \text{ max}} = \omega N_1 \Phi_{\text{max}}$$

Como la tensión inducida estará prócticamente cancelada la tensión aplicada que carece de opuesto, enviará corriente a través del anotamiento primario y el valor de este corriente será tal que el incremento en FMM restablecerá el flujo principal. Aproximadamente a su valor original.

El flujo $\Phi_{\text{max}} = \frac{V_{1 \text{ max}}}{\omega N_1}$ no puede ser menor porque tendría que ser menor $V_{1 \text{ max}}$ lo que es imposible porque la tensión la impone la fuente

En consecuencia el anotamiento primario fundo que se encuentra en forma tal de que su FMM igual y opuesta a la que genera sobre el secundario

Durante el fundimiento el flujo principal es prácticamente constante $\Phi_{\text{max}} = \frac{V_{1 \text{ max}}}{\omega N_1} = \frac{U_1}{4,44 f N_1}$ U_1 : voltaje pico
dado que la tensión y la frecuencia son constantes.

La tensión inducida primaria difiere de la tensión aplicada solamente en los casos de la resistencia primaria y de los reactores de dispersión, los cuales son generalmente muy pequeños.
Por lo tanto la corriente magnetizante de un transformador es casi constante.

Cuando la corriente de caja circula en el anotamiento secundario la FMM que produce es cancelada por una FMM igual y opuesta en el primer anotamiento, producida por un incremento de la corriente primaria.

$$\phi_1 = -\phi_2 \quad \frac{FMM_1}{R} = -\frac{FMM_2}{R}$$

$$N_1 i'_1 = -N_2 i'_2 \quad \frac{i'_1}{i'_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \Rightarrow \boxed{i'_1 = -\frac{i'_2}{K}}$$

El hecho de que... circule i_2 cuando se conecta una carga condensadora al circuito primario para que reaccione con una corriente i_1 .

La corriente primaria y secundaria están en relación inversa al número de espiras.

El signo negativo indica que al circular las corrientes se tratan flujos opuestos.

La relación de impedancias entre los bornes primarios y secundarios

$$Z_1 = \frac{E_1}{I_1} ; \quad Z_2 = \frac{E_2}{I_2} ; \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = k^2$$

es decir la impedancia entre los bornes de entrada y salida están en relación directa a los cuadrados de los números de espiras.

$$Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot Z_2 = k^2 Z_2$$

De esto se deduce que el trafo se puede utilizar como trafo de corrientes, tensiones e impedancias.

Las flechas en la figura muestran las direcciones positivas de tensiones y corrientes. Cuando ocurre que simultáneamente que una tensión y una corriente en uno de los pares de terminales tienen el mismo signo dice que la potencia circula hacia dentro del transformador, y cuando tienen signos opuestos potencia circula hacia afuera del transformador.

Los momentos que la corriente primaria circula en dirección positiva la secundaria circula en dirección positiva y viceversa, porque evidentemente cuando se tratan flujos hacia dentro en uno de los anillos el flujo hacia afuera en el otro.

Tambien se advierte que a partir de las ecuaciones anteriores que la potencia instantanea realizada por el devanado primario es equivalente a la potencia instantanea en segundo por el secundario en un transformador ideal por que no se considera ningun tipo de perdida ni dispersion.

$$V_1 \cdot i_1 = V_2 \cdot i_2$$

En forma factorial las ecuaciones se expresan de la siguiente forma

$$\hat{V}_1 = \frac{N_1}{N_2} \hat{V}_2 \quad \text{y} \quad V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2 \quad \text{valo RHS}$$

$$\text{y} \quad \hat{V}_2 = \frac{N_2}{N_1} \hat{V}_1 \quad \text{y} \quad \boxed{V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 = \frac{V_1}{K}}$$

$$\hat{I}_1 = \frac{N_2}{N_1} \hat{I}_2 \quad \text{y} \quad I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 \quad \text{y}$$

$$\hat{I}_2 = \frac{N_1}{N_2} \hat{I}_1 \quad \text{y} \quad \boxed{I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1 = K I_1}$$

de estas ecuaciones

$$\frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} \quad \text{pero} \quad Z_2 = \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2}$$

por lo tanto

$$Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_2$$