

Fig. 5 Transformador de distribución de tipo de núcleo.

5.2 EL TRANSFORMADOR IDEAL

Hasta este punto, el lector puede tener una idea de un transformador similar a este: "una "caja negra" con dos terminales de entrada y dos de salida. Al aplicar un voltaje y corriente en la entrada, salen éstos transformados a la salida para alimentar una carga". Veremos cómo funciona dicha "caja negra".

En su forma más simple un transformador consiste en dos devanados conductores que se ejercen inducción mutua (magnéticamente acoplados). El primario es el devanado que recibe la potencia eléctrica, y el secundario es el que puede entregarla a una red exterior. Cualquiera de los dos devanados puede

ser primario o secundario. Los devanados suelen estarlo sobre un núcleo, que puede ser de láminas de material magnético (transformadores de potencia), de aleación pulverizada (transformadores de radiofrecuencia), simplemente aire (comunicaciones a muy altas frecuencias), o una combinación de ellos. La función del núcleo es la de acoplar magnéticamente los devanados primario y secundario. Posteriormente veremos en qué influye el que sea de una alta o baja permeabilidad.

5.2.1 INDUCCION ELECTROMAGNETICA

Ley de Faraday.- " Cuando el flujo magnético que atraviesa un circuito eléctrico experimenta variaciones, dichas variaciones se traducen en una fuerza electromotriz inducida en el circuito eléctrico". Esta Fem inducida es independiente de la forma en que cambia el flujo, es decir, las variaciones de flujo pueden deberse a cambios en un sistema externo (un imán que se aleja o acerca al circuito), o a cambios en la corriente misma del circuito eléctrico. Véase la Fig. 6.

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad 5.1$$

Es importante apreciar que esta ecuación es una ley experimental independiente; no puede deducirse de otras leyes experimentales.

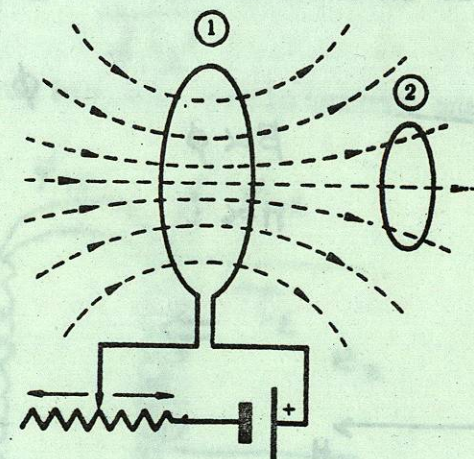


Fig. 6 Cuando varía la corriente en el circuito 1 varía el flujo magnético que atraviesa el circuito 2.

Ley de Lenz.- " En caso de que haya un cambio en un sistema magnético, sucede algo que tiende a oponerse al cambio". De aquí se explica el signo negativo de la Ec. 5.1. La ley de Lenz es de gran utilidad, ya que en muchos casos representa la forma más rápida, si no la única, de obtener información acerca de reacciones electromagnéticas.

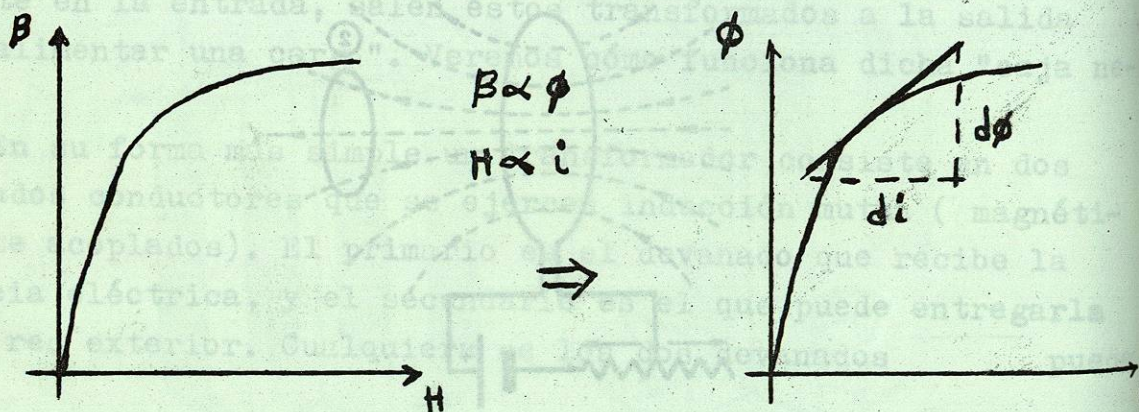
Inductancia o Coeficiente de Inducción.- El flujo magnético que atraviesa un circuito aislado depende de la forma geométrica del circuito, y según se demostró en el Cap. 2, es dependiente de la intensidad de la corriente en el circuito. Puede entonces escribirse la siguiente ecuación, de acuerdo a la regla de la cadena para derivadas:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{di} \frac{di}{dt} \quad 5.2$$

Cuya única condición es que ϕ sólo dependa de la corriente. La razón $d\phi/di$ será constante para materiales que tengan una permeabilidad constante; aplicando nuevamente la regla de la cadena:

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{di} &= \frac{d\phi}{dF_{mm}} \frac{dF_{mm}}{di} \\ &= \text{cte.} * \text{cte.} = \text{cte.} \end{aligned}$$

y en el caso de los materiales ferromagnéticos variará según la forma de la curva de imanación:



En cualquier caso, la inductancia o coeficiente de inducción L se define por:

$$L = \frac{d\phi}{di} \quad 5.3$$

De aquí, la ley de Faraday puede expresarse como:

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad 5.4$$

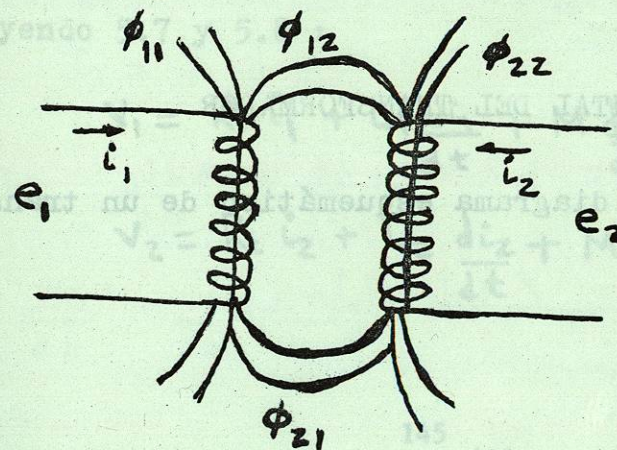
Donde di/dt es la derivada de la corriente que hace variar el flujo magnético en el circuito eléctrico donde se induce e . Cuando el flujo en un circuito depende tanto de su propia corriente como de la corriente que circula en otro circuito eléctrico, por estar éstos MAGNETICAMENTE ACOPLADOS, la Fem resultante en un circuito es la suma algebraica de las Fem inducidas en éste por las variaciones de ambas corrientes. De aquí se definen dos coeficientes de inducción: AUTOINDUCTANCIA (L), que es para un circuito 1 la derivada del flujo que produce su propia corriente con respecto a su propia corriente:

$$L_1 = \frac{d\phi_{11}}{di_1} \quad 5.5$$

y la INDUCTANCIA MUTUA (M), que es la derivada del flujo que produce un circuito 2 en un circuito 1 con respecto a los cambios de corriente en el circuito 2:

$$M_1 = \frac{d\phi_{12}}{di_2} \quad 5.6$$

Entonces, para dos circuitos sin resistencia mutuamente acoplados:



ϕ_{11} - Flujo en el circuito 1 producido por la corriente 1.

ϕ_{12} - Flujo en el circuito 1 producido por la corriente 2.

$\phi_{21} = \phi_{12}$ = Flujo Mutuo.

Siendo las Ecs. que describen al sistema:

$$e_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_1 \frac{di_2}{dt} \quad 5.7$$

$$e_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M_2 \frac{di_1}{dt} \quad 5.8$$

Las Ecs. 5.7 y 5.8 se obtienen aplicando las definiciones 5.5 y 5.6. La unidad de inductancia es el HENRIO, dimensionalmente equivalente a Volt-seg/Amp. El coeficiente de inducción de un circuito es de 1 henrio si se induce en él una Fem de 1 volt cuando la corriente del circuito inductor varía a razón de 1 Amp/seg. Puede demostrarse fácilmente que los coeficientes de inducción mutua M_1 y M_2 son iguales, por lo que se substituyen por M únicamente; demostrarlo se deja como ejercicio al lector (sugerencia: M_1 y M_2 corresponden al flujo mutuo).

Cabe aclarar que cuando se tiene un conjunto de espiras, tan estrechamente unidas que a todas las atraviesa el mismo flujo, las expresiones 5.1 y 5.3 toman la siguiente forma:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad 5.9$$

$$L = N \frac{d\phi}{di} \quad 5.10$$

Siendo N el número total de espiras conectadas en SERIE, es decir, de manera tal que sus Fems individuales se sumen para dar la Fem total e .

5.2.2 TEORIA ELEMENTAL DEL TRANSFORMADOR

El siguiente es un diagrama esquemático de un transformador simple:

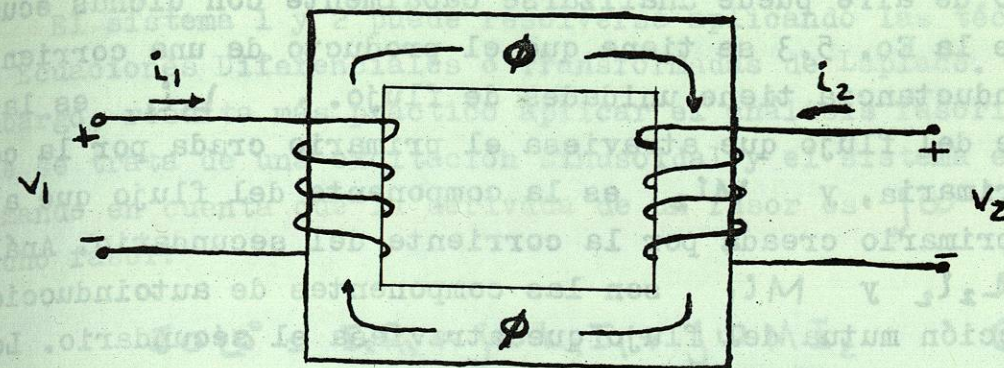
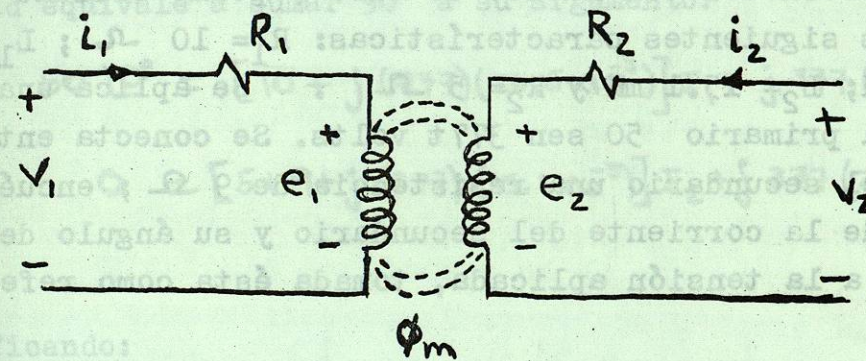


Fig. 7

Eléctricamente equivalente a:



Ecuaciones de malla:

$$v_1 = R_1 i_1 + e_1 \quad 5.11$$

$$v_2 = R_2 i_2 + e_2 \quad 5.12$$

Substituyendo 5.7 y 5.8 :

$$v_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \quad 5.13$$

$$v_2 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \quad 5.14$$