



Campus Virtual FCEFYN
Universidad Nacional de Córdoba

TRANSFORMADOR IDEAL

ELECTROTECNIA(IE)



Transformadores

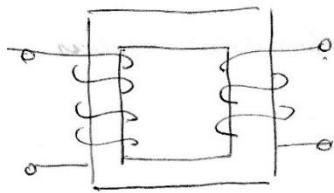
1

Las técnicas modernas requieren la disponibilidad de distintos niveles de tensión aplicables en las distintas áreas como, Transmisión de Potencias, Comunicaciones, Electro medicina, 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 diferente. El transformador permite elevar o disminuir las tensiones alternas a voluntad adaptando un aparato o instalación a las condiciones óptimas de funcionamiento.

Una definición general lo describe como un aparato formado por dos o mas circuitos eléctricos acoplado por un circuito magnético en común, es decir se requieren al menos dos devanados vinculados por la existencia de un Flujo magnético con variación temporal.

Esto se podría lograr acoplando los devanados a través del aire, pero dicho acoplamiento se hace mas efectivo si se utiliza como transporte del Flujo un núcleo de Hierro u otro material Ferromagnético. como muestra la Figura.



Uno de estos arrollamientos conocido como primario, se conecta a la Fuente de alimentación y recibe de ella la 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 atraviesan las espiras del Circuito Secundario, e inducen sobre las mismas una tensión que hará circular una corriente a través de la impedancia 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 ferro magnético se lo denomina transformador con núcleo de Hierro. La mayoría de los transformadores que operan a frecuencias industriales (50 Hz, 60 Hz) son de este tipo, y es el que vamos a estudiar en esta materia.

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 entrega el generador.

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

Añadiremos la hipótesis que establece las condiciones que debe cumplir el transformador para que se lo considere Ideal.

1ª Condición

La Resistencia de los arrollamientos de los bobinados deben ser nula.

Resistencia del Primario $R_1 = 0$

Resistencia del Secundario $R_2 = 0$

2ª 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 concuerden en ambos bobinados, es decir el acoplamiento entre los bobinados debe ser perfecto.

3ª Condición

3

Pérdidas por Histeresis Nulas

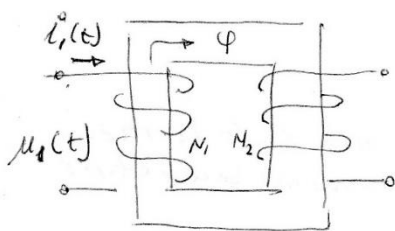
4ª Condición

Pérdidas por Corrientes Parasitas Nulas

5ª Condición

Permeabilidad $\mu = \infty \Rightarrow \text{Reluctancia} = 0$

Funcionamiento Sin Carga (Secundario Abierto)



Al aplicar la tensión variable en el tiempo $u_1(t)$ al bobinado primario comenzará a circular por el mismo una corriente infinita ya que por las suposiciones anteriores no habrá resistencia para limitarla.

$$u_1(t) = \sqrt{2} U_1 \sin \omega t$$

Esta corriente $i_1(t)$ produce una

FMM = $N i_1(t)$ que genera el flujo $\phi(t)$. Como el Núcleo Ferromagnético tiene $\mu = \infty$ 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

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

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

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

El sentido de este fem inducida, es el de oponerse a la causa que le dio origen, es decir a la Tensión de alimentación $u_1(t)$. Por lo tanto

$$u_1(t) + e_1(t) = 0 \quad \text{entonces} \quad u_1(t) = -e_1(t)$$

$$\boxed{u_1(t) = N_1 \frac{d\phi(t)}{dt}}$$

resultando entonces nula la corriente $i_1(t)$ que pudo ser necesaria al comienzo para producir $\phi(t)$.

El valor de la fem 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

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

$$E_1 = \frac{E_1 \text{ max}}{\sqrt{2}} = -\frac{2\pi f N_1 \phi_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = -\sqrt{2} \pi f N_1 \phi_{\text{max}}$$

Como $U_1 = -E_1$ valores eficaces

$$U_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \phi_{\text{max}}$$

El flujo $\phi(t)$ va a continuar actuando solo en razón a la 5ª Suposición e induce en el devanado secundario una fem $e_2(t)$.

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

por las suposiciones establecidas, entonces resulta

$$u_2(t) = -N_2 \frac{d\phi(t)}{dt} \quad \text{y utilizando valores eficaces}$$

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

$$\frac{U_1}{U_2} = -\frac{N_1}{N_2} = -K$$

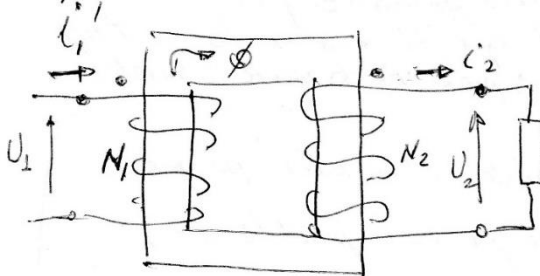
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

donde K es la relación

de espiras o relación de transformación. De esta manera un transformador ideal varía los voltajes en proporción directa con el número de vueltas. Tomando valores absolutos se tiene: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$ $U_1 = -K U_2$
 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 Tracto opera como separador de línea aislando el circuito de salida de la entrada.

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

Supongamos ahora que se conecta una impedancia de carga a través de los terminales secundarios del Transformador de modo que la tensión inducida 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 hace aparecer 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, estará dada por la suma de los efectos producidos por cada una de dichas causas actuando independientemente.

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

Al circular la corriente i_2 por el bobinado secundario crea una FMM y por consiguiente se producirá un segundo flujo superpuesto en dirección opuesta en cada instante al flujo primario (Ley de Lenz).

El segundo flujo (provocado por la corriente secundaria),

inducirá una tensión en cada arrollamiento, superpuesta a la tensión anteriormente inducida y las 2 tensiones superpuestas tendrán direcciones opuestas en cada instante. Evidentemente el efecto en el primer arrollamiento, será cancelar la tensión inducida por la primera componente del flujo (En realidad el flujo provocado por la corriente secundaria, no cancela toda la tensión inducida debido al flujo producido por el primario porque el flujo de dispersión del secundario no concuerda al arrollamiento primario porque se cierra por el aire.)

La tensión inducida en el enrollamiento primario por la primera componente de flujo es igual en cada instante al semisumado de tensión.

$$U_1 \max = \omega N_1 \Phi \max.$$

Como la tensión inducida estará prácticamente cancelada de la tensión aplicada que cause el gesto, envará corriente ante todo a través del enrollamiento primario y el valor de esta corriente será tal que el incremento en FMM reestablecerá el flujo principal, aproximadamente a su valor original.

El flujo $\Phi \max = \frac{U_1 \max}{\omega N_1}$ no puede disminuir por que tendria que disminuir $U_1 \max$ lo que es imposible por que la tensión la impone la fuente

En consecuencia el enrollamiento primario tendra que recibir en forma tal de ondas una FMM igual y opuesta a la que quiere poner el secundario

Durante el funcionamiento el Flujo principal es prácticamente constante $\Phi \max = \frac{U_1 \max}{\omega N_1} = \frac{U_1}{4,44 f N_1}$ U_1 : voltaje
dado que la tensión y la frecuencia son constantes.

La tensión inducida primario difiere de la tensión aplicada solamente en los caídos de la resistencia primaria y de la reactancia de dispersión, los cuales son generalmente muy pequeños. Por lo tanto la corriente magnetizante de un Trafo que produce este flujo casi constante es aproximadamente constante.

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

$$\Phi_1 = -\Phi_2$$

$$\frac{FMM_1}{R_c} = -\frac{FMM_2}{R_c}$$

$$N_1 i_1' = -N_2 i_2$$

$$\frac{-i_1'}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \Rightarrow \left[i_1' = -\frac{i_2}{K} \right]$$

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

La corriente primaria y secundaria est^on en relaci^on inversa al n^umero de espiras.
El signo negativo indica que al circular las corrientes se crean flujos opuestos.

La relaci^on 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 a los bornes de entrada y salida est^on en relaci^on directa a los cuadrados de los n^umeros 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 simultaneamente que una tensi^on y una corriente en uno de los pares de terminales tienen el mismo signo indica que la potencia circula hacia adentro del ^{los bornes} ~~amplificador~~ y cuando tienen signos opuestos potencia circula hacia afuera del ~~amplificador~~ ^{amplificador}.

Los momentos que la corriente primaria circula en direcci^on positiva la secundaria circula en direcci^on negativa y viceversa, porque evidentemente cuando potencia circula hacia adentro en uno de los ~~amplificadores~~ ^{amplificadores} circula hacia afuera en el otro.

También se advierte que a partir de las ecuaciones anteriores que la potencia instantánea recibida por el devorado primario es equivalente a la potencia instantánea entregada por el secundario en un transformador ideal por que no se consideran ningún tipo de pérdidas ni dispersiones.

$$V_1 i_1 = V_2 i_2$$

En forma fasorial las ecuaciones se expresan de la siguiente forma

$$\hat{V}_1 = \frac{N_1}{N_2} \hat{V}_2 \quad \text{or} \quad V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2 \quad \text{valor RMS}$$

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

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

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

de estas ecuaciones

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

$$\text{pero} \quad Z_2 = \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2}$$

por lo tanto

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