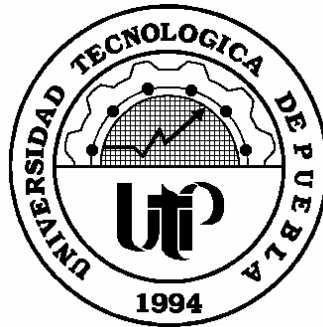




Universidad Tecnológica de Puebla

Transformadores y motores de inducción

Manual de asignatura

Carrera

Electricidad y Electrónica Industrial

Programa 2004

Créditos

Elaboró: Ing. Francisco Javier Rodríguez Sáenz

Revisó:

Colaboradores:

Autorizó:

Contenido

Objetivo general

Seleccionar Transformadores y Motores de C.A.

Habilidades por desarrollar en general

Tener conocimiento de la estructura y funcionamiento de los transformadores y motores de inducción, así como también tener la habilidad de poder realizar pruebas, para detectar fallas en dichos componentes

		Teoría	Horas Práctica	Total	Página
I	Generalidades	7	0	7	X
II	Circuitos magnéticos excitados con CD y CA	4	10	14	X
III	El transformador	7	18	25	X
IV	Conceptos generales de los motores eléctricos de CA	3	7	10	X
V	Motores monofásicos	5	9	14	X
VI	Motores trifásicos	4	17	21	
VII	Selección de motores de CA y transformadores	10	4	14	
	Guía de practicas				X

I Generalidades

Objetivo

I Conocer los conceptos básicos del magnetismo

Habilidades por desarrollar en la unidad

Definir los parámetros magnéticos y utilizar las leyes del magnetismo para comprender la conversión de energía entre equipos electromagnéticos como transformadores, motores y generadores.

Saber en la Teoría (7 hrs.)

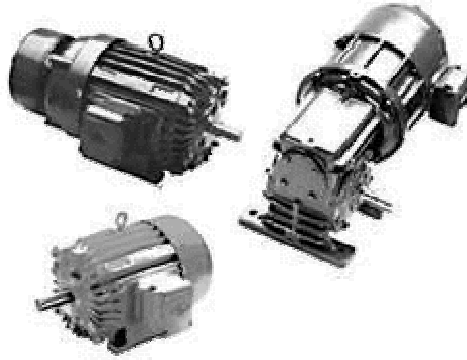
I.1 Definir el concepto y los procesos de conversión de la energía en sistemas electromecánicos

Conversión de energía electromagnética.

El Campo Magnético es el mecanismo fundamental mediante el cual los motores, generadores y transformadores convierten la energía de una forma en otra. La manera como el campo magnético actúa en los diferentes equipos, se pueden describir mediante cuatro principios básicos, que son:

- Al circular corriente por un conductor se produce un campo magnético alrededor de él.
- Si a través de una espira se pasa un campo magnético variable con el tiempo, se induce un voltaje en dicha espira. (Esta es la base de la acción transformadora).
- Si un conductor por el cual circula corriente, se encuentra dentro de un campo magnético, se produce una fuerza sobre dicho conductor. (Esta es la base de la acción motora).
- Cuando un conductor en movimiento se encuentra inmerso dentro de un campo magnético, en dicho conductor se induce un voltaje. (Esta es la base de la acción generadora.).

Una **Máquina Eléctrica** es un artefacto que puede convertir energía eléctrica en energía mecánica (trabajando como motor) o bien energía mecánica en energía eléctrica (trabajando como generador). Este tipo de máquinas puede convertir energía de una forma u otra por la acción de un campo magnético.



I. 2 PARÁMETROS Y VARIABLES MAGNÉTICAS

Comprender los parámetros y variables magnéticas que se encuentran en un material magnético

Densidad de Flujo

En el sistema de unidades SI, el flujo magnético se mide en webers y tiene el símbolo Φ (Fi). La cantidad de líneas de flujo por unidad de área se denomina “Densidad de Flujo” y se representa mediante la letra B y se mide en Wb/m^2 o Teslas. Su magnitud se determina a través de la siguiente ecuación.

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

B = teslas
 Φ = webers
A = metros cuadrados

Permeabilidad

Si se usan núcleos de diferentes materiales con las mismas dimensiones físicas en un electroimán, la fuerza del imán variará de acuerdo con el núcleo usado. Esta variación en la fuerza se debe a la mayor o menor cantidad de líneas de flujo que pasan por el núcleo.

Se consideran magnéticos los materiales de los que surgen líneas de flujo con gran facilidad y que tienen una alta permeabilidad

La **permeabilidad** es una medida de la facilidad con que se establecen líneas de flujo magnético en un material, y se representa por el símbolo μ , sus unidades son Wb/A-m .

La permeabilidad del espacio libre se denomina μ_0 y su valor es:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A-m.}$$

En términos prácticos, la permeabilidad de todos los materiales no magnéticos, por ejemplo el cobre, el aluminio, la madera, el cristal y el aire, es igual que para el espacio libre.

Se llama **permeabilidad relativa** de un material a la relación entre su propia permeabilidad y la del espacio libre;

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

La permeabilidad relativa sirve para comparar la facilidad con que se pueden magnetizar los diferentes materiales.

La reluctancia

La reluctancia de un circuito magnético es el homólogo de la resistencia de un circuito eléctrico y se mide en **amperes – vuelta por weber**

La reluctancia de un material al paso de las líneas de flujo magnético por él se determina por medio de la ecuación siguiente:

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad (\text{rels, o } A_t / \text{Wb})$$

En donde R es la reluctancia, l es la longitud de la trayectoria magnética y A es su área transversal, la t en las unidades A_t / Wb

Encadenamientos de flujo

El encadenamiento de flujo ocurre cuando el flujo magnético abraza a la corriente que lo genera, en un conductor eléctrico y al mismo tiempo la corriente abraza al flujo magnético.

Auto inductancia

La capacidad que tiene una bobina para oponerse a cualquier cambio en la corriente es una medida de la *autoinductancia* L de la bobina. Por brevedad generalmente se elimina el prefijo auto. La **inductancia** se mide en Henrios

Inductores

Los inductores son bobinas de diferentes dimensiones diseñadas para introducir cantidades específicas de inductancia dentro de un circuito. La inductancia varía con relación directa a las propiedades magnéticas de la bobina. Por tanto, con frecuencia se emplean materiales ferromagnéticos para incrementar la inductancia aumentando el flujo que enlaza la bobina.

La inductancia de la siguiente figura se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l}$$

Donde N representa la cantidad de vueltas de la bobina, μ la permeabilidad del núcleo, l la longitud media del núcleo en metros; y, A , el área de la sección transversal expresada en metros cuadrados

Voltaje Inducido

La inductancia de una bobina también es una medida del cambio en el flujo que enlaza a una bobina debido aun cambio en su corriente; esto es,

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

Cuando una corriente que atraviesa un inductor está cambiando, el flujo magnético que lo eslabona cambia y se induce una fuerza electromotriz en él, Si se considera constante la permeabilidad, la fuerza electromotriz inducida es proporcional al cambio de la corriente. por la ley de Faraday el voltaje entre terminales está dado por:

$$v_L = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$v = N \frac{d\phi}{dt} = N \left(\frac{d\phi}{di} \right) \left(\frac{di}{dt} \right) = L \frac{di}{dt}$$

La ley de Faraday establece que se induce un voltaje en una bobina que contiene un flujo variable en el tiempo.

L es una constante de proporcionalidad denominada coeficiente de auto inductancia, sus unidades son weber/amper o Henrio.

Inductancia Mutua

El parámetro asociado con el encadenamiento de flujo en un circuito producido por la corriente en otro circuito, se denomina inductancia mutua

Si colocamos dos bobinas muy cercanamente, designadas como 1 y 2 respectivamente, y hacemos circular una corriente por la bobina 1, se producirá un flujo magnético dado por: $\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{21}$

Donde:

ϕ_{11} es la parte del flujo que eslabona la bobina 1

ϕ_{12} es la parte del flujo debido a la bobina 1 que eslabona la bobina 2

El flujo ϕ_{12} induce un voltaje en la bobina dos dado por:

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt}$$

Como ϕ_{12} es debido a la corriente 1 y v_2 es proporcional al cambio que ocurra en esta corriente la ecuación se transforma a:

$$v_2 = M \frac{di}{dt}$$

donde :

M se conoce como constante de inductancia mutua

$$M = N_2 \frac{d\phi_{12}}{di_1}$$

Coeficiente de Acoplamiento K

El eslabonamiento de flujo entre dos bobinas depende de la orientación y el espaciado que exista entre dos bobinas y de la permeabilidad del medio acoplador. La fracción del flujo total de una bobina que eslabona a la otra bobina se conoce como coeficiente de acoplamiento.

$$K = \frac{\phi_{12}}{\phi_1} = \frac{\phi_{21}}{\phi_2}$$

El máximo valor de k es la unidad y se puede expresar en función del coeficiente de inductancia mutua y de las inductancias propias de la siguiente manera:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

Valor efectivo inducido en una bobina

Cuando se aplica una corriente variable en el tiempo, a un circuito magnético se produce un flujo magnético también variable en el tiempo, esto es:

$$i = \sqrt{2} I_p \sin \omega t$$

$$\phi(t) = \phi_{\max} \sin \omega t$$

$$\phi_{\max} = A B_{\max}$$

$$\phi(t) = A B_{\max} \sin \omega t$$

Donde:

$\phi(t)$ = Variación Senoidal de flujo en el núcleo

$\phi_{\max}$ = Amplitud del flujo

$\beta_{\max}$ = Amplitud de la Densidad de Flujo

ω = Frecuencia angular = $2\pi f$

f = Frecuencia en Hertz

A = Sección transversal del núcleo

De acuerdo a la ley de Faraday el voltaje inducido en el devanado de N vueltas es:

$$e(t) = N \frac{d\phi}{dt} \quad \therefore \quad e(t) = \omega N \phi_{\max} \cos \omega t = E_{\max} \cos \omega t$$

Donde:

$$E_{\max} = \omega N \phi_{\max} = 2\pi f N A_c B_{\max}$$

En términos de valores rms

$$E_{rms} = \sqrt{2} \pi f N A_c B_{\max}$$

$E_{rms} = 4.44 f N \Phi_{\max}$

A la corriente necesaria para producir campo magnético se le denomina corriente de excitación.

$$I_{\phi rms} = \frac{l_c H_{rms}}{N}$$

en donde H_{rms} es la intensidad de campo magnético efectivo

$$H = \frac{F}{l}$$

La corriente de excitación suministra la fuerza magnetomotriz necesaria para producir el flujo en el núcleo y la potencia asociada con la energía del campo magnético.

II Circuitos magnéticos excitados con C.D. y C.A.

Objetivo particular de la unidad

Analizar los parámetros y variables de circuitos magnéticos excitados con C.D y C.A

Habilidades por desarrollar en la unidad

Resolver circuitos magnéticos de diferentes estructuras excitados con c-d y c-a.

Saber en la Teoría (4 hrs.)

II. I CIRCUITOS MAGNÉTICOS

Comparar las características de un circuito eléctrico con un circuito Magnético

Analizar y calcular los parámetros de circuitos magnéticos de diferentes materiales excitados con c.d. y c.a.

LA LEY DE OHM PARA LOS CIRCUITOS MAGNETICOS

En un circuito eléctrico, el voltaje o fuerza electromotriz genera un flujo de corriente. En forma similar en un circuito magnético, quien genera un flujo magnético, es una fuerza denominada **fuerza magnetomotriz**

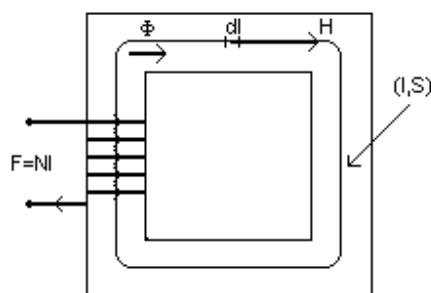


Fig.1

El campo magnético creado por la bobina es directamente proporcional a la corriente I y al número de espiras o vueltas (N) que se encuentran alrededor del núcleo (Fig. 1).

Por comparación con la tensión eléctrica, llamaremos **TENSIÓN MAGNETICA o FUERZA MAGNETOMOTRIZ (f.m.m.)** al producto de I por N , de tal manera que, resulta la siguiente ecuación:

$$F = NI$$

Donde:

F : Fuerza magnetomotriz, y su unidad es amper por vuelta (A_t).

N : Numero de vueltas del bobinado.

I : Corriente aplicada, su unidad es el Ampere.

Esta ecuación indica claramente que un incremento en la cantidad de vueltas o en la corriente que pasa por el alambre producirá una mayor " Fuerza " en el sistema para establecer líneas de flujo a través del núcleo.

Analogías entre circuito eléctrico y circuito magnético:

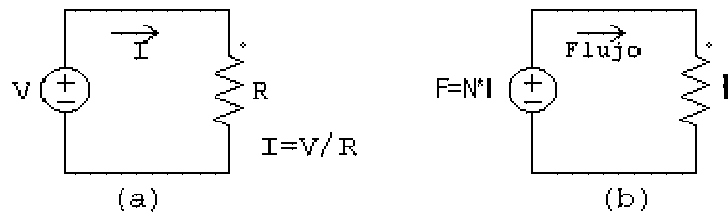


Figura 2.

- a) Un circuito eléctrico simple. b) El circuito magnético análogo a un núcleo de transformador.

En un circuito eléctrico, el voltaje aplicado causa el flujo de una corriente I . De modo semejante, en un circuito magnético la fuerza magnetomotriz aplicada causa la producción de un flujo magnético Φ .

La relación entre voltaje y resistencia en un circuito eléctrico es la ley de ohm ($I = V/R$); de manera semejante, la relación entre fuerza magnetomotriz y reluctancia es:

$$\Phi = F/R$$

Donde

F : Fuerza magnetomotriz; en Amper - vuelta

Φ : Flujo magnético; en weber.

R : Reluctancia del circuito; en amperes – vuelta por weber

La reluctancias en un circuito magnético obedecen las mismas reglas a que obedecen en un circuito eléctrico.

La reluctancia equivalente en un circuito serie es :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

La reluctancia en un circuito paralelo es:

$$1/R_{eq} = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) + \dots$$

Fuerza Magnetizadora (Intensidad de campo)

La fuerza magnetomotriz por unidad de longitud se denomina **fuerza magnetizadora** y se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$H = \frac{F}{l} \quad (\text{At/m})$$

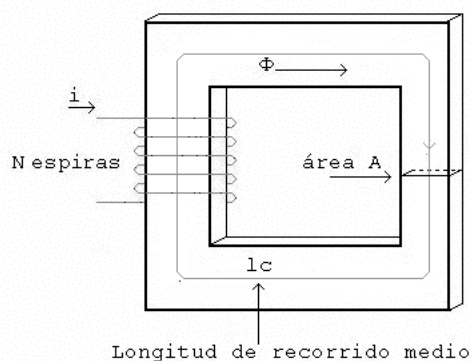
La sustitución para la fuerza electromotriz dará como resultado:

$$H = \frac{NI}{l} \quad (\text{At/m})$$

H es la intensidad del campo magnético producido por la corriente, en amperios-vuelta por metro

I es la corriente y se mide en amperios

l es la longitud de la trayectoria magnética



Puede decirse que la intensidad de campo magnético H es una medida del "esfuerzo" que hace una corriente para crear un campo magnético. La intensidad del flujo magnético producido depende del material del cual esté hecho el núcleo.

La relación entre la intensidad de campo magnético H y la densidad del flujo magnético resultante dentro de un material, está dada por la ecuación:

$$B = \mu H$$

Donde H = Intensidad de campo magnético
 μ = Permeabilidad magnética del material
 B = Densidad del flujo magnético resultante

La Histéresis

En electrotecnia se define la histéresis magnética como el retraso de la inducción respecto al campo que lo crea. Se produce histéresis al someter al núcleo a un campo creciente, los imanes elementales giran para orientarse según el sentido del campo. Al decrecer el

campo, la mayoría de los imanes elementales recobran su posición inicial, sin embargo, otros no llegan a alcanzarla debido a los rozamientos moleculares conservando en mayor o menor grado parte de su orientación forzada, haciendo que persista un magnetismo remanente que obligue a cierto retraso de la inducción respecto de la intensidad de campo.

En lugar de aplicar una corriente continua a los bobinados del núcleo, ahora vamos a aplicar una corriente alterna y observar lo que sucede.

En la figura 1. Esto es básicamente la curva de saturación. Sin embargo, cuando la corriente disminuye nuevamente, *el flujo sigue una ruta diferente de la seguida cuando la corriente se aumentó*. Cuando la corriente disminuye, el flujo en el núcleo sigue la ruta bcd y luego cuando la corriente aumenta nuevamente, el flujo sigue la ruta deb. Nótese que la cantidad de flujo presente en el núcleo depende no solamente de la cantidad de corriente aplicada a su embobinado, sino también de la historia previa del flujo en el núcleo. Esta dependencia de la historia precedente del flujo y la falla resultante para volver sobre el trazo de la trayectoria del flujo se llama histéresis. La trayectoria bcdeb trazada en la figura 1, mientras la corriente aplicada cambia, se llama curva de histéresis.

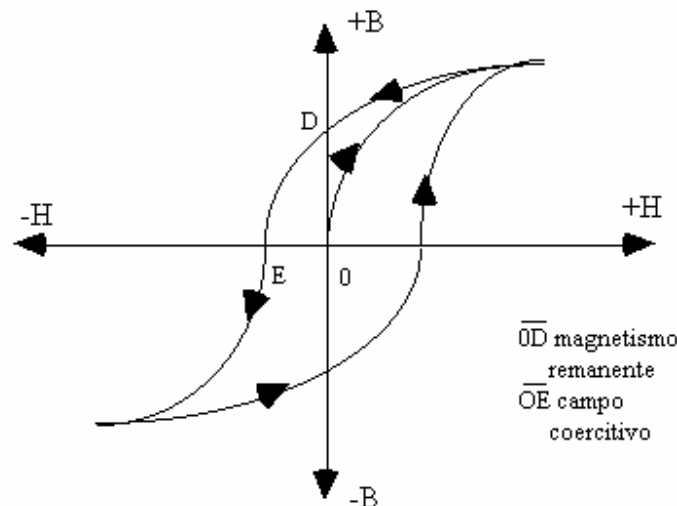


Figura 1: La curva de hístéresis trazada por el flujo en un núcleo cuando se le aplica la corriente $i(t)$.

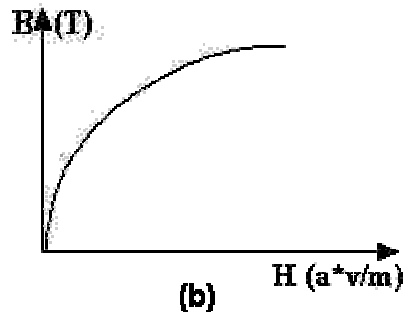
Nótese que si una fuerza magnetomotriz grande se aplica primero al núcleo y luego se elimina, la trayectoria del flujo en el núcleo será *abc*. Cuando la fuerza magnetomotriz se elimina, el flujo en el núcleo *no* llega a cero. En lugar de esto, un campo magnético permanece en él.

Este campo magnético se denomina flujo *remanente* en el núcleo.

Es precisamente en esta forma como se producen los imanes. Para llevar el flujo hasta cero, una cantidad de fuerza magnetomotriz, conocida como la *fuerza coercitiva magnetomotriz* F_c , se debe aplicar al núcleo en la dirección opuesta.

CURVAS DE MAGNETIZACION

Definición: La curva de magnetización de un material ferromagnético es aquella que representa el magnetismo en el material como función de la fuerza magnetizante.



La pendiente de esta curva corresponde a la permeabilidad magnética del material

$$\mu = B / H$$

Las curvas de magnetización de diferentes materiales ferromagnéticos se obtienen directamente de las curvas de histéresis de cada material en común con el que se este tratando.

Por lo general estas curvas se encuentran en los manuales de fabricantes de materiales magnéticos, y son de gran importancia para el cálculo en circuitos magnéticos

La ley de los circuitos de ampere

La ley de los circuitos de ampere establece que la suma algebraica de las subidas y caídas de la mmf por un ciclo cerrado de un circuito magnético es igual a cero, y se expresa a través de la siguiente ecuación

$$\sum F = 0$$

La ecuación se conoce como la ley de los circuitos de ampere, y cuando se aplica a los circuitos magnéticos, las fuentes de la mmf se expresan mediante la ecuación.

$$F = NI \quad (A_t)$$

La ecuación para una caída de la mmf en una parte de un circuito magnético se representa a través de la ley de ohm para circuitos magnéticos.

$$F = \Phi R \quad (A_t)$$

En donde Φ es el flujo que pasa por una sección del flujo magnético y R es la reluctancia de esa sección. Sin embargo, rara vez se calcula la reluctancia en el análisis de los circuitos magnéticos.

Una ecuación más práctica para la caída de la mmf es

$$F = HI \quad (A_t)$$

Donde H es la fuerza magnetizadora en una sección de un material ferromagnético, y I es la longitud de la sección.

Si aplicamos la ley de ampere para la ecuación anterior tenemos:

$$\sum F = 0$$

$$F - HI = 0$$

Si sustituimos la fuerza magnetomotriz F por NI tenemos la siguiente ecuación

$$\frac{NI}{\text{Subida}} - \frac{HI}{\text{Caída}} = 0$$

Saber Hacer en la practica (10 hrs .)

Resolver circuitos magnéticos serie y paralelo con materiales y excitaciones múltiples en c-d y c-a, calculando todos los parámetros y variables magnéticas

- 1.- Determinar la densidad de flujo magnético para el entrehierro de 3 mm, en un núcleo que tiene una longitud media de 15 cm, una sección transversal de 4 cm² y una permeabilidad infinita, en el núcleo se arrolla una bobina de 150 vueltas y por ella circulan 3 Amperes

SOLUCIÓN:

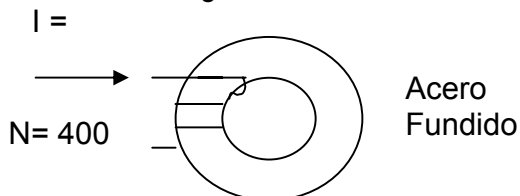
Como la permeabilidad del núcleo es infinita la única reluctancia presente es la debida al entrehierro del núcleo por lo tanto:

$$\beta = \frac{\mu \tilde{N}}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(150)(3)}{3 \times 10^{-3}} = 0.1884 \text{ Teslas}$$

- 2- Encuentre la corriente requerida en la bobina para provocar un flujo magnético de 4×10^{-4} wb a través del circuito magnético de la siguiente figura .

$$\text{Área de la sección transversal} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Longitud de la seccion} = 0.16 \text{ m}$$



III Transformadores

Objetivo particular de la unidad

Conocer y seleccionar diferentes tipos de transformadores

Habilidades por desarrollar en la unidad

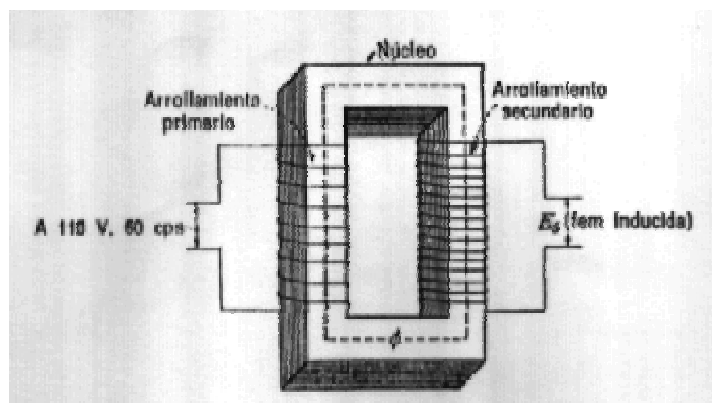
- Conocer el funcionamiento de un transformador y las partes que lo integran. Realizar cálculos de medición para un transformador Real e ideal .
- Realizar conexiones monofásicos y trifásicos de transformadores .
- Realizar pruebas a transformadores :
Dieléctricas y de aislamiento, de polaridad y de relación de transformación

Saber en la Teoría (7 hrs.)

III. I Funcionamiento de un Transformador

El transformador, es un dispositivo que no tiene partes móviles, el cual transfiere la energía eléctrica de un circuito u otro bajo el principio de inducción electromagnética. La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los valores de voltajes y corrientes.

Esta constituido por dos o más bobinas de alambre, aisladas entre si eléctricamente por lo general y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético.



El transformador es un aparato electromagnético que puede realizar las siguientes funciones:

- 1.- Elevar o reducir el voltaje o la corriente
- 2.- Actuar como un dispositivo de acoplador de impedancias

3.- Aislar una parte de la red de otra

La teoría del funcionamiento de un transformador es la que sigue:

1. Cuando se conecta el primario a un fuente de fem alterna, por el bobinado comienza a pasar una corriente alterna.
2. En cuanto fluye una corriente por un conductor se crea un campo magnético alrededor de él. Si la corriente cambia continuamente en magnitud y la polaridad, el campo magnético que se origina en el núcleo de hierro hará lo mismo.
3. El campo magnético alterno está, por tanto, continuamente expandiéndose y contrayéndose. Como el circuito magnético es cerrado, la variación del campo magnético es la misma en cualquier parte del núcleo.
4. Las líneas magnéticas al expandirse y contraerse cortarán a los conductores situados en cualquier parte del núcleo, y de acuerdo con el experimento de Faraday, en éstos aparecerá una fem inducida.
5. Como a cada conductor sobre el núcleo le corta el mismo flujo, la fem inducida por vuelta será la misma. Por tanto, el voltaje en cada bobinado será proporcional al número de vueltas; expresado matemáticamente, esto es

$$\frac{EP}{ES} = \frac{NP}{NS}$$

6. Se puede ver en esta ecuación que el voltaje del secundario se puede aumentar o disminuir eligiendo una relación de vueltas.

Un transformador es un dispositivo capaz de variar los valores de voltaje y corriente de un nivel a otro nivel sin variar la frecuencia, solamente mediante acoplamiento magnético.

Su importancia reside en el hecho de que al aumentar el voltaje se reduce la corriente y esto lo hace indispensable en los sistemas de potencia para transmitir energía eléctrica a grandes distancias disminuyendo las pérdidas.

III.2 Funciones de las principales partes de un transformador

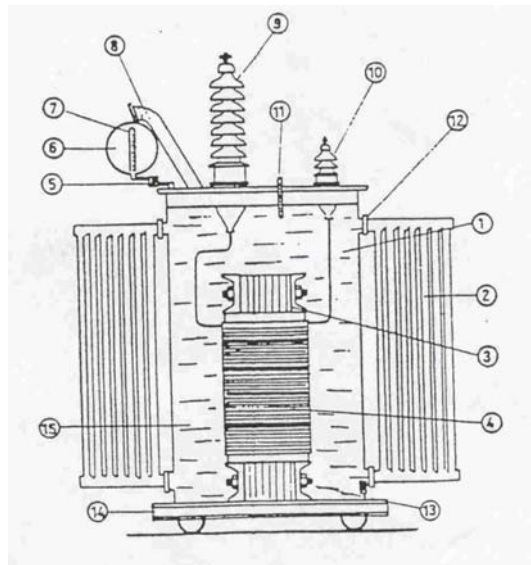
Un transformador consta de numerosas partes; siendo las principales las siguientes:

- a) Núcleo magnético.
- b) Bobinados primario, secundario, terciario, etc.
- c) Tanque, recipiente o cubierta.
- d) Boquillas terminales.
- e) Medio refrigerante.
- f) Conmutadores y auxiliares.
- g) Indicadores.

- a).- El núcleo constituye el circuito magnético que transfiere energía de un circuito a otro y su función principal es la de conducir el flujo activo. Está sujeto por el herraje o bastidor, se construye de laminaciones de acero al silicio (4%) y sus gruesos son del orden de 0.014 de pulgadas (0.355mm) con un aislante de 0.001 de pulgada (0.0254 mm).
- b).- Los bobinados constituyen los circuitos de alimentación y carga; pueden ser de una o tres fases, y por la corriente y número de espiras, pueden ser de alambres delgado, grueso o de barra. La función de los devanados es crear un campo magnético (primario con una pérdida de energía muy pequeña y utilizar el flujo para inducir una fuerza electromotriz (secundario).
- c).- El tanque o recipiente es un elemento indispensable en aquellos transformadores cuyo medio de refrigeración no es el aire; sin embargo, puede prescindirse de él en casos especiales. Su función es la de radiar el calor producido en el transformador.
- d).- La boquilla permite el paso de la corriente a través del transformador y la evita que haya un escape indebido de corriente y con la protección contra flameo.
- e).- El medio refrigerante debe ser buen conductor del calor; puede ser líquido) como en la mayoría de los transformadores de gran potencia), sólido o semisólido.
- f).- Los conmutadores, cambiadores de derivaciones o taps, son órganos destinados a cambiar la relación de voltajes de entrada y salida, con el objeto de regular el potencial de un sistema o la transferencia de energía activa o reactiva entre los sistemas interconectados. Existen dos tipos de ellos: sencillo, de cambio sin carga, y el perfeccionado, de cambio con carga pro medio de señal o automático.
- g).- Los indicadores son aparatos que nos señalan el estado del transformador. Por ejemplo, marcan el nivel del líquido a la temperatura, presión , etcétera

Partes esenciales del transformador.

1. Tanque
2. Tubos radiadores.
3. Núcleo (circuito magnético).
4. Devanados.
5. Relé de protección buchholz.
6. Tanque conservador (8 al 10% del volumen del tanque).
7. Indicador de aceite.
8. Tubo de escape en caso de explosión (válvula de sobrepresión).
9. Boquillas o aisladores de potencia.
10. Termómetros.
11. Conexión de los tubos radiadores al tanque.
12. Tornillos opresores para dar rigidez al núcleo.
13. Base de rolar.
14. Refrigerante.



TRANSFORMADOR IDEAL

Un transformador ideal es un artefacto sin pérdidas, con una bobina de entrada y una bobina de salida. Las relaciones entre los voltajes de entrada y de salida, y entre la corriente de entrada y de salida, se establece mediante dos ecuaciones sencillas. La figura 1 muestra un transformador ideal.

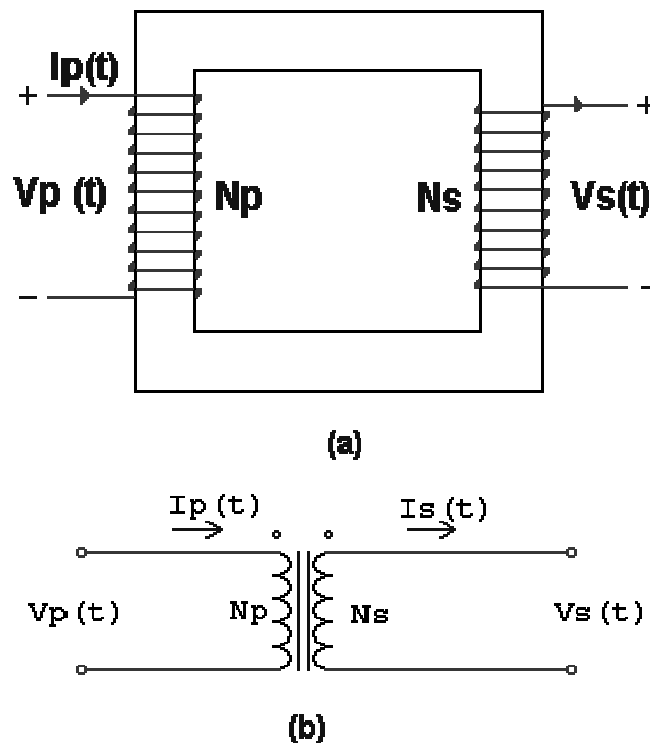


Figura 1. a) Esquema de un transformador ideal. b) Símbolos esquemáticos de un transformador ideal.

En el transformador que se muestra en la figura 1 tiene N_P espiras de alambre sobre su lado primario y N_S de espiras de alambre en su lado secundario. La relación entre el voltaje $V_P(t)$ aplicado al lado primario del transformador y el voltaje $V_S(t)$ inducido sobre su lado secundario es

$$V_P(t) / V_S(t) = N_P / N_S = a$$

En donde a se define como la relación de espiras del transformador

$$a = N_P / N_S$$

La relación entre la corriente $i_P(t)$ que fluye en el lado primario del transformador y la corriente $i_S(t)$ que fluye hacia fuera del lado secundario del transformador es

$$N_P * i_P(t) = N_S * i_S(t)$$

$$i_P(t) / i_S(t) = 1 / a$$

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones son

$$V_P / V_S = a$$

$$I_P / I_S = 1 / a$$

Potencia en un transformador ideal

La potencia suministrada al transformador por el circuito primario se expresa por medio de la ecuación

$$P_{ent} = V_P * I_P * \cos \theta$$

En donde θ es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundaria. La potencia que el circuito secundario suministra a sus cargas se establece por la ecuación:

$$P_{sal} = V_S * I_S * \cos \theta$$

En donde θ es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundarios. Puesto que los ángulos entre el voltaje y la corriente no se afectan en un transformador ideal, Las bobinas primaria y secundaria de un transformador ideal tienen el mismo factor de potencia.

La potencia de salida de un transformador ideal es igual a su potencia de entrada.

$$P_{sal} = V_P * I_P * \cos \theta = P_{ent}$$

La misma relación se aplica a la potencia reactiva Q y la potencia aparente S .

$$Q_{ent} = V_P * I_P * \sin \theta = V_S * I_S * \sin \theta = Q_{sal}$$

$$S_{ent} = V_P * I_P = V_S * I_S = S_{sal}$$

Transformación de la impedancia por medio de un transformador

La impedancia de salida de un transformador se define como la relación fasorial entre el voltaje y la corriente que lo atraviesan:

$$Z_L = V_L / I_L$$

Una de las propiedades interesantes de un transformador es que, como cambian los niveles de voltaje o corriente, también cambia la proporción entre el voltaje y corriente y por consiguiente, la impedancia aparente de un elemento. Para entender mejor esta idea véase la siguiente figura 2.

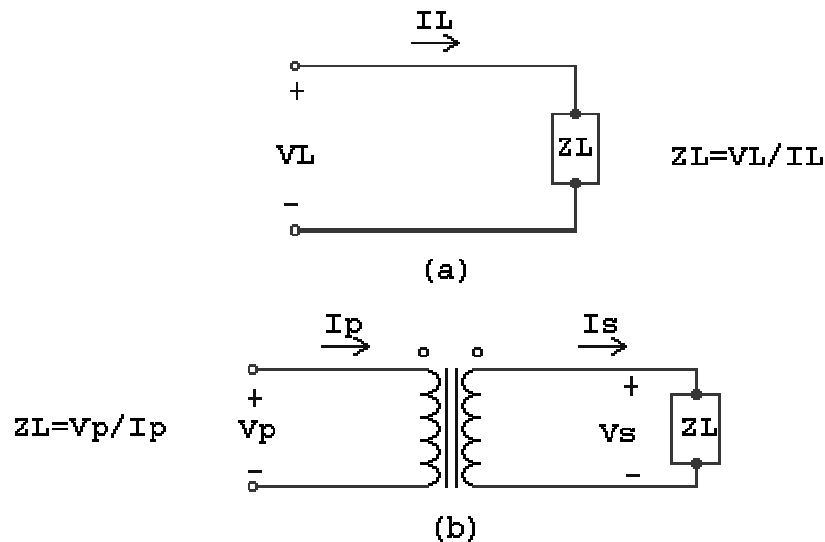


Figura 2. a) Definición de impedancia. b) Escalamiento de la impedancia a través de un transformador

Si la corriente secundaria se llama I_s y el voltaje secundario V_s , entonces la impedancia de la carga total se expresa por

$$Z_L = V_s / I_s$$

La impedancia aparente del circuito primario del transformador es

$$Z_{\phi L} = V_p / I_p$$

Como el voltaje primario se puede expresar como:

$$V_p = a * V_s$$

Y la corriente primaria

$$I_p = I_s / a$$

La impedancia del primario es

$$Z_{\phi L} = V_p / I_p = (a * V_s) / (I_s / a) = a^2 * (V_s / I_s)$$

$$Z_{\phi L} = a^2 * Z_L$$

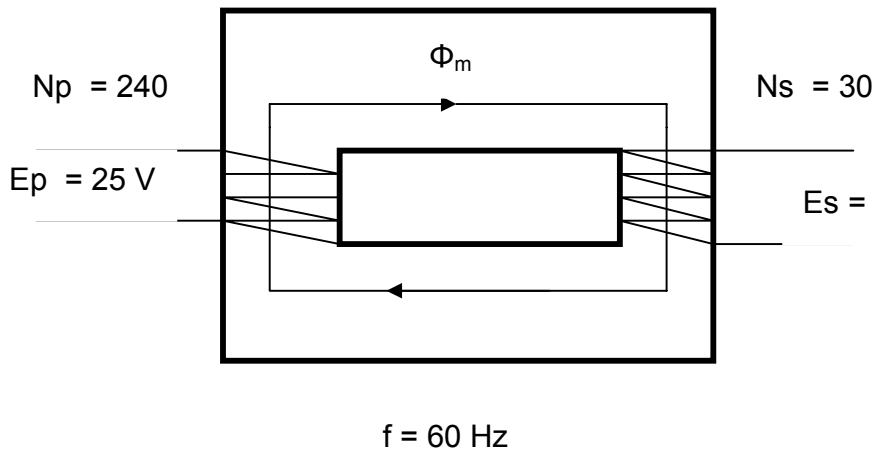
Con un transformador es posible acoplar la magnitud de la impedancia de la carga con la magnitud de la impedancia de la fuente escogiendo sencillamente la relación apropiada de espiras.

Análisis de los circuitos que contienen transformadores ideales

Si un circuito contiene un transformador ideal, entonces la forma más fácil de calcular los voltajes y corrientes del circuito es reemplazar la porción del circuito de uno de los lados del transformador por uno equivalente con las mismas características terminales. Después que el circuito equivalente se ha sustituido por un lado, el circuito resultante (sin transformador) puede calcularse por sus voltajes y corrientes. En la porción del circuito que no se modificó, los resultados obtenidos serán los valores correctos de los voltajes y corrientes del otro lado del transformador. El proceso de reemplazar un lado de un transformador por su nivel de voltaje equivalente del otro lado se llama reflexión o referencia del primer lado al segundo lado.

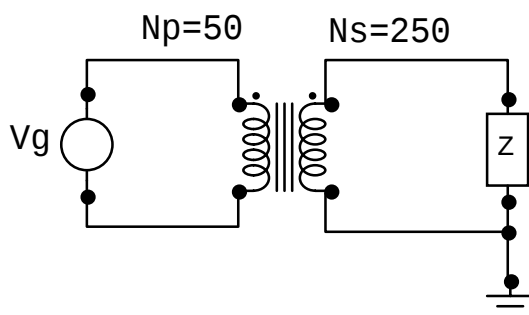
Ejercicios

1. -Para el transformador con núcleo de hierro ($K = 1$) de la siguiente figura
 - a).- Determine la magnitud del voltaje inducido E_s .
 - b).- Calcule el flujo máximo Φ_m



- 2.-, Para el transformador con núcleo de hierro de la figura siguiente :

- a).- Defina la magnitud de la corriente I_L y el voltaje V_L si $I_p = 2$ Amperes $Z_L =$ es un resistor de 2 ohms.
- b).- Calcule la resistencia de entrada con los datos especificados en el inciso a)

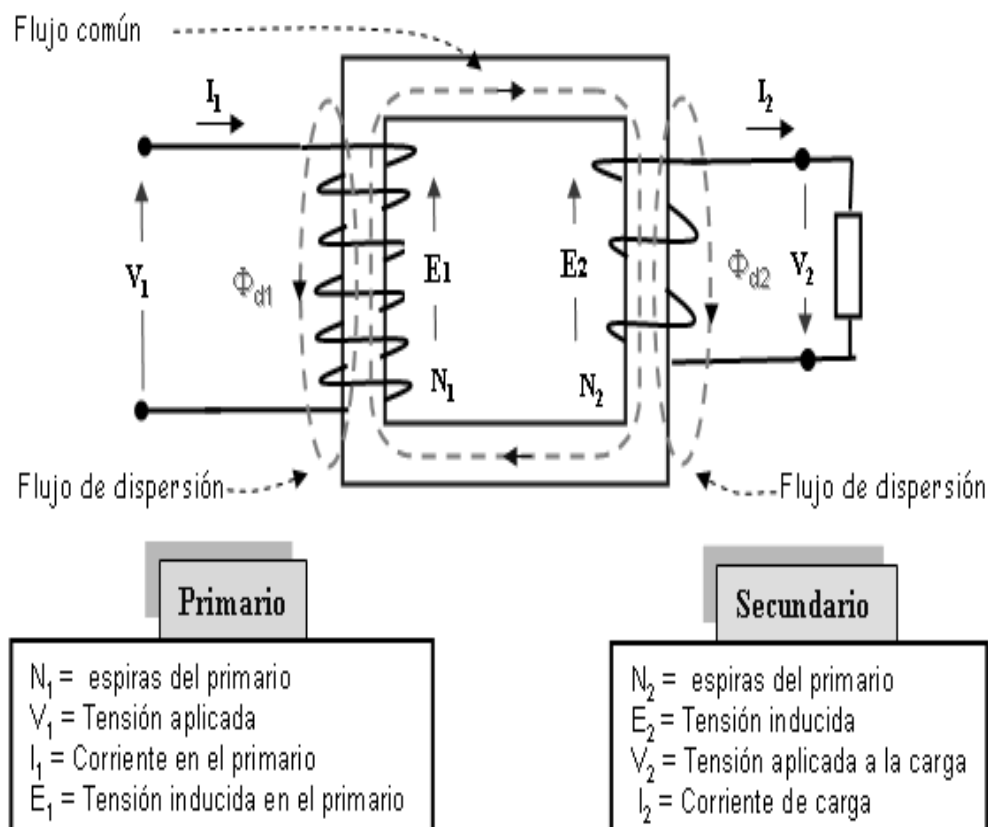


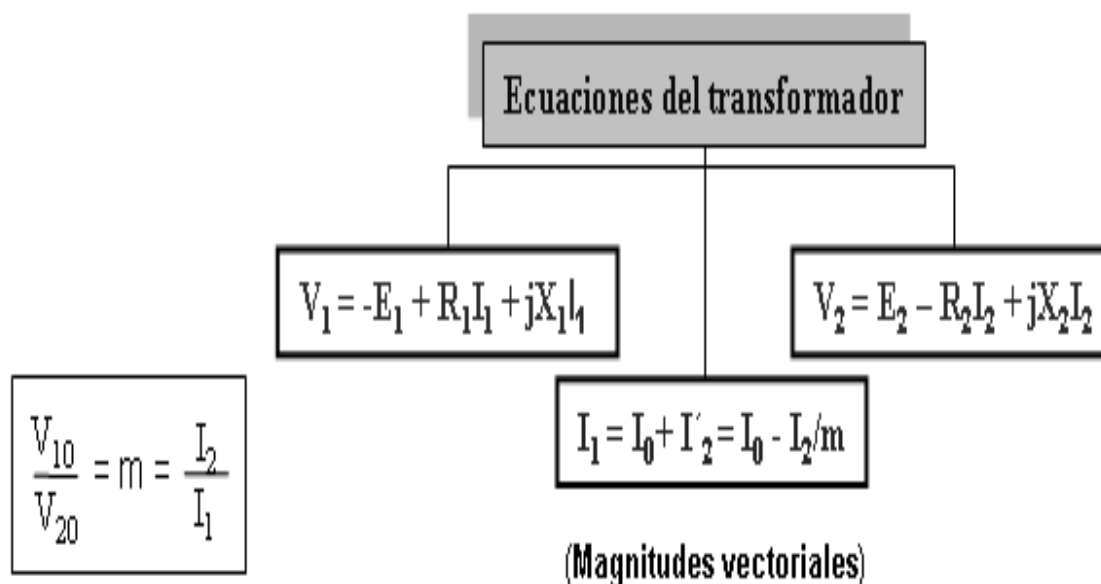
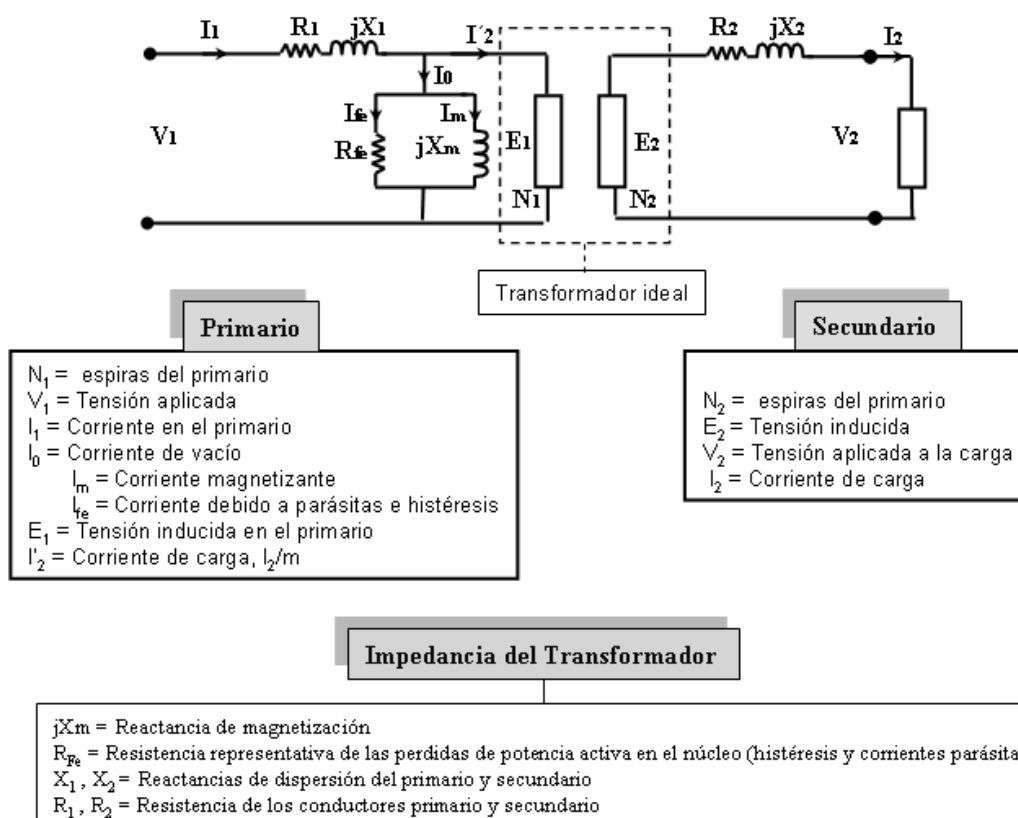
III.3 Circuito equivalente de un Transformador

Para el análisis del circuito equivalente del transformador, conviene representar cada uno de los transformadores monofásicos que componen un banco trifásico por un circuito equivalente. Como los efectos de las capacidades de los devanados y de los armónicos de las corrientes de excitación suelen ser despreciables, podrá utilizarse cualquiera de los circuitos equivalentes deducidos para el caso de los monofásicos.

Los devanados primario y secundario de un transformador presentan caídas de voltaje debidas a la resistencia y la reactancia.

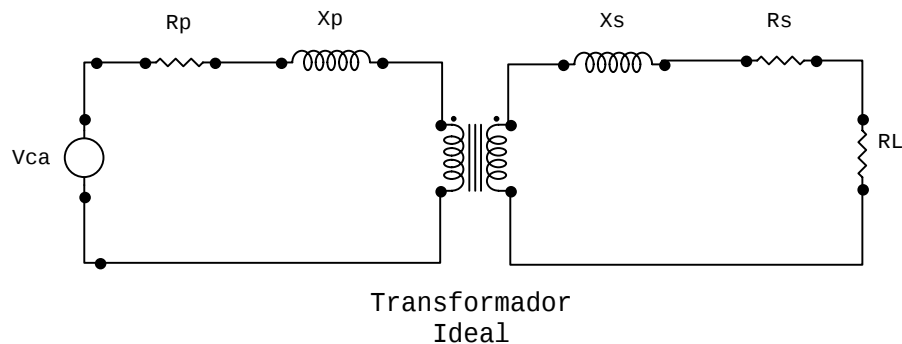
1. La resistencia de los devanados depende del material, de la longitud y de la sección transversal
2. La reactancia de los devanados depende de los encadenamientos de flujo, ya que de ellos depende la inductancia. (y $X_L = j\omega L$)



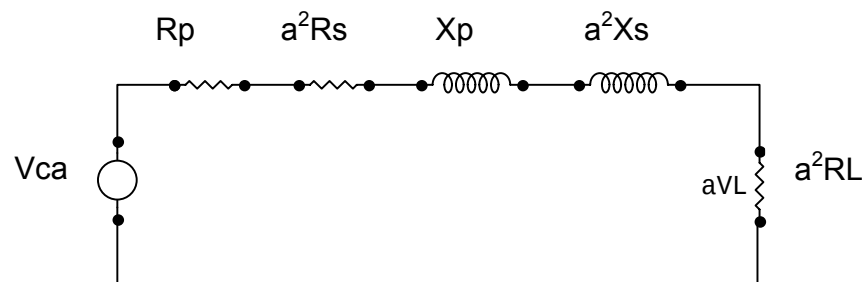


CIRCUITO EQUIVALENTE REDUCIDO

La R_c y la X_m de un transformador real son valores muy altos comparados con los demás elementos del circuito equivalente, por lo tanto la corriente de excitación i_0 , es mucho menor que la corriente i_1 . Si la corriente de excitación se ignora entonces podemos reducir el circuito equivalente de la siguiente manera.



Si reflejamos los valores del circuito secundario al circuito primario obtendremos el siguiente circuito equivalente.



Los valores de resistencias y reactancias del transformador se pueden juntar para obtener valores equivalentes en el circuito primario.

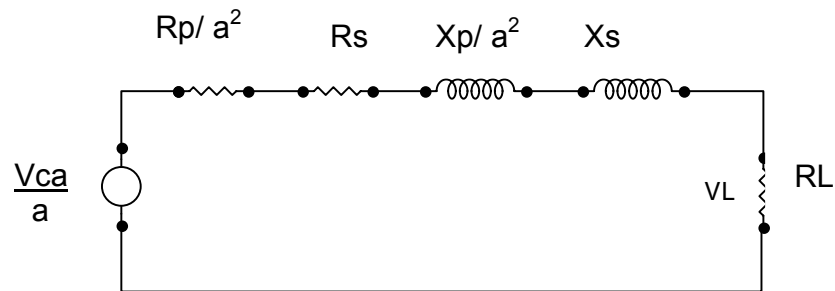
$$R_e = R_p + a^2 R_s$$

$$X_e = X_p + a^2 X_s$$

La corriente en el circuito primario se puede obtener

$$I_p = \frac{V_{ca}}{R_e + a^2 R_L + jX_e}$$

Si reflejamos los valores del circuito primario al circuito secundario obtendremos el siguiente circuito equivalente.



Los valores de resistencias y reactancias del transformador se pueden juntar para obtener valores equivalentes en el circuito secundario .

$$R_e = \frac{R_p}{a^2} + R_s$$

$$X_e = \frac{X_p}{a^2} + X_s$$

Si aplicamos las leyes de Ohm y de Kerchhoff podemos obtener la corriente secundaria en el circuito secundario.

III.4 REGULACIÓN DE VOLTAJE Y EFICIENCIA DEL TRANSFORMADOR

La regulación de voltaje de un transformador es la cantidad adicional de voltaje que requiere el transformador con el secundario abierto, necesario para mantener un voltaje constante al aplicarle carga.

$$\% \text{regulación} = \frac{V_c - V_{pc}}{V_{pc}} \times 100$$

V_c = Voltaje medido en el secundario sin carga (voltaje en vacío)

V_{pc} = Voltaje medido en el secundario a plena carga

La eficiencia de un transformador es la relación de salida a la relación de entrada:

$$\% \text{eficiencia} = \frac{\text{Potencia...de...salida}}{\text{Potencia...de...entrada}} \times 100$$

La potencia de salida se considera como la potencia que entrega el transformador a la carga y es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas.

Dado que un transformador es una máquina estática, es decir, no tiene partes en movimiento, carece de pérdidas por fricción y desgaste por lo que tiene una alta eficiencia que depende de las pérdidas por calor generado en el núcleo y en los devanados.

Las pérdidas en los devanados reciben el nombre de pérdidas en el cobre y se deben principalmente al paso de la corriente eléctrica en los devanados.

Las pérdidas en el núcleo consisten en calentamiento producido por el fenómeno de histéresis y por corrientes parásitas que se inducen en las láminas del núcleo, generalmente se denominan pérdidas en vacío.

Potencia de entrada = Potencia de salida + Pérdidas

Pérdidas en los devanados = $(R_p \times I_p^2) + (R_s \times I_s^2)$

Pérdidas en el núcleo "Po "

$$P_o = P_h + P_e$$

P_h = Pérdidas por histéresis

P_e = Perdidas por corrientes parásitas

III.5 CLASIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES C

Los transformadores se pueden clasificar por:

- a) La forma de su núcleo
 - 1. Tipo columnas
 - 2. Tipo acorazado
 - 3. Tipo envolvente
 - 4. Tipo radial
- b) Por el número de fases
 - 1. Monofásico
 - 2. Trifásico
- c) Por el número de devanados
 - 1. Dos devanados
 - 2. Tres devanados
- d) Por el medio refrigerante
 - 1. Aire
 - 2. Aceite
 - 3. Líquido inerte
- e) Por el tipo de enfriamiento
 - 1. Enfriamiento OA
 - 2. Enfriamiento OW
 - 3. Enfriamiento OW/A
 - 4. Enfriamiento OA/AF

5. Enfriamiento OA/FA/FA
6. Enfriamiento FOA
7. Enfriamiento OA/FA/FOA
8. Enfriamiento FOW
9. Enfriamiento A/A
10. Enfriamiento AA/FA

f) Por la regulación

g)

1. Regulación fija
2. Regulación variable con carga
3. Regulación variable sin carga

g) Por la operación

1. De potencia
2. Distribución
3. De instrumento

III. 6 CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES

Conexión delta - delta

Conexión delta - delta en transformadores trifásico se emplea normalmente en lugares donde existen tensiones relativamente bajas; en sistemas de distribución se utiliza para alimentar cargas trifásicas a 3 hilos.

Características:

-Los voltajes de línea y de fase son iguales en el primario y en el secundario:

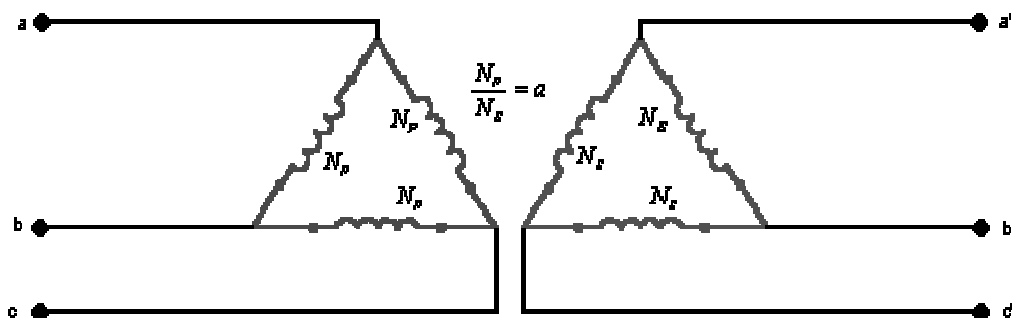
$$V_{LP} = V_{\phi P}$$

$$V_{LS} = V_{\phi S}$$

-Los voltajes de línea de primario y secundario guardan la siguiente relación:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = a$$

Gráfica Explicativa:



CONEXIÓN DELTA - ESTRELLA

Esta conexión se emplea en aquellos sistemas de transmisión en que es necesario elevar voltajes de generación. En sistemas de distribución es conveniente su uso debido a que pueden tener 2 voltajes diferentes (entre fase y neutro).

Conexión de transformadores monofásicos en bancos trifásicos

Los transformadores monofásicos se conectan en bancos trifásicos principalmente en dos tipos de circuitos:

- a) En circuitos de muy alto voltaje
- b) En circuitos en que se requiera continuidad en el servicio. Normalmente se dispone de cuatro transformadores monofásicos, tres en operación y uno de reserva.

Las conexiones se hacen en transformadores monofásicos para formar bancos trifásicos son en general las mismas que se llevan a cabo en los transformadores trifásicos.

Características:

-Los voltajes primarios de línea y de fase son iguales:

$$V_{LP} = V_{\phi P}$$

-Las tensiones secundarias cumplen la siguiente relación:

$$V_{LS} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi S}$$

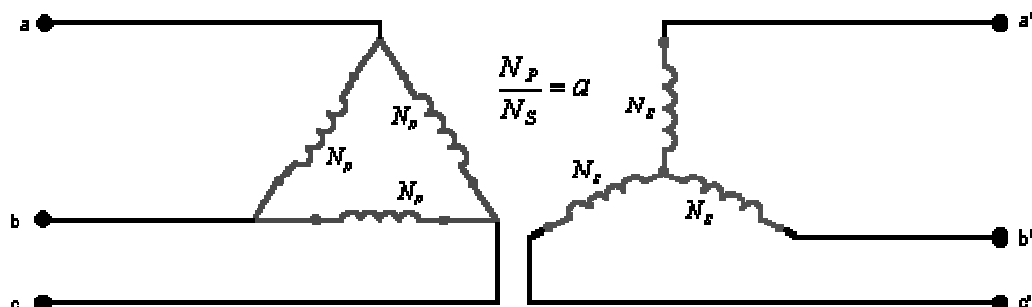
-La relación entre tensiones de fase es:

$$\frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a$$

-La relación entre los voltajes de línea es:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Gráfica Explicativa:



CONEXIÓN ESTRELLA - ESTRELLA

Esta conexión se emplea en tensiones muy elevadas, ya que se disminuye la cantidad de aislamiento. Tiene la desventaja de no presentar oposición a las armónicas impares; en cambio puede conectarse a hilos de retorno.

Características:

-Los voltajes de línea se relacionan con los voltajes de fase según las expresiones:

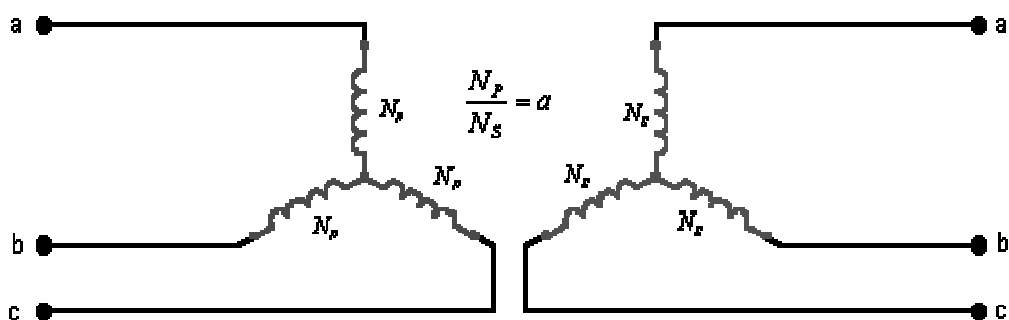
$$V_{LP} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi P}$$

$$V_{LS} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi S}$$

-Los voltajes de línea de primario y secundario guardan la siguiente relación:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = a$$

Gráfica Explicativa:



CONEXIÓN ESTRELLA - DELTA

Se utiliza esta conexión en los sistemas de transformación de las subestaciones receptoras cuya función es reducir voltajes. En sistemas de distribución es poco usual; se emplea en algunas ocasiones para distribución rural a 20 kv.

Características:

-Los voltajes primarios de línea y de fase cumplen la relación:

$$V_{LP} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi P}$$

-Las tensiones secundarias de línea y fase son iguales:

$$V_{IS} = V_{\phi S}$$

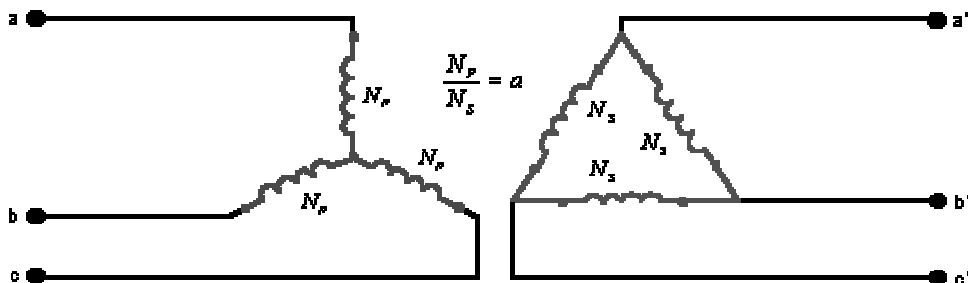
-La relación de tensiones de fase es:

$$\frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a$$

-La relación entre los voltajes de línea del primario y secundario es:

$$\frac{V_{LP}}{V_{IS}} = \sqrt{3} \cdot a$$

Gráfica Explicativa:

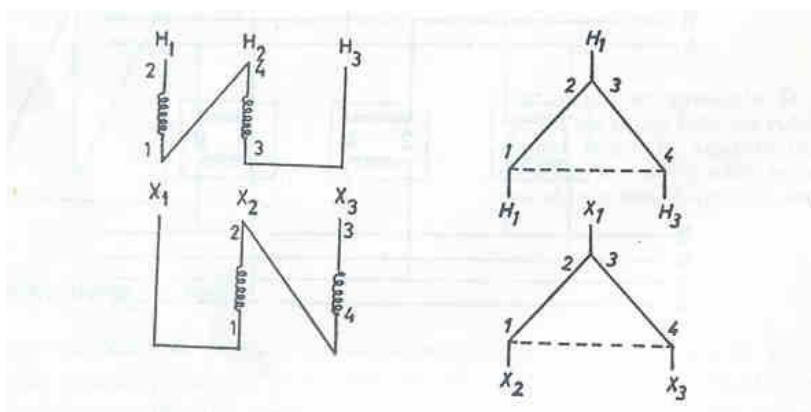


CONEXIÓN DELTA- DELTA ABIERTA

Esta puede considerarse como una conexión de emergencia en transformadores trifásicos, ya que si en un transformador se quema o sufre una avería cualquiera de sus fases, se puede seguir alimentando carga trifásica operando el transformador a dos fases, sólo que su capacidad disminuye a un 58.8% aproximadamente.

Los transformadores trifásicos en V - V se emplean en sistemas de baja capacidad y usualmente operan como autotransformadores.

Operación de transformadores en paralelo



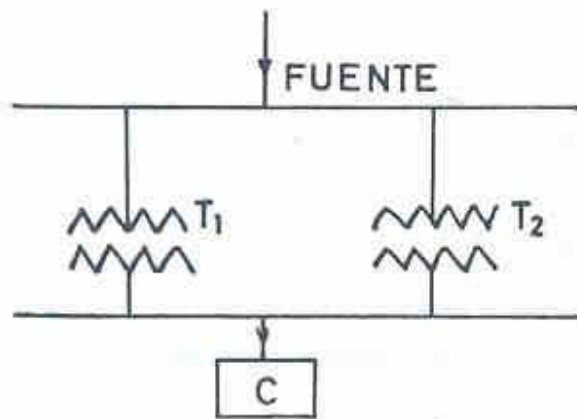
Se entiende que tienen operación en paralelo aquellos Transformadores cuyos primarios están conectados a una misma fuente y los secundarios a una misma carga.

Razones para la operación de transformadores en paralelo

1. Se conectan transformadores en paralelo cuando las capacidades de generación son muy elevadas y se requeriría un transformador demasiado grande.
2. Para lograr un incremento en la capacidad de una instalación, frecuentemente se presenta el aumento de carga, por lo que es necesario aumentar esa capacidad. En vez de comprar un transformador más grande, se instala en paralelo con el ya existente otro de capacidad igual a la nueva demanda; esto resulta económicamente más conveniente.
3. Para dar flexibilidad de operación a un sistema.

Requisitos para la operación de transformadores en paralelo

1. Igual relación de transformación, voltajes iguales en el lado primario y secundario.
2. Desplazamiento angular igual a cero.
3. Variación de las impedancias con respecto a las capacidades de los transformadores, en forma inversa.
4. Las relaciones de resistencias y reactancias deben ser equivalentes.



III.7 EL AUTOTRANSFORMADOR

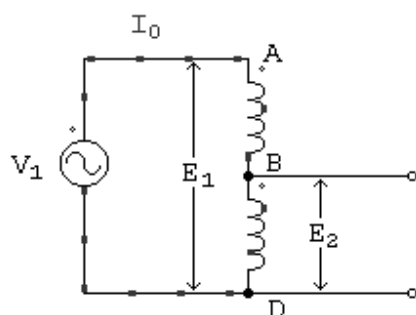
- Conocer el funcionamiento del autotransformador

El autotransformador puede ser considerado simultáneamente como un caso particular del transformador o del bobinado con núcleo de hierro. Tiene un solo bobinado arrollado sobre el núcleo, pero dispone de cuatro bornes, dos para cada circuito, y por ello presenta puntos en común con el transformador. En realidad, lo que conviene es estudiarlo independientemente, pero utilizando las leyes que ya vimos para los otros dos casos, pues así se simplifica notablemente el proceso teórico.

En la práctica se emplean los autotransformadores en algunos casos en los que presenta ventajas económicas, sea por su menor costo o su mayor eficiencia. Pero esos casos están limitados a ciertos valores de la relación de transformación, como se verá en seguida. No obstante, es tan común que se presente el uso de relaciones de transformación próximas a la unidad, que corresponde dar a los autotransformadores la importancia que tienen, por haberla adquirido en la práctica de su gran difusión.

Para estudiar su funcionamiento, haremos como con los transformadores, es decir, primero consideraremos el principio en que se basan, desde el punto de vista electromagnético, para obtener las relaciones entre las tensiones y las corrientes de sus secciones, ya que no se puede hablar de bobinados en plural. Luego veremos el diagrama vectorial, muy parecido al de transformadores, pero con diferencias que lo distinguen netamente. Y, también, haremos un estudio comparativo entre el autotransformador y el transformador de iguales condiciones de servicio.

La figura siguiente nos muestra un esquema del autotransformador. Consta de un bobinado de extremos A y D, al cual se le ha hecho una derivación en el punto intermedio B. Por ahora llamaremos primario a la sección completa A D y secundario a la porción B D, pero en la práctica puede ser a la inversa, cuando se desea elevar la tensión primaria.



La tensión de la red primaria, a la cual se conectará el autotransformador, es V_1 , aplicada a los puntos A y D. Como toda bobina con núcleo de hierro, en cuanto se aplica esa tensión circula una corriente que hemos llamado de *vacío* en la teoría anterior. Sabemos también, que esa corriente de vacío está formada por dos componentes; una parte es la corriente magnetizante, que está atrasada 90° respecto de la tensión, y otra parte que está en fase, y es la que cubre las pérdidas en el hierro, cuyo monto se encuentra multiplicando esa parte de la corriente de vacío, por la tensión aplicada. Llamamos a la corriente total de vacío I_0 , como lo hemos hecho en otras oportunidades.

III.4 PRUEBAS DE UN TRANSFORMADOR

En la fabricación de un transformador se emplean materiales tales como hierro, cobre o aluminio, y aislamientos; cada uno de estos elementos debe llenar los requisitos que se han fijado, de tal manera que el conjunto cumpla, a su vez, con los fines para los que fueron diseñados.

Para saber las condiciones en que se encuentran estos elementos es necesario realizar algunas pruebas de verificación, las cuales son las siguientes

- 1.- Rigidez dieléctrica del aceite
- 2.- Resistencia de aislamiento
- 3.- Polaridad y relación de transformación
- 4.- Determinación de los valores de los parámetros en el modelo de transformador.

Determinación de la rigidez dieléctrica del aceite .

La determinación del valor de rigidez dieléctrica de un aceite aislante, tiene importancia como una medida de su habilidad para soportar esfuerzos eléctricos sin fallar. Es el voltaje al que se presenta la ruptura dieléctrica del aceite entre dos electrodos bajo determinadas condiciones.

También sirve para determinar la presencia de agentes contaminantes como agua, suciedad o partículas conductoras en el aceite, que pueden estar presentes cuando se encuentran valores bajos durante una prueba.

Un alto valor de rigidez dieléctrica no quiere decir que no se tengan contaminantes.

Aparatos y equipo

La rigidez dieléctrica del aceite se determina mediante un dispositivo aislante que se conoce como copa. Este contiene en su interior dos electrodos que se calibran externamente a través de un calibrador que es proporcionado por el fabricante del equipo de medición.

Los pasos que se realizan para medir la rigidez dieléctrica del aceite de un transformador son los siguientes

a) Para medir la rigidez dieléctrica del aceite, lávese la copa previamente con el mismo aceite que se va a probar; el aceite se toma de la parte inferior del transformador (que es la parte donde posiblemente exista la mayor cantidad de impurezas) .

b) Calibre los electrodos a la separación de 0.25 cm.

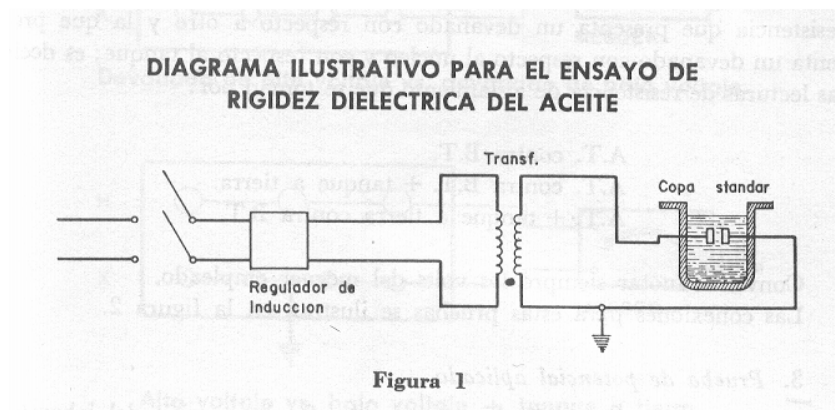
c) Tómese una muestra (de la parte inferior) de aceite en la copa y deje reposar unos tres minutos, hasta que esté en completo reposo y sin burbujas; debe procurar que el aceite cubra los electrodos.

d) Conecte las terminales de una fuente de potencia a los electrodos, aplique tensión a razón de 3 KV por segundo, aproximadamente, hasta lograr la ruptura y tome la lectura correspondiente a la cual ocurrió.

e) Agite el aceite y deje reposar durante un minuto, aplíquese nuevamente potencial y repita la operación tres veces.

f) Repita todo el proceso anterior con dos o tres muestras más de aceite.

El valor promedio obtenido en la forma antes descrita no debe ser menor de 25 KV para considerar que el aceite está en buen estado; el diagrama para este ensayo aparece en la figura 1.



Lectura	Muestra 1	Muestra 2	Rigidez dieléctrica KV	Observ.
1				
2				
3				
—				
—				

Resistencia de aislamiento. --

La medición de la resistencia de aislamiento sirve para "tener una idea" del estado en que se encuentran los aislamientos, y con base en esto, decidir si están en condiciones de soportar los esfuerzos dieléctricos que se originan al aplicar tensiones en prueba o de trabajo.

El obtener valores bajos no indica en forma decisiva que el aislamiento sea deficiente (en su diseño o aplicación) , sino que hay suciedad o humedad en los aislamientos.

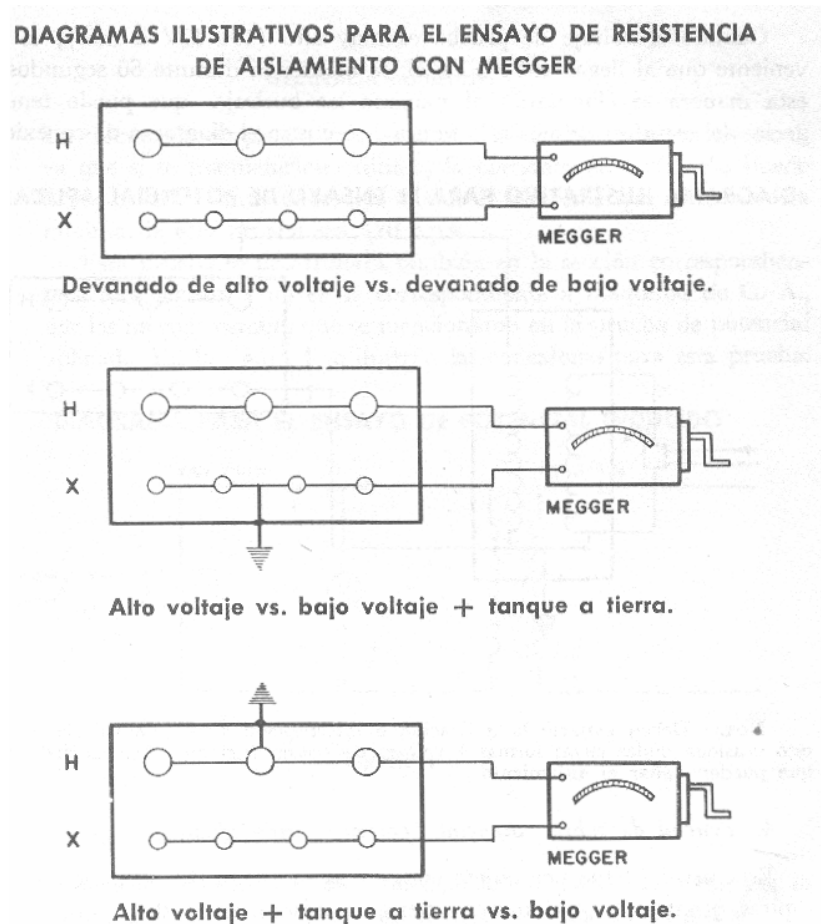
La medición de la resistencia de aislamiento se efectúa por lo general con un aparato denominado "Megger", que consta básicamente, de una fuente de c.d. y un indicador de megohms. La capacidad de la fuente de c.d. generalmente es baja, ya que la finalidad es ver el estado en que se encuentra un aislamiento; es decir, ésta es una prueba indicativa no destructiva, de tal forma que si un aislamiento está débil no lo agrave.

Las resistencias de aislamiento a determinar en un transformador, son la resistencia que presenta un devanado con respecto a otro y la que presenta un devanado con respecto al núcleo y con respecto al tanque; es decir las lecturas de resistencia de aislamiento que se toman por :

A.T. contra B.T.

- A.T. contra B. T. + tanque a tierra.
- A. T. + tanque a tierra contra B. T .

Conviene anotar siempre los volts del megger empleado.
Las conexiones para estas pruebas se ilustran en la figura 2.



PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Para obtener la relación de transformación de transformadores, se hace uso de un equipo de prueba denominado TTR (Test Turn Ratio). Es un instrumento práctico y preciso para analizar las condiciones de transformadores en los siguientes casos:

- * Medición de relación de transformación en equipos nuevos, reparados bo reembobinados.
- * Determinación y comprobación de polaridad y continuidad.
- * Pruebas de rutina y detección de fallas.
- * Identificación de espiras en corto circuito.

Para hacer una prueba de relación de transformación se debe asegurar que el transformador a probar se encuentre completamente desenergizado, verificando que los interruptores y/o cuchillas de cada uno de los circuitos conectados a los devanados del transformador se encuentren en posición abierta.

Si el transformador se encuentra cerca de equipo energizado con alta tensión aterrice una terminal de cada devanado y el TTR.

Se conecta el TTR al transformador y se enciende; la relación de transformación se lee directamente en las carátulas del aparato

La medición de la relación de espiras de un transformador trifásico, consiste en n mediciones monofásicas para determinar la relación entre espiras primarias y espiras secundarias de cada fase.

Para interpretar los resultados se calcula el porcentaje de diferencia con la siguiente fórmula:

$$\% \text{diferencia} = \frac{\text{relación teórica} - \text{relación medida}}{\text{relación teórica}} \times 100$$

Como regla general el porcentaje de diferencia no debe ser mayor de 2.5

PRUEBA DE POLARIDAD

Las pruebas de polaridad sirven para la conexión de transformadores. Existen tres métodos generales de determinación de polaridad:

1.31 Comparación con un transformador normalizado.

1.32. Respuesta inductiva con corriente continua.

1.33. Ensayo de tensión alterna.

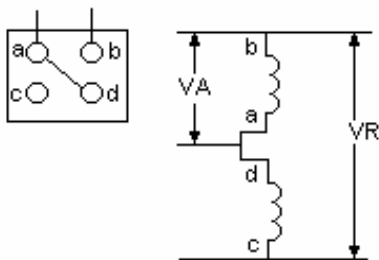
Prueba de polaridad mediante un transformador normalizado. Cuando se dispone de un transformador normalizado de polaridad conocida y de la misma relación que la unidad que se está ensayando, se conectan en paralelo los devanados de alta tensión de ambos transformadores uniendo los terminales igualmente marcados. Se conectan también análogamente los terminales marcados de un extremo de los devanados de baja tensión de ambos transformadores, dejando los otros extremos libres. Se aplica un valor reducido de tensión a los devanados de alta tensión y se mide la tensión entre los dos terminales libres. Una lectura cero o despreciable del voltímetro indicará que las polaridades de ambos transformadores son idénticas.

Prueba de polaridad por respuesta inductiva. Haciendo pasar corriente continua a través del devanado de alta tensión, se conecta un voltímetro de c.c. de alta tensión en bornes de los terminales del mismo devanado, de manera que se obtenga una pequeña desviación positiva de la aguja cuando se cierre el circuito de excitación. Entonces se transfieren las dos conexiones del voltímetro directamente a través del transformador a los terminales opuestos de baja tensión. La interrupción de la corriente de excitación de c.c. induce una tensión en el devanado de baja tensión y provoca una desviación en el voltímetro. Si la aguja se mueve en el mismo sentido que antes, la polaridad es aditiva. Si la aguja se mueve en sentido opuesto, la polaridad es sustractiva.

Prueba de polaridad mediante tensión alterna. Colocándose enfrente del lado de baja tensión del transformador, se unen las conexiones adyacentes, de alta y baja tensión de la parte izquierda. Aplicar cualquier valor conveniente de tensión de c.a. a todo el devanado de alta tensión y tomar lecturas primero de la tensión aplicada y luego de la tensión entre los terminales adyacentes de alta y baja tensión de la parte derecha. Si la última lectura es menor que la primera, la polaridad es sustractiva. Si es mayor que la primera, la polaridad es aditiva.

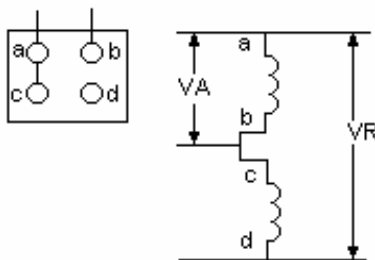
Se realizaran las siguientes conexiones

a).



Si VR es menor que VA será una conexión sustractiva

b).-



Si VR es mayor que VA será una conexión Aditiva

DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS EN EL MODELO DE TRANSFORMADOR.

Es posible determinar experimentalmente los valores de las inductancias y resistencias en el modelo de transformador. Una aproximación adecuada de estos valores se puede obtener con dos ensayos solamente: el ensayo de circuito abierto y el ensayo de corto circuito.

Prueba de circuito abierto

En el ensayo de circuito abierto, la bobina secundaria de transformador está en circuito abierto y su bobina primaria está conectada a una línea con voltaje nominal. Veamos el circuito equivalente en la figura 4. Bajo las condiciones descritas, toda la corriente de alimentación debe estar fluyendo a través de la rama de excitación del transformador. Los

elementos en serie R_p y X_p son demasiado pequeños en comparación con R_c y X_m para causar una caída significativa de voltaje así que esencialmente todo el voltaje de alimentación se aplica a través de la rama de excitación.

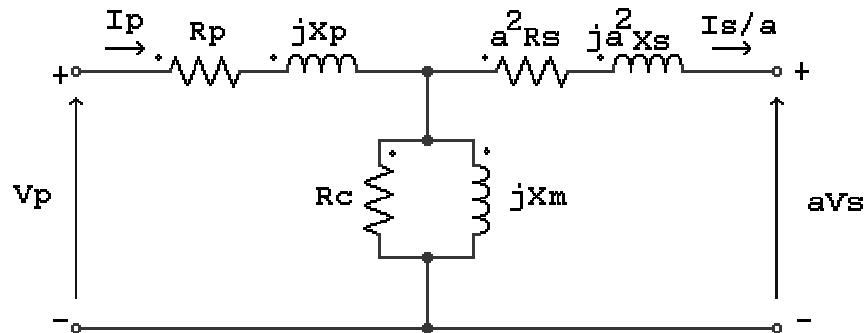


Figura 4(a)

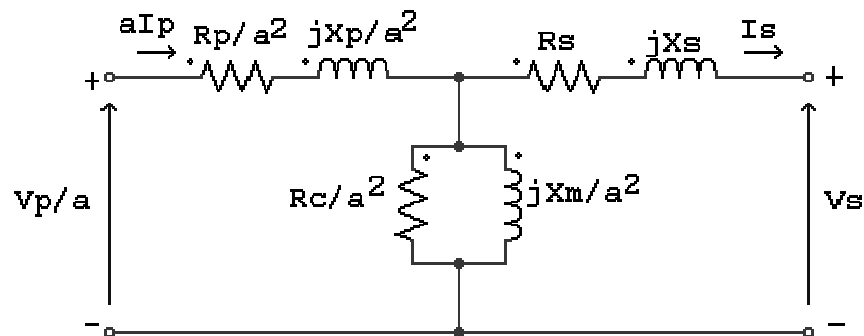


Figura 4(b)

Las conexiones del ensayo de circuito abierto se muestran en la figura 6. El voltaje total de la línea se aplica a la primaria del transformador y se miden voltaje de alimentación, corriente de alimentación y potencia de entrada al transformador. De esta información es posible determinar el factor de potencia de la corriente de alimentación y por consiguiente, tanto la magnitud como el ángulo de la impedancia de excitación

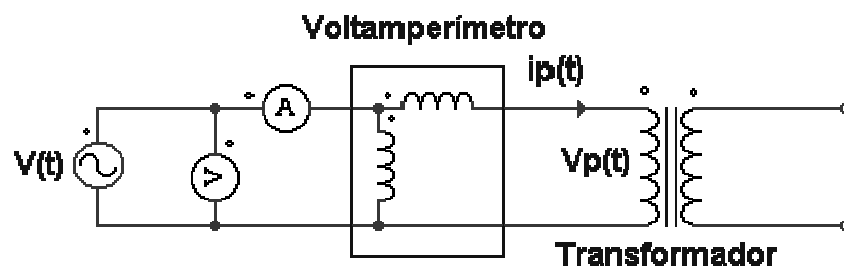


Figura 6

La manera más fácil de calcular los valores de R_c y X_m es obtener primero la admitancia de la rama de excitación. La conductancia de la resistencia de las pérdidas del núcleo se expresa por:

$$G_C = 1 / R_C$$

Y la susceptancia del inductor magnetomotriz se da por:

$$B_M = 1 / X_M$$

Puesto que estos dos elementos son paralelos, sus admitancias se suman y la admitancia total de excitación es:

$$\begin{aligned} Y_E &= G_C - jB_M \\ &= 1 / R_C - j1 / X_C \end{aligned}$$

La magnitud de la admitancia de excitación (referida al circuito primario) se puede encontrar por medio del ensayo del circuito abierto de voltaje y corriente:

$$|Y_E| = I_{OC} / V_{OC}$$

El ángulo de la admitancia puede encontrarse conociendo el factor de potencia del circuito. El factor de potencia en circuito abierto (FP) se da por:

$$FP = \cos \theta = P_{OC} / V_{OC} I_{OC}$$

Y el ángulo θ del factor de potencia se obtiene por:

$$\theta = \cos^{-1} P_{OC} / V_{OC} I_{OC}$$

El factor de potencia siempre está en atraso en un transformador real, así que el ángulo de la corriente retarda el ángulo del voltaje en θ grados. Por tanto, la admitancia Y_E es:

$$Y_E = I_{OC} / V_{OC} \angle -\theta$$

$$= I_{OC} / V_{OC} \angle -\cos^{-1} FP$$

Es posible determinar los valores de R_C y X_M , directamente de los datos del ensayo de circuito abierto.

Prueba de cortocircuito

En el ensayo de cortocircuito, los terminales secundarios del transformador están en cortocircuito y los terminales primarios están conectados justamente a una fuente de bajo voltaje, como se ilustra en la figura 7. El voltaje de alimentación se ajusta hasta que la corriente en la bobina, que está en cortocircuito, sea igual a su valor nominal.

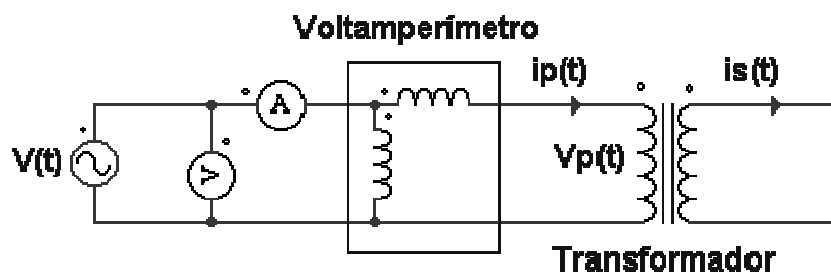


Figura 7

Asegúrese de mantener el voltaje primario en un nivel seguro. No sería una buena idea quemar la bobina del transformador tratando de ensayarlo.

El voltaje, la corriente y la potencia de alimentación deberán medirse nuevamente.

Puesto que el voltaje de alimentación es tan bajo durante el ensayo de cortocircuito, una corriente muy baja fluye a través de la rama de excitación. Si la corriente de excitación se ignora, entonces la caída de voltaje en el transformador se le puede atribuir a los elementos en serie en el circuito. La magnitud de las impedancias en serie referidas al lado primario del transformador es:

$$|Z_{SE}| = V_{SC} / I_{SC}$$

El factor de potencia se da por:

$$FP = \cos \theta = P_{SC} / V_{SC} I_{SC}$$

y está en atraso. Así el ángulo de corriente es negativo, y el ángulo θ de la impedancia total es positivo

$$\theta = \cos^{-1} P_{SC} / V_{SC} I_{SC}$$

Entonces ,

$$Z_{SE} = (V_{SC} \angle 0^\circ) / (I_{SC} \angle -\theta) = (V_{SC} / I_{SC}) \angle \theta$$

$$Z_{SE} = R_{eq} + jX_{eq}$$

$$= (R_P + a^2 R_S) + j(X_P + a^2 X_S)$$

Es posible determinar la impedancia serie total, referida al lado primario, usando esta técnica, pero no hay una manera fácil de dividir la impedancia serie entre componentes primario y secundario. Afortunadamente, tal separación no es necesaria para resolver problemas normales.

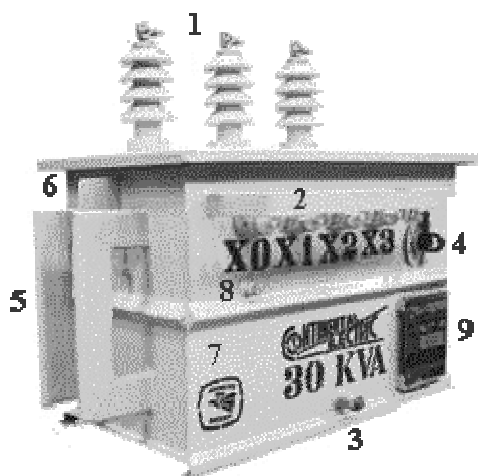
Estos mismos ensayos también pueden realizarse en el lado secundario del transformador, si se piensa que es más conveniente hacerlos, bien por los niveles de voltajes o por cualquier otra razón. Si los ensayos se hacen en el lado secundario, los resultados, naturalmente, darán las impedancias del circuito equivalente referidas al lado secundario del transformador y no al primario.

Saber Hacer en la practica (18 hrs.)

EJERCICIO PRÁCTICO

PARTES PRINCIPALES DE UN TRANSFORMADOR INDUSTRIAL

En este ejercicio los alumnos deberán de identificar físicamente las partes principales de un transformador industrial, así como también tomaran nota de los datos de placa que tiene dicho elemento.



- 1 Boquillas de alta tensión A.T.
- 2 Boquillas de baja tensión B.T.
- 3 Válvula de muestreo de aceite
- 4 Cambiador de ajuste en taps
- 5 Radiadores de enfriado
- 6 Asas de levantamiento
- 7 Tanque conservador
- 8 Conector a tierra
- 9 Placa de datos

Practica 1

Medición de la Resistencia de los Devanados de un Transformador

Esta práctica se hace para medir la resistencia de cada devanado y de esta manera verificar el cálculo de las pérdidas por efecto joule I^2R , así como también encontrar la caída de voltaje en la resistencia de cada devanado.

Esta práctica se efectúa con una fuente de corriente directa, un voltímetro y un amperímetro. Estos elementos se conectan a través de uno de los devanados de un transformador y se hace pasar una corriente menor a la corriente nominal del devanado en común con el que se está trabajando. Posteriormente se toma nota de los valores de corriente y voltaje y se aplica la ley de ohm para encontrar el valor de resistencia.

Practica 2

Medición de la Relación de Transformación

Esta práctica tiene como finalidad encontrar la relación de transformación que tiene un transformador en cuanto al número de vueltas del devanado primario con respecto al número de vueltas del devanado secundario de dicho elemento. Esta relación se puede encontrar a través de un método directo, donde se realiza la medición de los voltajes de los devanados de alto y bajo voltaje de un transformador en vacío. Para esto fijamos un voltaje de c.a en el primario del transformador y posteriormente realizamos la medición en ambos devanados. La relación del voltaje primario con respecto al voltaje secundario nos dará la relación de transformación ya que :

$$a = N_P / N_S = V_P / V_S$$

Practica 3

Polaridad de un transformador por el método de golpe inductivo

Esta práctica se realiza para determinar la polaridad que tienen en un instante determinado las terminales de los devanados primario y secundario de un transformador:

Para determinar la polaridad de las terminales de los devanados de un transformador se sugiere que se utilice el método del golpe inductivo.

Este método consiste en aplicar momentáneamente un voltaje de c-d a uno de los devanados del transformador, identificando previamente antes la polaridad de conexión. En el otro devanado del transformador se conecta un voltímetro de aguja, donde se observa la dirección de la deflexión que tiene la aguja en el instante que se aplica el voltaje. Si la deflexión es hacia dentro de la escala, entonces esto quiere decir que su borne es positivo con respecto al borne positivo donde se aplica el voltaje. Si la aguja se deflexiona en sentido contrario, entonces quiere decir que su borne es negativo con respecto al borne donde se aplica el voltaje.

Prácticas consecutivas en la Guía de Prácticas de la asignatura.

IV Conceptos generales de los Motores de C.A

Objetivo particular de la unidad

Conocer las leyes de operación del motor y su construcción

Habilidades por desarrollar en la unidad

- Conocer el funcionamiento y construcción de los motores de inducción.
- Conocer la clasificación de los motores de inducción

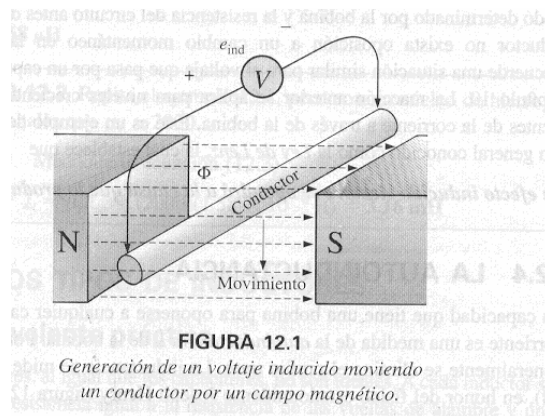
Saber en la Teoría (3 hrs.)

IV.I Leyes Fundamentales

Comprender las leyes fundamentales que rigen el funcionamiento general de los motores : Faraday, Fleming, Biot Savart,

Ley de Faraday

Si un conductor se mueve por, un campo magnético de modo que corte las líneas magnéticas de flujo, se inducirá, un voltaje por el conductor, como se observa en la figura 12. 1. Entre mayor sea la cantidad de líneas de flujo cortadas por unidad de tiempo (incrementando la velocidad con la cual el conductor pasa por el campo) o entre más fuerte sea la fuerza del campo magnético (para la misma velocidad de recorrido), mayor será el voltaje inducido por el conductor. Si el conductor se mantiene fijo y el campo magnético se mueve para que sus líneas corten el conductor, se producirá el mismo efecto.



Si se coloca una bobina de N vueltas en la región de un flujo cambiante, como en la figura 12.2, se inducirá un voltaje por la bobina, como lo determina la Ley de Faraday.

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{volts, V})$$

Relaciones de Fleming

Regla de la mano derecha de Fleming

La **regla** de la mano derecha de **Fleming** nos permite determinar el sentido de la fem inducida de un conductor que se mueve a través de un campo magnético fijo. (Principio del Generador)

Si extendemos la mano derecha y con los con los dedos formamos un triedro trirrectángulo e indicamos las siguientes direcciones, podemos encontrar entonces la fem inducida

Dedo índice – Dirección del campo

Dedo Pulgar – Dirección de la fuerza o movimiento del conductor

Dedo Medio - Dirección de la Fem inducida

La **regla de la mano izquierda de Fleming** nos permite encontrar la dirección de la fuerza resultante que desarrolla un conductor con corriente cuando se encuentra colocado dentro de un campo magnético, (Principio del Motor)

Para los motores aplicamos la **mano izquierda** con los dedos índice (dirección de campo), pulgar (dirección de fuerza o movimiento) y medio (dirección de la corriente o f.e.m.), formando un triedro trirrectángulo .

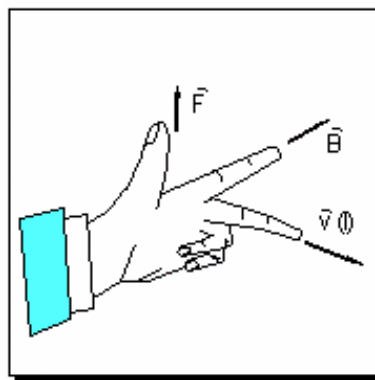
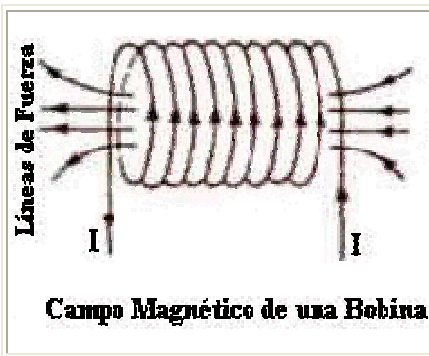


Fig 3



La regla de la mano derecha del tirabuzón permite comprender de manera simple los principales efectos asociados al campo magnético. El pulgar se coloca en la dirección de la corriente y los dedos restantes indican la dirección de las líneas de fuerza. Esto se puede ver claramente en la figura adjunta en donde a raíz de la circulación de una corriente, las líneas de fuerza toman su consiguiente distribución.

La relacion de fuerza de Biot Sabart

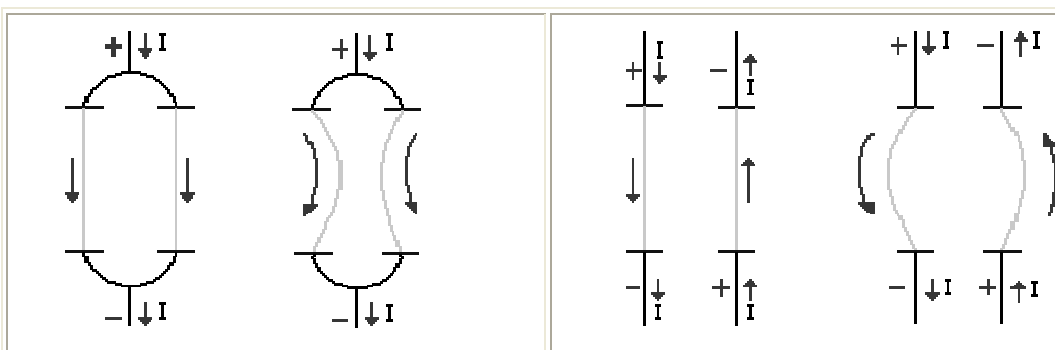
La ley de la fuerza sobre un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético, y que cuantifica a la ley de lenz, se le denomino como la ley de de Biot y Savart.

Esta ley relaciona el campo magnético por una unidad de área (B), la longitud del conductor (L) que se encuentra dentro del campo magnético y la corriente (I), Estas tres magnitudes producen en conjunto una fuerza sobre el conductor,

Esta fuerza sobre el conductor se puede expresar a través de la siguiente expresión matemática.

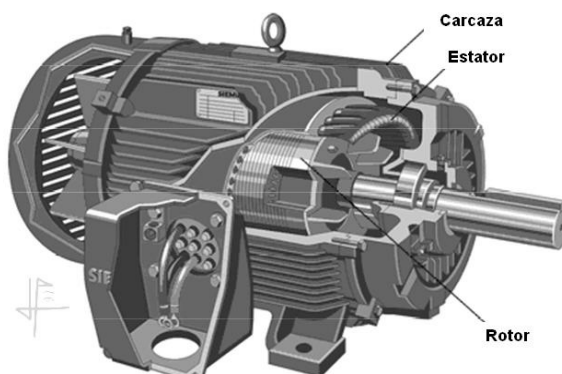
$$F = ILB\sin\theta$$

Ejemplo de conductores con corriente en paralelo



Motores de inducción

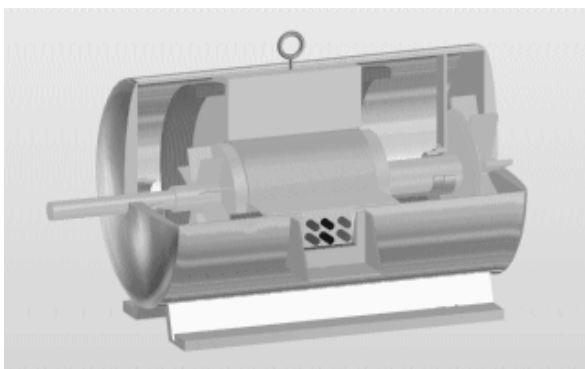
Las máquinas de inducción tienen una parte estacionaria, la cual se conoce como Estator y una parte rotatoria llamada Rotor.

Constitución de la Máquina Asíncrona Trifásica**Estator y sus bobinas**

El estator está hecho de láminas de acero circulares con ranuras a lo largo de su periferia interior. Los lados de las bobinas se localizan en estas ranuras. En la práctica, por supuesto, el bobinado consistirá de varias bobinas distribuidas a lo largo de la periferia.

Rotor tipo jaula

El rotor tipo jaula consiste en una serie de barras conductoras, colocadas en ranuras talladas en la cara del rotor y con sus extremos puestos en corto, por medio de anillos de cortocircuito. se caracteriza por su robustez, sencillez y economía. Es el más empleado.

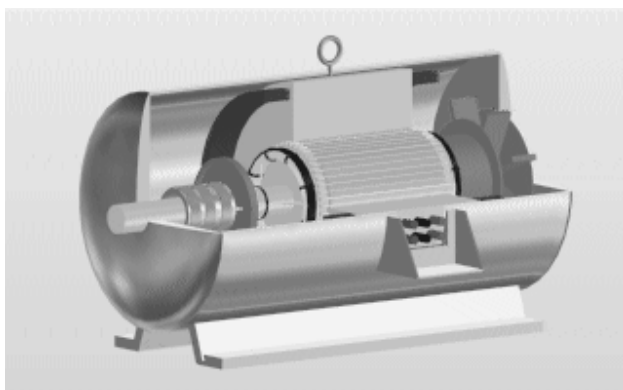


Rotor tipo jaula de ardilla

Se muestra un corte transversal de una máquina trifásica de inducción rotor jaula de ardilla, donde se aprecia el movimiento del rotor con todos sus componentes.

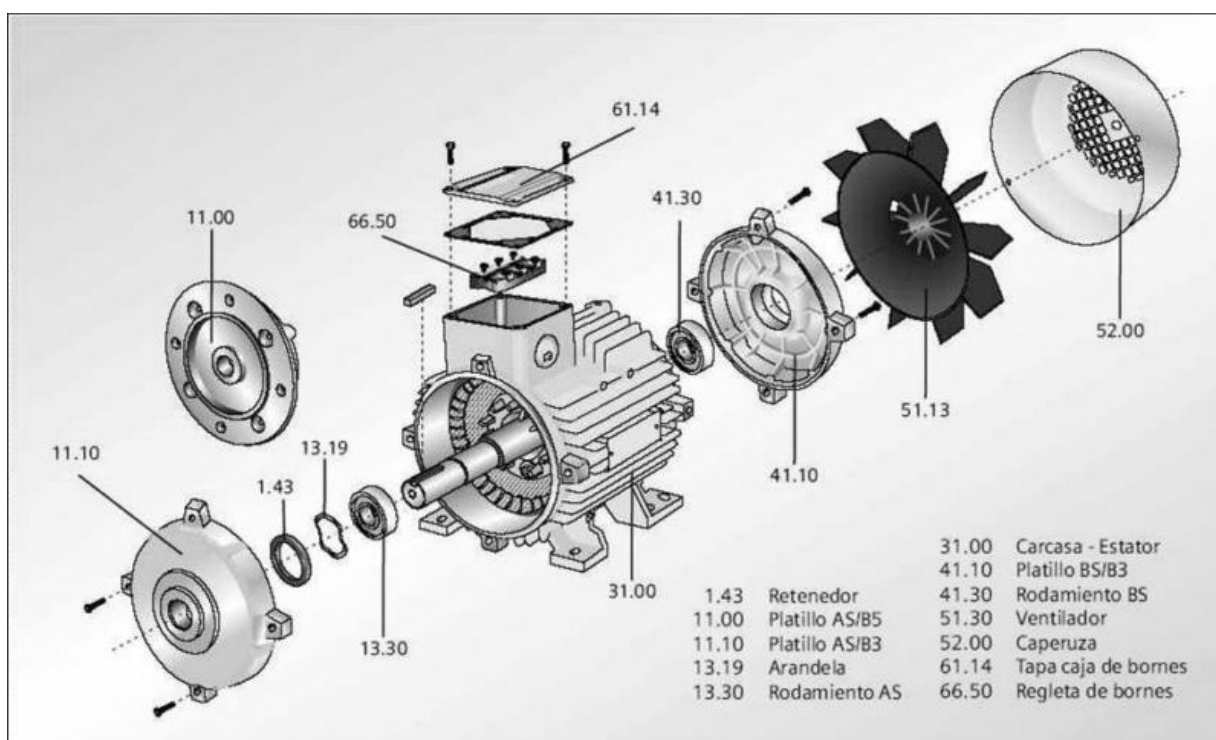
Rotor bobinado de una máquina trifásica de inducción

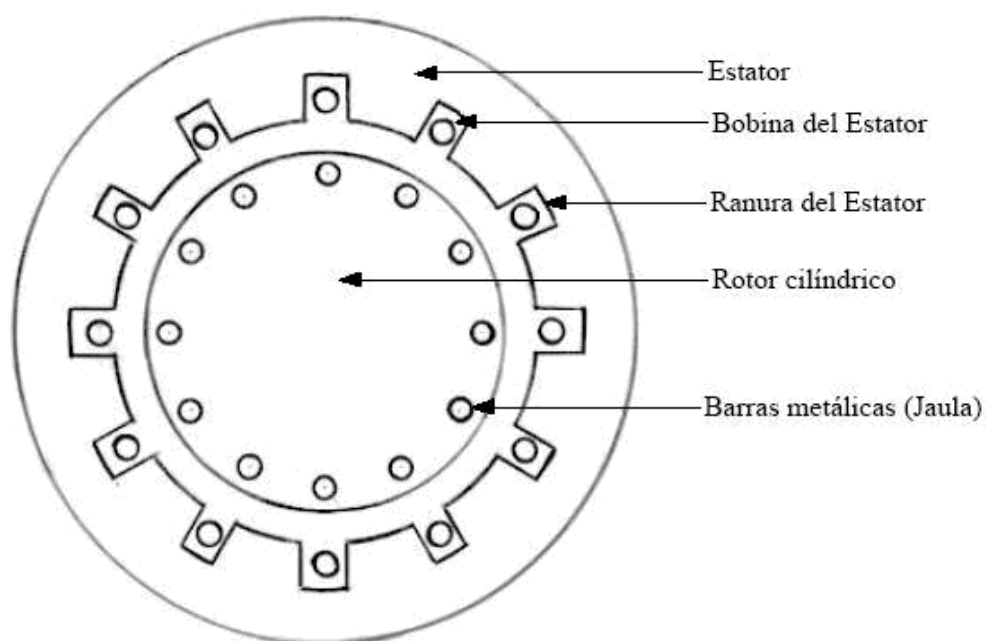
El rotor bobinado está provisto con bobinas similares a aquellas del estator con el cual está asociado. El rotor debe bobinarse con el mismo número de polos que el estator.



Rotor bobinado trifásico

Se muestra un corte transversal de una máquina trifásica de inducción rotor bobinado, donde se aprecia el movimiento rotacional con todos sus componentes.

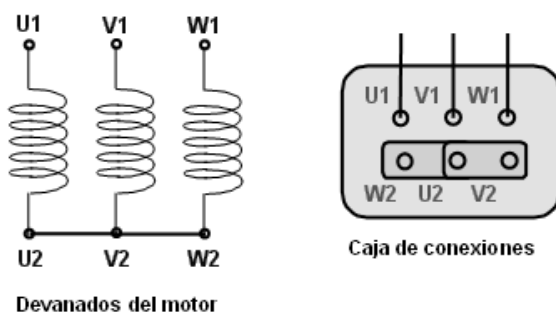




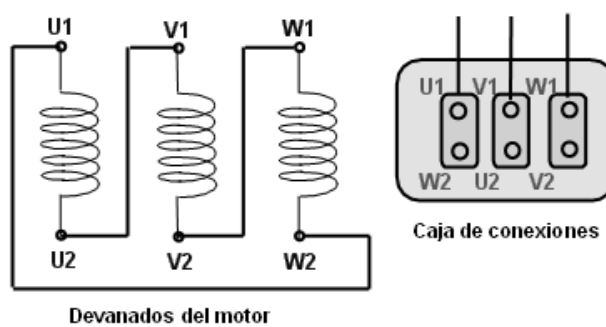
Esquema de un Motor Jaula de Ardilla

Conexión de los Devanados

Conexión en Estrella

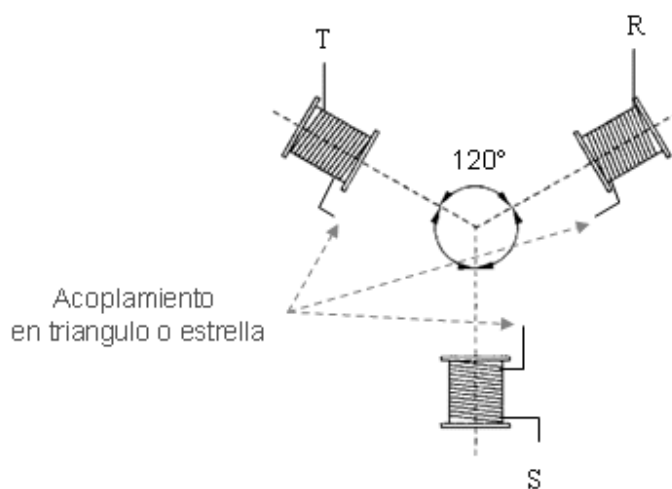


Conexión en Triángulo

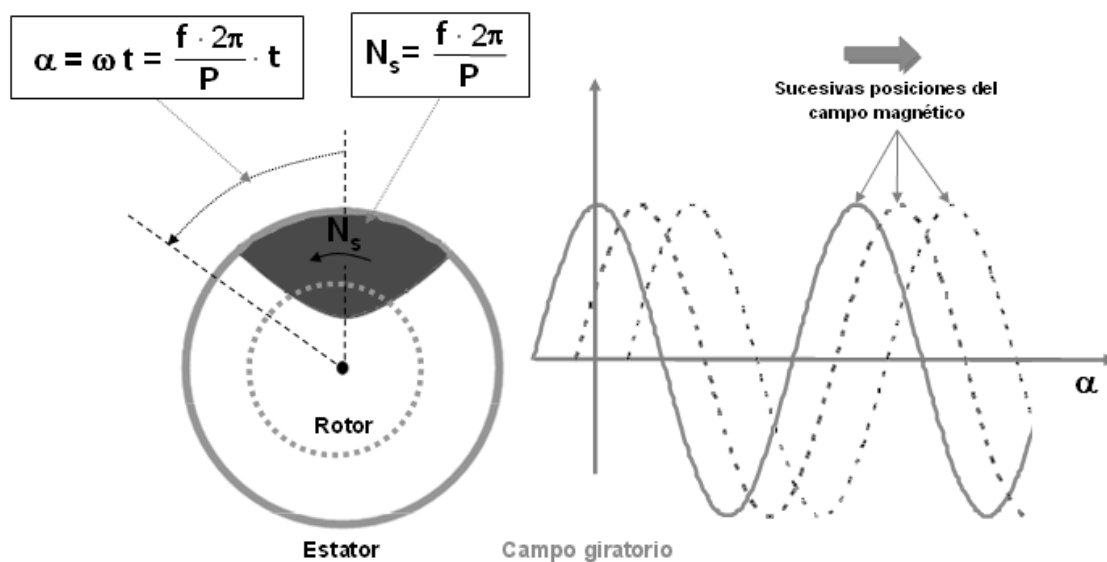


Campo Magnético Giratorio en un Motor Trifásico

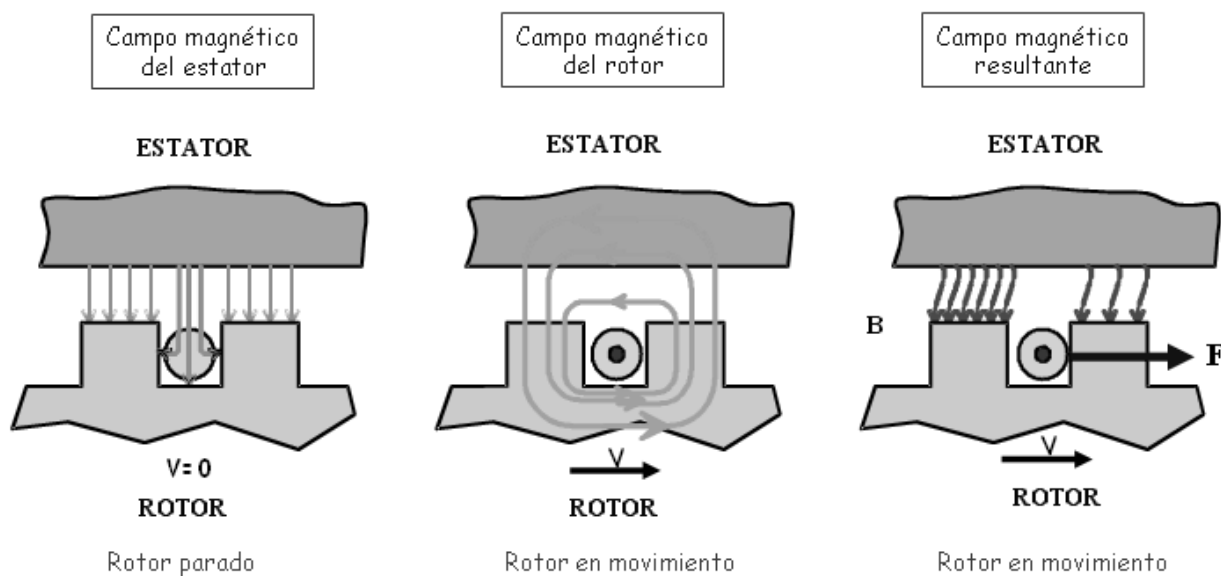
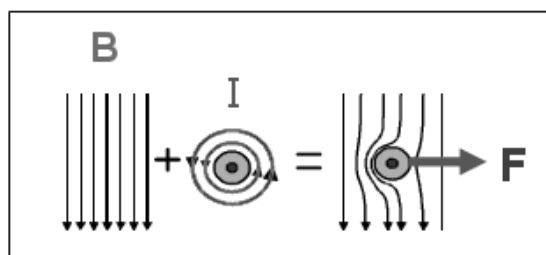
Tres devanados desfasados 120° y conectados aun sistema triásico de corriente alterna



Si por el arrollamiento polifásico del estator del motor de una máquina síncrona circula una corriente de pulsación ω y si hay p pares de polos, se origina un campo magnético giratorio de p pares de polos y que giran a la velocidad ω/p (Teorema de Ferraris).



El campo magnético giratorio origina un flujo que induce corrientes en el rotor que interactúan con el campo magnético del estator. En cada conductor del rotor se produce una fuerza de valor $F = i L B$ que da lugar al par motor



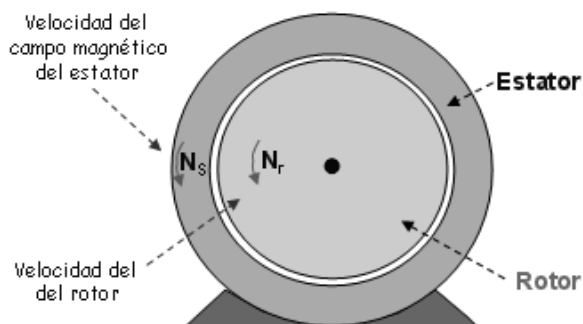
Deslizamiento

El rotor no puede girar a la velocidad $N_s = \omega/p$ de los polos ficticios del estator (velocidad de sincronismo), pues en este caso, no habría ningún desplazamiento relativo de las espiras del rotor con relación a los polos ficticios del estator, ninguna f. e. m., ninguna corriente, ninguna fuerza electromagnética y por lo tanto ningún par motor.

Llamamos **deslizamiento** a la diferencia de velocidad entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor, expresada en tanto por uno o en % (a plena carga $s = 3\% - 8\%$):

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$s\% = \frac{N_s - N_r}{N_s} 100$$



Ejemplo para $f = 50$ Hz.

Número de polos	N_s rpm	N_r rpm	s %
2	3000	2950	1,6
4	1500	1450	3,3
8	750	700	6,6
10	600	550	8

Frecuencia en el rotor

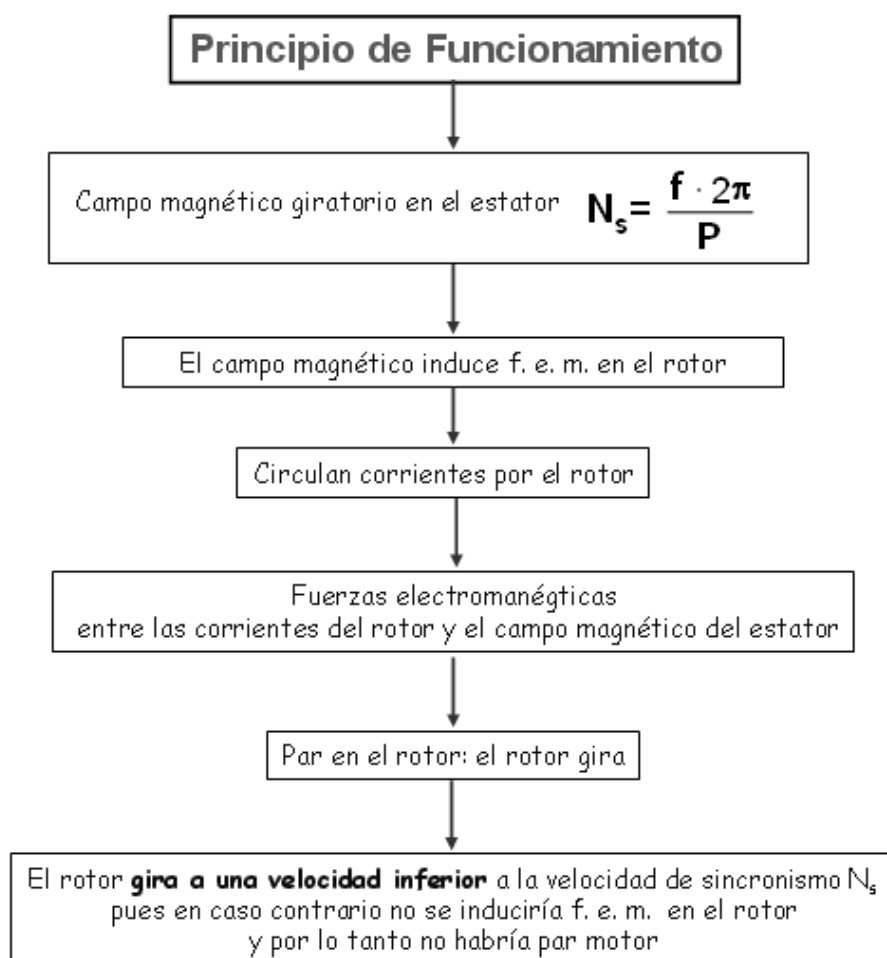
El movimiento relativo entre el flujo del estator y los conductores del rotor induce en el rotor voltajes de frecuencia diferente a la aplicada en el estator.

El comportamiento de una máquina de inducción es semejante al de un transformador, con la propiedad adicional de la transformación de frecuencia.

Con el rotor girando en la misma dirección que el campo del estator, la frecuencia de las corrientes del rotor es:

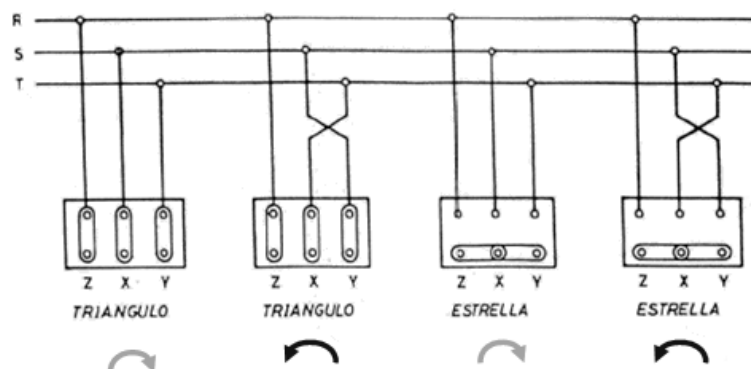
$$f_r = s f$$

En condiciones normales de funcionamiento el deslizamiento es pequeño (de 3 a 10% a plena carga en la mayoría de los motores jaula de ardilla) por lo tanto la frecuencia del rotor es muy baja (de 2 a 6 Hz) en motores de 60 Hz.



Cambio del Sentido de Giro del Motor

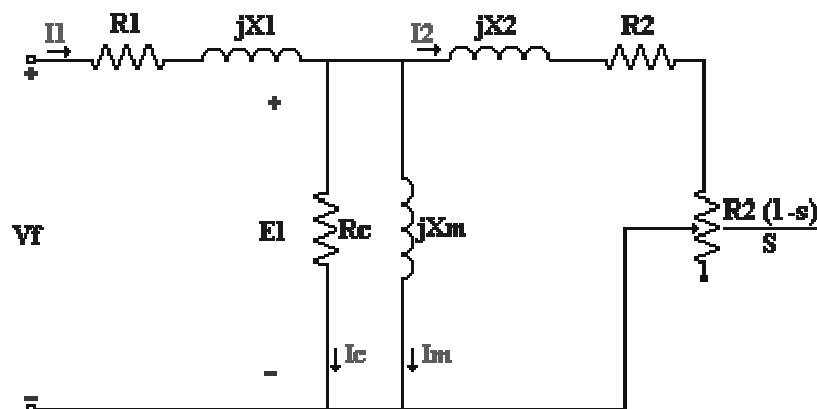
Intercambiando dos fases cambia el sentido de giro del campo magnético del estator y por lo tanto el sentido de giro del rotor



Circuito equivalente del motor de inducción

Para determinar el circuito equivalente de la Máquina de Inducción se deben hacer las siguientes consideraciones:

- La diferencia entre la tensión aplicada a las fases del estator y la tensión inducida en éstas por el flujo resultante en el entrehierro, es igual a la suma de las caídas de tensión en la resistencia y en las reactancias de dispersión de los devanados del estator (situación idéntica a la del transformador).
- La corriente magnetizante requerida para producir el flujo del entrehierro es proporcional a este último (en ausencia de saturación) y por lo tanto a la tensión que induce.
- Las pérdidas en el hierro las podemos considerar (sin gran error) como proporcionales al cuadrado de la inducción máxima en el entrehierro, es decir, proporcionales al cuadrado de la tensión inducida.



circuito equivalente de la máquina

Donde:

R_1 : Resistencia por fase del estator (Ω)

R_2 : Resistencia por fase del rotor, referido al estator (Ω)

X_1 : Reactancia de dispersión del bobinado de estator (Ω)

X_2 : Reactancia de dispersión del bobinado de rotor, referido al estator (Ω)

R_c : Resistencia de pérdida en el núcleo (Ω)

X_m : Reactancia de magnetización (Ω)

S : Deslizamiento (%)

V_f : Voltaje de fase (v)

E_1 : Voltaje inducido por fase (v)

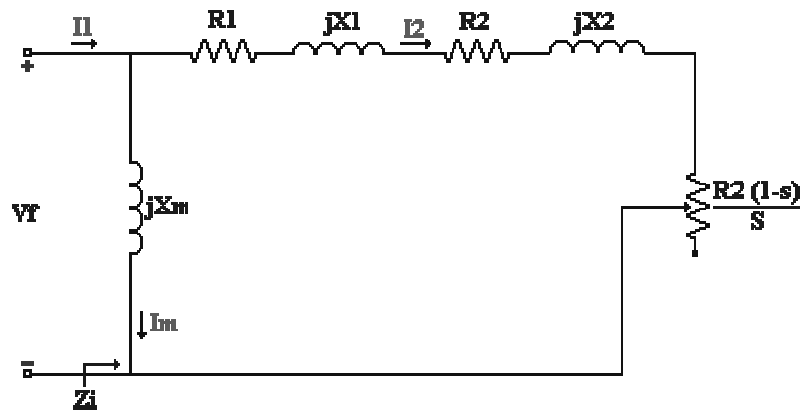
I_1 : Corriente de estator (A)

I_m : Corriente de magnetización (A)

I_2 : Corriente de rotor, referida al estator (A)

Cuando se necesita hacer resaltar las relaciones de torque y potencia, y a fin de simplificar los cálculos se propone el circuito equivalente simplificado. Como

normalmente R_m es mucho más grande que X_m , y $X_m \gg (R_1 + X_1)$, entonces V_f es aproximadamente igual a E_1 , luego el circuito simplificado es el siguiente:



MATERIALES ELÉCTRICOS USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MOTORES.

Conductores eléctricos.

Los materiales usados como conductores en los motores de inducción deben ser de alta conductividad, ya que con ellos se fabrican las bobinas. Los requisitos fundamentales que deben cumplir los materiales conductores son los siguientes:

- 1) La más alta conductividad posible.
- 2) El mejor coeficiente posible de temperatura por resistencia eléctrica.
- 3) Una adecuada resistencia mecánica.
- 4) Deben ser dúctiles y maleables.
- 5) Tener una buena resistencia a la corrosión.

Los materiales más usados en los conductores son:

Cobre.

El cobre es probablemente el material más ampliamente usado como conductor, ya que combina dos propiedades importantes que son: alta conductividad con excelentes condiciones mecánicas y además tiene una relativa inmunidad a la oxidación y corrosión bajo ciertas condiciones de operación, es altamente maleable y dúctil.

Aluminio.

En seguida del cobre, como propiedades de material conductor, el aluminio puro es más blando que el cobre y se puede hacer o fabricar en hojas o rollos laminados delgados. Debido a sus características mecánicas, el aluminio no se puede fabricar siempre en forma de alambre. En la actualidad el aluminio se usa con frecuencia en la fabricación de bobinas para transformadores.

Características fundamentales de los conductores de cobre y aluminio.

Característica	Cobre	Aluminio
Densidad (gramos/cm ³)	8.94	2.7
Punto de fusión °C	1083	657
Conductividad térmica watt/m ³ °C	350	200
Resistividad ohm-m/mm ²	0.01724	0.0287
Coeficiente por temperatura a 20 °C en ohm/ohm/°C	0.00393	0.035

Materiales aislantes.

Existe una gran diversidad en orígenes y propiedades, muchos son de origen natural como por ejemplo el papel, algodón, parafinas, etc., otros naturales, pero de origen inorgánico, como por ejemplo el vidrio, la porcelana y las cerámicas. Existen también materiales sintéticos como el silicón o compuestos a base de silicones.

Propiedades eléctricas de los materiales aislantes.

Las principales propiedades que determinan la factibilidad de uso de material aislante son:

La resistividad o resistencia específica, la tensión disruptiva, la permitividad y la histéresis dieléctrica, la adicción a las propiedades dieléctricas se deben considerar también la propiedades mecánicas y su capacidad para soportar la acción de agentes químicos, el calor y otros elementos presentes durante su operación.

Clasificación de los materiales aislantes.

La clasificación de los materiales aislantes para máquinas eléctricas con relación a su estabilidad térmica cubre básicamente siete clases de materiales aislantes que se usan por lo general y que son los siguientes:

Clase Y

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como algodón, seda y papel sin impregnar.

Clase A

Consiste de materiales tales como el algodón, seda y papel con impregnación o recubrimiento o cuando se sumergen en dieléctricos líquidos tales como aceite. Otro materiales que caigan dentro de estos límites de temperatura pueden caer dentro de esta categoría.

Clase E

Este aislamiento consiste de materiales que por experiencia o por pruebas pueden operar a temperaturas hasta de 15 °C sobre la temperatura de los aislamientos clase A.

Clase B

Consiste de materiales tales como la mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., con algunas sustancias aglutinantes, puede haber otros materiales inorgánicos.

Clase F

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., con sustancias aglutinables, así como materiales no necesariamente inorgánicos.

Clase H

Consiste de materiales tales como silicón, elastómeros y combinaciones de materiales tales como la mica, la fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias aglutinantes como son las resinas y silicones apropiados.

Clase C

Consiste de materiales como la mica, la porcelana, vidrio, cuarzo con o sin aglutinantes.

Clasificación de los materiales aislantes.

clase	Temperatura
Y	90 °C
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C
C	Mayor a 180 °C

Construcción de los devanados.

Cualquier aislamiento que se use debe satisfacer los requerimientos de voltaje, temperatura y mecánicos. Específicamente para los motores eléctricos se usan como aislamientos:

6. papeles.
7. Telas.
8. Plásticos
9. Barnices
10. Fibras especiales.

Papeles.

Dentro de este tipo de aislamiento los que comúnmente se encuentran por su nombre comercial son el “papel pescado y papel coreco” que soportan temperaturas de orden de 60 °C y con un recubrimiento de barniz asta de 90 °C. Existe otro tipo de papel conocido comercialmente como ISOPLEX que soporta temperaturas asta de 180 °C

Telas.

El aislamiento conocidos como telas y que se usan más frecuentemente en los motores eléctricos se tiene la llamada “tela cambrige” que se emplea para separar grupos de bobinas o bien combinadas con algún tipo de papel para aislar las ranuras del estator. Este papel es de color amarillo o negro y se vende por rollos, la cinta se puede obtener también en forma de cinta de ½ pulgada a 1 pulgada

Barnices.

Los barnices se usan principalmente para impregnar y existen dos tipos en el mercado principalmente el llamado barniz claro horneado y el barniz secado al aire. El primero se usa para impregnados que estarán sometidos al proceso de secado en un horno de conversión con temperatura que va de 120° a 140 °C por periodos de una a dos horas de manera tal que se solidifique por eliminación del solvente.

Barniz de secado al aire este se utiliza también para dar un acabado superficial uniforme a los devanados, su uso no se recomienda en motores que requieren una impregnación profunda.

Fibras especiales.

Se ha dado por denominar así a materiales derivados de productos petroquímicos, con distintos nombres comerciales. Como por ejemplo “ El maylard” y que tiene como una de sus características importantes el soportar altas temperaturas. Con fibras especiales se considera también la llamada “ Fibra roja” empleada en el acabado de las bobinas. o bien en la elaboración de cuñas que se usan para cerrar las ranuras de los devanados. Para elaborar cuñas, también se emplea otra pasta conocida comercialmente como CELORÁN, se expide en el mercado como láminas sólidas.

Aislamientos para conexiones.

Todas las conexiones y terminales de las bobinas se deben aislar, para lo cual es necesario usar materiales resistentes y flexibles que soporten el trato duro.

Motores eléctricos su clasificación

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Eléctrica Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica el rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la siguiente tabla:

Tabla 1 características de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

Clase NEMA	Par de arranque de (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase Del motor
A	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3.5	De propósito general

C	2-2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3-8	5-8 , 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

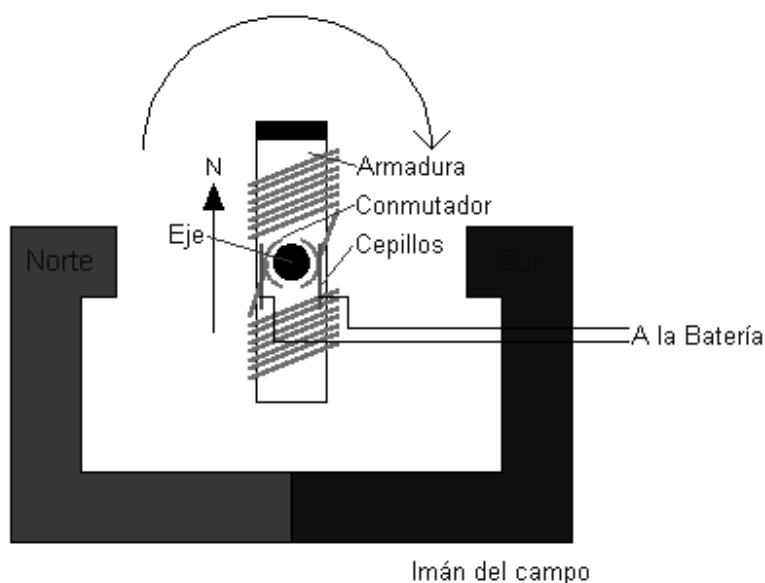
Saber Hacer en la practica (7 hrs.)

Practica 1

Construcción de un Motor experimental

El alumno será capaz de construir un motor experimental basándose en el funcionamiento básico de un motor de corriente directa y del cual se le deberá dar a conocer la siguiente explicación breve.

Partes de un motor eléctrico



Imán del campo

Comencemos mirando el diseño global de un motor eléctrico DC simple de 2 polos. Un motor simple tiene 6 partes, tal como se muestra en el diagrama de la derecha:

- Una armadura o rotor.
- Un conmutador.
- Cepillos.
- Un eje.
- Un Imán de campo.
- Una fuente de poder DC de algún tipo

Un motor eléctrico está compuesto de imanes: un motor los usa para crear movimiento. Si conoce un imán conoce acerca de la ley fundamental de todos los imanes: Cargas opuestas se atraen e iguales se repelen. Así que si tiene dos imanes con sus extremos como norte y sur, entonces el extremo norte se atraerá con el sur. De otro lado, el extremo norte del imán repelerá el extremo norte del otro (y similarmente el sur repelerá el sur). Dentro de un motor eléctrico esas fuerzas atractoras y repulsoras crean movimiento rotacional

V Motores Monofásicos

Objetivo particular de la unidad

Conocer el funcionamiento, pruebas y aplicaciones del motor monofásico

Habilidades por desarrollar en la unidad

- Evaluar el arranque de motores monofásicos de fase dividida y de arranque por capacitor
- Realizar pruebas a los motores monofásicos para encontrar diferentes parámetros de medición.

Saber en la Teoría (5 hrs.)

V.I Motor Monofásico

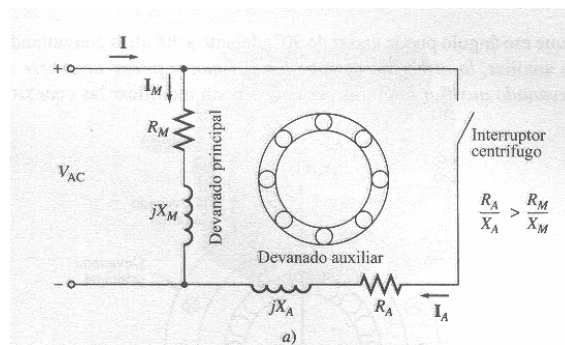
Si la potencia monofásica estándar que se utiliza en las casas se va a usar para arrancar y operar un motor de c-a, es necesario hacer algo para producir dos fases. La potencia bifásica crea el campo magnético giratorio.

Uno de los métodos es emplear un devanado auxiliar especial integrado dentro del estator, que se conoce con el nombre de *devanado de arranque* (auxiliar), para diferenciarlo del *devanado de operación* {principal} del estator.

En motores de c-a de fase dividida, el devanado de arranque se utiliza sólo para poner en marcha el motor, y tiene una resistencia elevada y poca reactancia inductiva. El devanado de operación tiene poca resistencia y elevada reactancia. Cuando se aplica inicialmente la potencia, los dos devanados se energizan, debido a sus diferentes reactancias inductivas, la corriente del devanado de funcionamiento se atrasa con respecto a la corriente del devanado de arranque, creándose una diferencia de fase entre las dos.

Lo ideal sería que la diferencia de fase fuese de 90 *grados*; pero usualmente es mucho menor. No obstante, los campos generados por los devanados están defasados entre sí, con lo cual se produce un campo magnético giratorio en el estator. Esto produce un par en el rotor, con la cual el motor arranca.

Cuando el motor alcanza la velocidad de operación, el rotor puede seguir al campo magnético creado por el devanado de operación, y ya no se necesita el campo del devanado de arranque. Este último es desconectado por medio de un dispositivo mecánico denominado *interruptor centrífugo*, ya que funciona a base de fuerza centrífuga creada por las revoluciones del rotor.



El sentido de giro de un campo giratorio de fase dividida se puede invertir, invirtiendo las conexiones del devanado de arranque. Esto hace variar el sentido del cambio inicial de fase, creando un campo magnético giratorio en sentido opuesto.

La velocidad del motor depende esencialmente de la frecuencia de la línea de alimentación de c-a y del número de polos del estator.

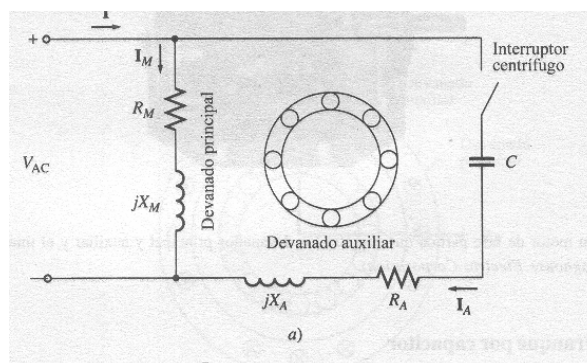
Motor de fase Dividida con capacitor

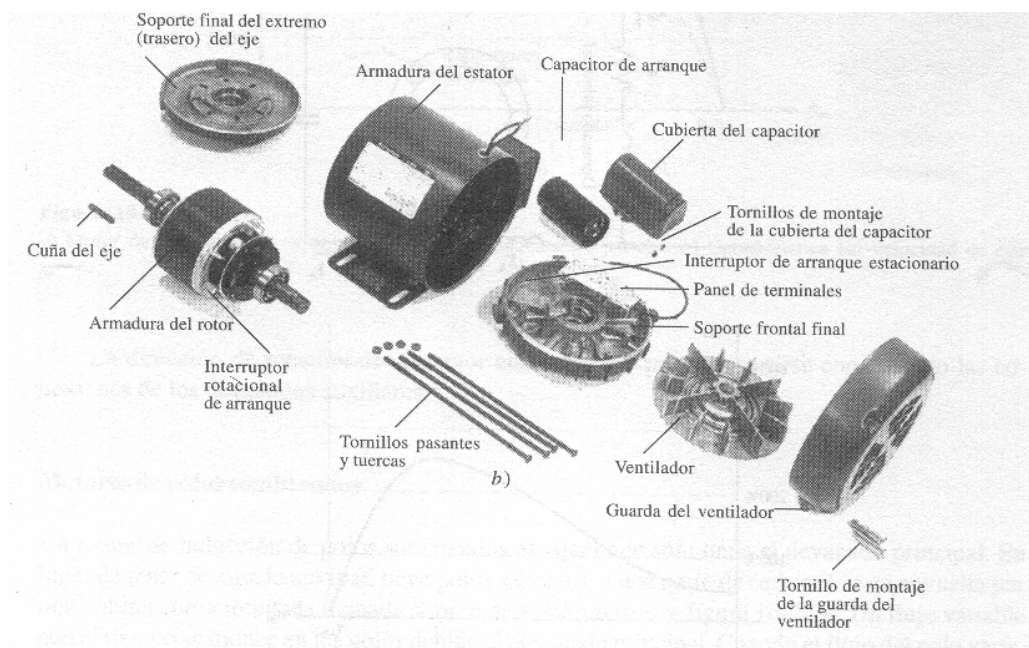
Cuando se describió el campo rotatorio de fase dividida, se señaló que la diferencia de fase entre las corrientes de los devanados de arranque y operación era mucho menor que 90 grados. El par de arranque desarrollado en un motor que utiliza un estator de fase dividida tampoco alcanza el máximo que se podría obtener si se tuviera una diferencia de fase ideal, o sea, de 90 grados.

Se puede obtener una variación de fase más cercana a los 90 *grados*, mediante el sistema de arranque por capacitor para crear un campo giratorio en el estator. Este sistema, que es una modificación del método de fase dividida, utiliza un capacitor de poca reactancia conectado en serie con el devanado de arranque del estator a fin de proporcionar una variación de fase de aproximadamente 90 *grados* para la corriente de arranque, dando como resultado un par de arranque muy superior al obtenido en el sistema normal de fase hendida. Los motores con arranque por capacitor tienen las mismas características de operación que sus equivalentes de fase dividida.

El capacitor y el devanado de arranque se desconectan mediante un interruptor centrífugo, como se hizo en el caso del motor normal de fase dividida.

Para invertir el sentido de rotación de un motor con arranque por capacitor, se hace lo mismo que en el caso del motor de fase dividida, esto es, se invierten las conexiones de los cables a los devanados de arranque u operación.





Motor de inducción de fase dividida con capacitor

Saber Hacer en la practica (9 hrs.)

Práctica 1

Motor de fase Dividida

El alumno deberá de conocer la estructura y la formación de un campo magnético giratorio de un motor de fase dividida, así como también medir las características de operación normal, de arranque y de torsión de dicho elemento

Práctica 2

El Motor de fase dividida con Arranque por Capacitor

El alumno deberá de medir las características de arranque y funcionamiento de un motor de fase dividida con arranque por capacitor y realizar comparaciones con las características de un motor de fase dividida,

Ejercicio Práctico

El alumno deberá de diseñar e implementar un circuito de control y de potencia reversible para un motor de fase dividida, cumpliendo con las siguientes especificaciones.

- a).- Circuito de control de arranque y paro por botoneras para ambos sentidos de dirección
- b).- Utilizar dispositivos electromagnéticos como contactores para el circuito de potencia
- c).-Utilizar lámparas de señalización para indicar el estado de funcionamiento en que se encuentra el motor , así como también utilizar dispositivos de protección para protegerlo contra sobrecarga y cortocircuito.

VI MOTORES TRIFÁSICOS

Objetivo particular de la unidad

Conocer el funcionamiento, pruebas y aplicaciones del motor trifásico

Habilidades por desarrollar en la unidad

- Conocer las características de funcionamiento de un motor trifásico de inducción, determinado corrientes de arranque, par de arranque, y eficiencia de trabajo
- Conocer y realizar pruebas de motores para obtener parámetros que nos indiquen el estado o condiciones del motor

I.

Saber en la Teoría (4 hrs.)

VI.1 POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

Para estudiar los problemas relacionados con el arranque, aceleración, operación y eficiencia de los motores de inducción, tanto de rotor devanado, como del tipo jaula de ardilla, se deben conocer algunos términos y encontrar los medios para determinar sus valores, como es el caso de las pruebas para la determinación de parámetros y que son principalmente las siguientes:

.

La prueba de vacío

Sirve para determinar las pérdidas mecánicas y magnéticas, esto es análogo a la prueba de vacío del transformador.

La prueba de rotor bloqueado o de cortocircuito

Que permite calcular el valor de la resistencia total efectiva, la resistencia del rotor, las pérdidas en los devanados.

La prueba de resistencia en el estator"

Sirve para obtener el valor de la resistencia del estator en forma independiente de la del rotor.

Prueba de carga

Sirve para determinar la potencia de carga, a corriente y el factor de potencia. Esta prueba es de las más útiles, ya que permite obtener el valor de distintos parámetros en forma individual, de acuerdo a relaciones útiles para los motores.

VI.2 Características de los motores de inducción

Para establecer las características de los motores de inducción, se tiene considerar básicamente tres condiciones: El motor trabajando en vacío, el motor operando con carga y las llamadas características a rotor bloqueado del motor.

El motor trabajando en vacío

Cuando el motor se arranca y opera en vacío, la corriente del estator es del orden de 0.3 a 0.5 de la corriente a plena carga. La corriente de vacío es principalmente magnetizante ya que sirve para crear el flujo giratorio; tiene también una pequeña componente activa que alimenta : a las llamadas pérdidas por fricción y ventilación en el rotor mas las pérdidas en el hierro del estator. ,

Para crear el campo giratorio se requiere de una cantidad considerable de potencia reactiva, por lo que el factor de potencia en vacío es bajo, cayendo en el rango de 0.2 para máquinas pequeñas, a 0.05 para máquinas grandes. La eficiencia en estas condiciones es cero, en virtud de que la potencia de salida es cero.

Motor operando con carga

Tanto la corriente de excitación, como la potencia reactiva cuando el motor opera con carga son prácticamente las mismas que cuando el motor opera sin carga. Sin embargo, la potencia activa que demanda el motor de la fuente de alimentación aumenta en proporción a la potencia mecánica que le demanda la carga, por lo que el factor de potencia del motor mejora a medida que aumenta la carga o potencia mecánica. El valor del factor de potencia con carga varía de 0.7 para máquinas pequeñas a 0.9 para motores grandes. La eficiencia es relativamente alta, ya que llega a ser hasta del 98% para motores grandes.

Características del motor a rotor bloqueado

La corriente a rotor bloqueado es del orden de 5 a 6 veces la corriente a plena carga, lo cual hace las pérdidas por efecto Joule (I^2R) de 25 a 36 veces mayores de lo normal, por lo que el rotor no debe permanecer bloqueado por más de unos cuantos segundos.

Estando bloqueado el rotor, la potencia mecánica es cero y el motor desarrolla un par elevado: El factor de potencia es bajo, debido a que se requiere de un valor considerablemente de potencia reactiva para producir el flujo disperso en los devanados del rotor y el estator.

Pérdidas y diagrama de flujo de potencia

Un motor de inducción se puede describir como un transformador giratorio trifásico, en el cual sus bobinados secundarios están cortocircuitados por lo que

la potencia de salida no es eléctrica como en un transformador común, sino que es mecánica.

En la siguiente figura se ilustra la relación de la potencia de entrada (eléctrica) con la potencia de salida (mecánica).

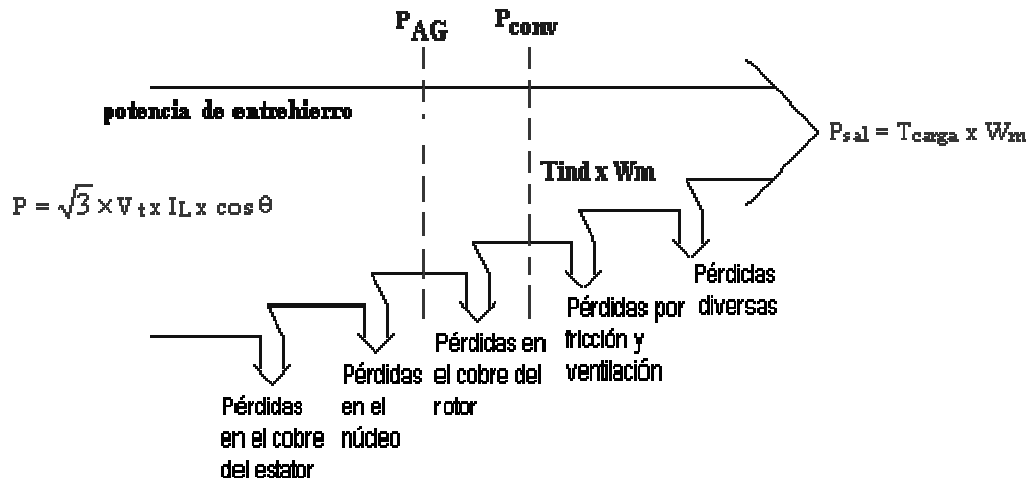
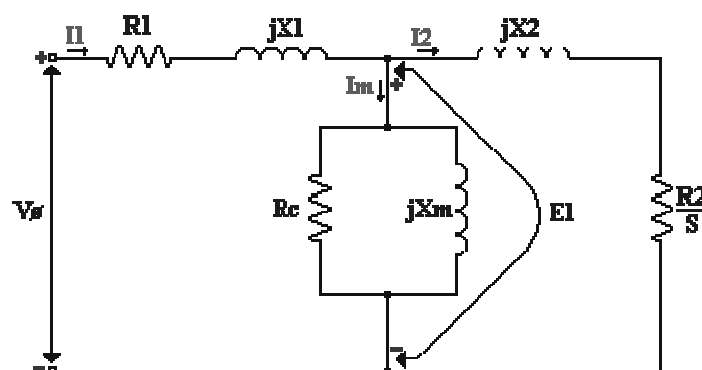


Diagrama de Potencia

Donde:

- Pent: Es la potencia de entrada la cual se da en forma de corriente y voltaje trifásico.
- Pscl: Son las Pérdidas $I^2 \times R$ en los bobinados del estator.
- Pnúcleo: Son las Pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas en el estator.
- Prcl: Son las Pérdidas $I^2 \times R$ en los bobinados del rotor.
- Pf&w: Son las Pérdidas por rozamiento y fricción a causa del movimiento del rotor.
- Pmisc: Son las Pérdidas diversas.
- Psal: Es la potencia de salida del motor, la cual es mecánica.
- PAG: Es la potencia que se traslada del estator al rotor por medio del entrehierro.
- Pconv: Es el punto de transformación de la potencia eléctrica en mecánica.

Potencia y momento de torsión en los motores de inducción



Del circuito equivalente por fase de un motor de inducción se tiene:

Pérdidas del cobre del estator:

$$P_{Cu_est} = 3 \times I_1^2 \times R_1$$

Pérdidas del núcleo en el estator:

$$P_{núcleo} = 3 \times E_1^2 \times G_c = 3 \times (E_1^2 / R_c)$$

La potencia del entrehierro se puede calcular por medio de:

$$P_{entrehierro} = P_{ent} - P_{Cu_est} - P_{núcleo}$$

Por lo tanto la potencia del entrehierro se puede encontrar por:

$$P_{entrehierro} = 3 \times I_2'^2 \times (R_2' / s)$$

donde

R_2' = resistencia total del rotor, referida al estator

I_2' = Corriente del rotor, referida al estator

s = deslizamiento

Ahora, las pérdidas resistivas del rotor se obtienen aplicando la ecuación:

$$P_{rotor} = 3 \times I_2'^2 \times R_2$$

La potencia restante que cambia de eléctrica a mecánica es:

$$P_{mecánica} = P_{entrehierro} - P_{rotor}$$

$$P_{mecánica} = 3 \times I_2'^2 \times R_2 \times (1/s - 1)$$

Por lo tanto se puede deducir:

- Que mientras más bajo sea el deslizamiento del motor, la corriente rotórica disminuye y las pérdidas del rotor de la máquina son menores.
- Si el rotor no está girando el deslizamiento es igual a 1, y la potencia del entrehierro se disipa completamente en el cobre del rotor.

Momento inducido

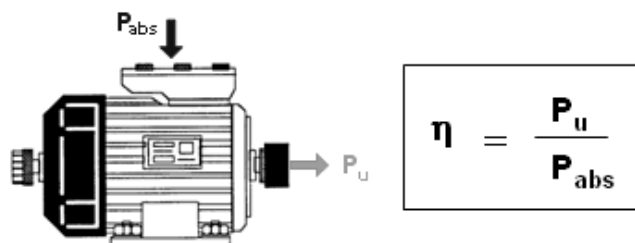
Se define como el momento generado por la conversión de potencia eléctrica en potencia mecánica interna, por lo que se puede obtener mediante la ecuación:

$$T_{ind} = P_{mecánica} / W_{rotor}$$

También se puede obtener expresando la velocidad real en términos de la velocidad sincrónica, la cual es constante.

$$T_{ind} = P_{entrehierro} / W_{sincrónica}$$

Rendimiento



$$P_u = P_{abs} - P_{Cu\ est} - P_{Fe\ est} - P_{Cu\ rot} - P_{Perd\ méca}$$

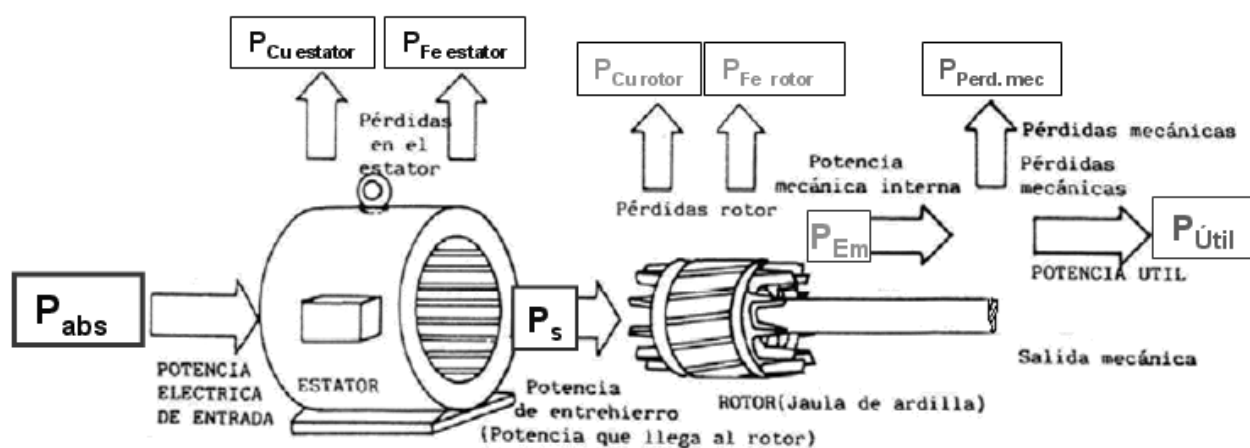
Es interesante considerar el rendimiento del rotor:

$$\eta_{rotor} = \frac{P_{Em}}{P_s}$$

$$\eta_{rotor} = \frac{P_{Em}}{P_s} = \frac{P_s (1 - S)}{P_s}$$

$$\eta_r = 1 - S$$

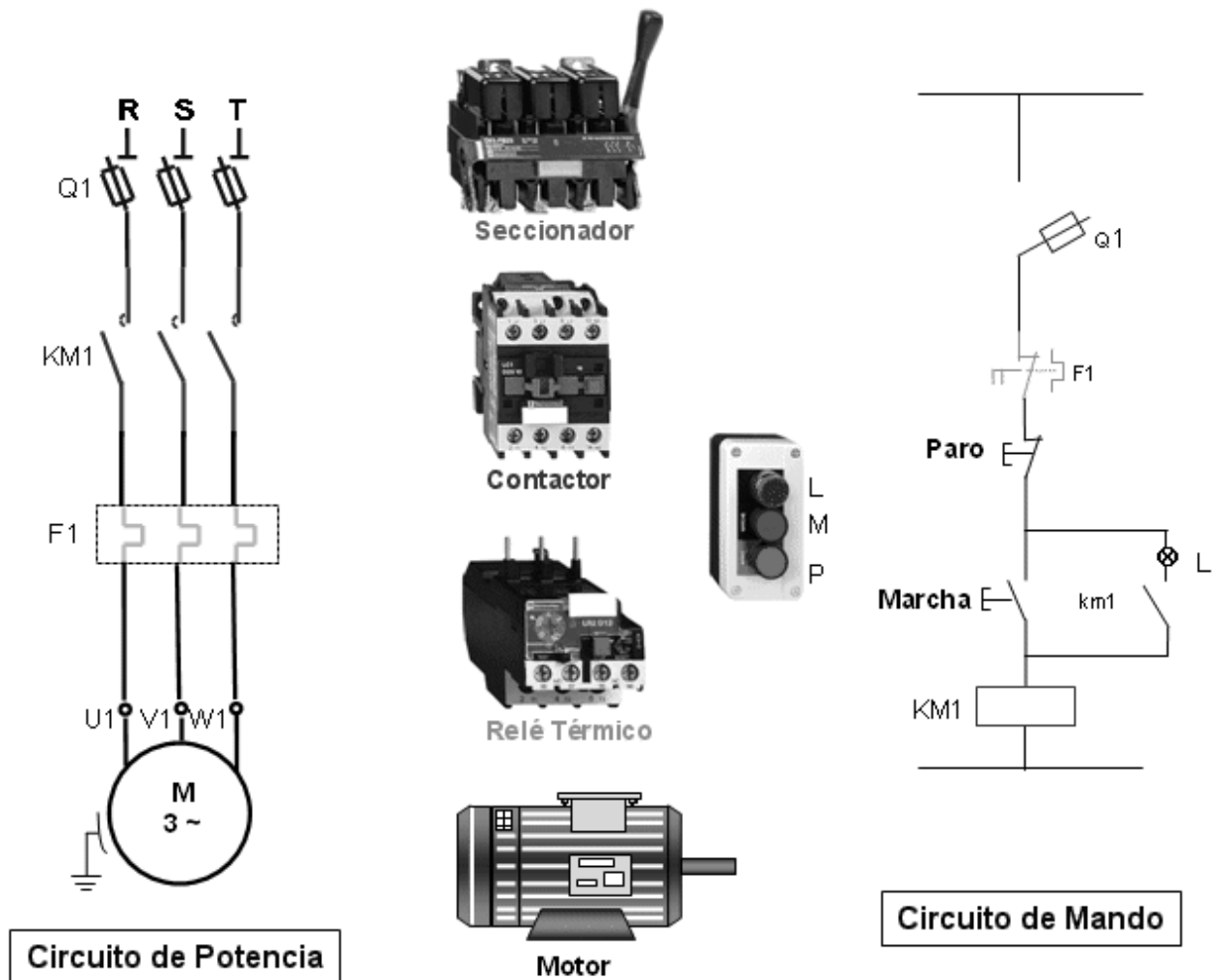
El rendimiento de un motor asíncrono depende esencialmente del deslizamiento, el cual debe ser muy pequeño para que el rendimiento sea aceptable



Saber Hacer en la practica (21 hrs.)

Realizar practicas de arranques de motores utilizando elementos didácticos y elementos reales que se utilizan en la industria

Arranque Directo



- Determinar experimentalmente la corriente de arranque a plena carga del motor
- Calcular el par nominal a plena carga del motor y confirmarlo experimentalmente con equipo de medición

VII SELECCIÓN DE MOTORES DE CA Y TRANSFORMADORES

Objetivo particular de la unidad

Seleccionar motores y transformadores de acuerdo a las condiciones de operación

Habilidades por desarrollar en la unidad

I.

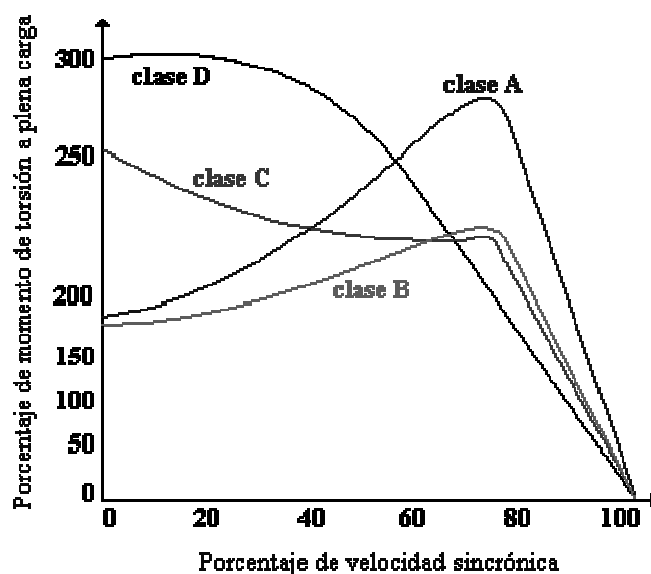
VII.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

Existe en el mercado una gran variedad de motores eléctricos: Sincrónicos, de corriente continua, alterna, de inducción, etc. Los que así mismo son usados para los más variados fines.

En las máquinas de inducción es posible producir una gran variedad de curvas de torsión – velocidad, variando las características del rotor, lo que resulta de gran ayuda a la industria a la hora de escoger los motores más apropiados para la gran variedad de aplicaciones. NEMA en Estados Unidos y la International Electrotechnical Commission (IEC) tienen definidos, en toda la gama de caballos de fuerza, una serie de diseños normalizados con diferentes curvas de momento de torsión – velocidad.

Estos diseños normalizados se conocen como *clases de diseño* y a un solo motor se le puede denominar como "*motor de diseño de la clase X*". En la siguiente figura pueden verse una serie de curvas de momento de torsión – velocidad típicas para las cuatro clases de diseños normalizados de NEMA.

Los rasgos característicos de cada clase de diseño normalizado se esbozan a continuación:



DISEÑO CLASE "A": Los motores de diseño clase A son los motores de diseños normales, con un momento de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento de plena carga de los motores de diseño A debe ser menor del 5% y menor también que el de los motores de diseño B de condiciones equivalentes. El momento de torsión máximo está entre 200 y 300% del momento de torsión a plena carga y sucede a bajo deslizamiento (menos del 20%). El momento de torsión de arranque de este diseño es por lo menos el momento de torsión nominal, para los motores más grandes, y de 200% o más del momento de torsión nominal, para los motores más pequeños. El problema principal con esta clase de diseño es su extremadamente alto valor de la corriente durante el arranque. Los flujos de corriente en el arranque están, generalmente, entre 500% y 800% de la corriente nominal. Con estos motores, en tamaños por encima de unos 7.5 hp, se debe utilizar alguna forma de arranque de voltaje reducido para controlar los problemas de la caída de voltaje en el sistema de potencia al cual están conectados durante el arranque. En tiempos pasados, el diseño de motores clase A era el diseño común para la mayor parte de las aplicaciones entre 7.5 hp y 200 hp, pero durante los últimos años se han reemplazado profusamente por los motores de diseño clase B. Las aplicaciones típicas para estos motores son los ventiladores, abanicos, bombas, tornos y otras máquinas – herramientas.

DISEÑO CLASE "B": Los motores de diseño clase B tienen un momento de torsión de arranque nominal, una corriente de arranque más baja y un deslizamiento bajo. Este motor produce, aproximadamente, el mismo momento de arranque de los motores clase A, con cerca de un 25% menos de corriente. El momento de torsión máximo es mayor o igual al 200% del momento de carga nominal, pero menor que el de diseño clase A, en razón del aumento de la reactancia del rotor. El deslizamiento del rotor es aún relativamente bajo (menos del 5%) a plena carga. Las aplicaciones son similares a aquellas del diseño clase A, pero se prefiere el diseño clase B por razón de sus menores exigencias de corriente de arranque. Los motores de diseño clase B han reemplazado considerablemente los motores de diseño clase A en las instalaciones modernas.

DISEÑO CLASE "C": Los motores de diseño clase C tienen un momento de torsión de arranque alto, con corriente de arranque baja y bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga. El momento de torsión máximo es ligeramente más bajo que el de los motores de clase A, mientras que el momento de torsión de arranque llega hasta un 250% del momento de plena carga. Estos motores se fabrican con rotores de doble jaula por lo que son más costosos que los motores de las clases anteriores. Se usan para cargas que requieren un alto momento de arranque, tales como bombas cargadas, compresores y bandas transportadoras.

DISEÑO CLASE "D": Los motores de diseño clase D tienen un momento de torsión de arranque muy alto (275% o más del momento de torsión nominal) y una corriente de arranque baja, pero tienen también un deslizamiento alto a plena carga. Son, esencialmente, motores de inducción comunes, de clase A, pero con las barras del rotor más pequeñas y hechos de un material de más alta resistencia. La alta resistencia del rotor hace que el momento de torsión máximo se presente a muy baja velocidad. Incluso es posible que el momento de torsión más alto ocurra a velocidad cero (100% de deslizamiento). El deslizamiento a plena carga para estos motores es bastante alto en razón de la alta resistencia del rotor, la que por lo general tiende de un 7 a un 11%, pero puede llegar hasta al 17% o más. Estos motores se usan en aplicaciones que requieren la aceleración de cargas de tipo inercias extremadamente altas, especialmente grandes volantes usados en prensas punzonadoras o grúas de tijera. En tales aplicaciones, estos motores aceleran un gran volante hasta su máxima velocidad, para luego impulsar la perforadora. Después de una operación de perforación, el motor reacelera el volante por un período de tiempo razonablemente largo para la siguiente operación.

Además de estas cuatro clases de diseños, NEMA acostumbraba a reconocer las clases de diseño E y F, llamadas *arranque suave* de los motores de inducción. Estos diseños se distinguieron por tener muy bajas corrientes de arranque y se usaron para cargas de momento de arranque bajo, en situaciones donde las corrientes de arranque eran un problema. Estos diseños son obsoletos hoy en día.

VII.2 CONSIDERACIONES EN LA ELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR

Operación del Transformador

El objetivo que va a cumplir el transformador en el sistema eléctrico.

Potencia

La Potencia del Transformador está determinada por la carga que vamos a instalar y la perspectiva futura.

Cantidad

Cuantos transformadores necesito, por ejemplo para una potencia de 20MVA, necesito un transformador de:

1 x 20 MVA, 2 x 10 MVA, 2 x 20 MVA, esto dependerá de lo que se quiera invertir.

Taps

Las derivaciones en el primario y secundario para disminuir las caídas de tensión.

Tensión del Primario y Secundario

Las Tensiones disponibles por el proveedor y los cambios de taps del transformador

Aspectos constructivos

La disponibilidad de taps.

La instalación (intemperie, bajo techo).
Protecciones (incorporadas): temperatura, presión.
Refrigeración: Ventilación forzada ; Circulación del aceite forzada.
Componentes de montaje.

Manutención del Transformador

Además de checar diariamente las condiciones generales del transformador y de su funcionamiento, se deben controlar en forma periódica los parámetros y elementos .

Temperatura

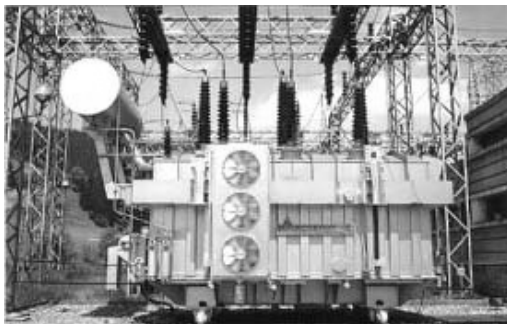
Las temperaturas del ambiente y del líquido refrigerante permitidos o recomendados por el fabricante para que el transformador no trabaje fuera de sus condiciones de trabajo.

Costo

Hay una gran variedad de transformadores para cumplir el mismo objetivo, pero al mismo tiempo el costo juega un papel importante en la elección del transformador que hoy en día es de gran importancia.

TIPOS Y APLICACIONES DE TRANSFORMADORES

TRANSFORMADOR DE POTENCIA



Descripción:

Se utilizan para subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en alta y media tensión. Son de aplicación en subestaciones transformadoras, centrales de generación y en grandes usuarios.

Características Generales:

Se construyen en potencias normalizadas desde 1.25 hasta 20 MVA, en tensiones de 13.2, 33, 66 y 132 kV. y frecuencias de 50 y 60 Hz.

TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION

Se denomina transformadores de distribución, generalmente los transformadores de potencias iguales o inferiores a 500 kVA y de tensiones iguales o inferiores a 67 000 V, tanto monofásicos como trifásicos. Aunque la mayoría de tales unidades están proyectadas para montaje sobre postes, algunos de los tamaños de potencia superiores, por encima de las clases de 18 kV, se construyen para montaje en estaciones o en plataformas. Las aplicaciones típicas son para alimentar a granjas, residencias, edificios o almacenes públicos, talleres y centros comerciales.

A continuación se detallan algunos tipos de transformadores de distribución.

Descripción:

Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes

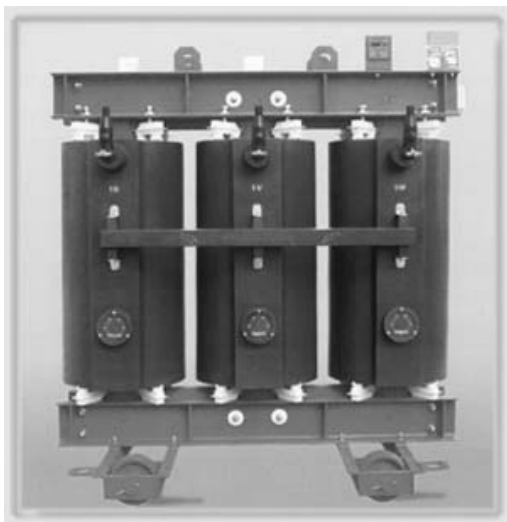


centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Características Generales:

Se fabrican en potencias normalizadas desde 25 hasta 1000 kVA y tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV. Se construyen en otras tensiones primarias según especificaciones particulares del cliente. Se proveen en frecuencias de 50-60 Hz. La variación de tensión, se realiza mediante un conmutador exterior de accionamiento sin carga.

Transformadores Secos Encapsulados en Resina Epoxi

**Descripción:**

Se utilizan en interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, en lugares donde los espacios reducidos y los requerimientos de seguridad en caso de incendio imposibilitan la utilización de transformadores refrigerados en aceite. Son de aplicación en grandes edificios, hospitales, industrias, minería, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Características**Generales:**

Su principal característica es que son refrigerados en aire con aislación clase F, utilizándose resina epoxi como medio de protección de los arrollamientos, siendo innecesario cualquier mantenimiento posterior a la instalación. Se fabrican en potencias normalizadas desde 100 hasta 2500 kVA, tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV y frecuencias de 50 y 60 Hz.

Transformadores Herméticos de Llenado Integral

**Descripción:**

Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, siendo muy útiles en lugares donde los espacios son reducidos. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Características Generales:

Su principal característica es que al no llevar tanque de expansión de aceite no necesita mantenimiento, siendo esta construcción más compacta que la tradicional. Se fabrican en potencias normalizadas desde 100 hasta 1000 kVA, tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV y frecuencias de 50 y 60 Hz.

Transformadores Rurales

**Descripción:**

Están diseñados para instalación monoposte en redes de electrificación suburbanas monofilares, bifilares y trifilares, de 7.6, 13.2 y 15 kV.

En redes trifilares se pueden utilizar transformadores trifásicos o como alternativa 3 monofásicos.

Transformadores Subterráneos

**Aplicaciones**

Transformador de construcción adecuada para ser instalado en cámaras, en cualquier nivel, pudiendo ser utilizado donde haya posibilidad de inmersión de cualquier naturaleza.

Características

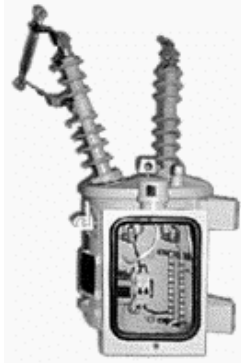
Potencia: 150 a 2000KVA

Alta Tensión: 15 o 24,2KV

Baja Tensión:

216,5/125;220/127;380/220;400/231V

Transformadores Auto Protegidos



Aplicaciones

El transformador incorpora componentes para protección del sistema de distribución contra sobrecargas, corto-circuitos en la red secundaria y fallas internas en el transformador, para esto posee fusibles de alta tensión y disyuntor de baja tensión, montados internamente en el tanque, fusibles de alta tensión y disyuntor de baja tensión. Para protección contra sobretensiones el transformador está provisto de dispositivo para fijación de pararrayos externos en el tanque.

Características

Potencia: 45 a 150KVA

Alta Tensión: 15 o 24,2KV

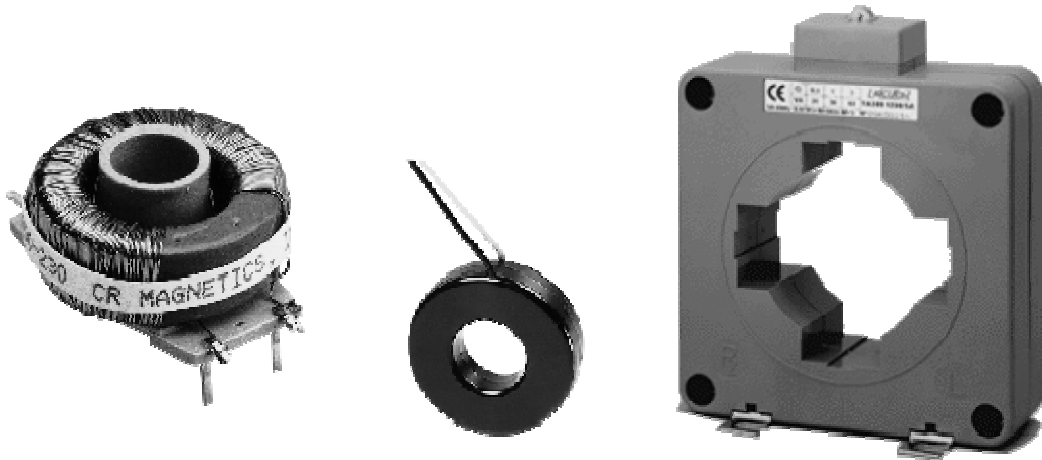
Baja Tensión: 380/220 o 220/127V

AUTOTRANSFORMADORES



Los autotransformadores se usan normalmente para conectar dos sistemas de transmisión de tensiones diferentes, frecuentemente con un devanado terciario en triángulo. De manera parecida, los autotransformadores son adecuados como transformadores elevadores de centrales cuando se desea alimentar dos sistemas de transporte diferentes. En este caso el devanado terciario en triángulo es un devanado de plena capacidad conectado al generador y los dos sistemas de transporte se conectan al devanado, autotransformador. El autotransformador no sólo presenta menores pérdidas que el transformador normal, sino que su menor tamaño y peso permiten el transporte de potencias superiores.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TT/CC



Los transformadores de corriente se utilizan para tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible, para las gamas normalizadas de instrumentos, aparatos de medida, u otros dispositivos de medida y control. Ciertos tipos de transformadores de corriente protegen a los instrumentos al ocurrir cortocircuitos.

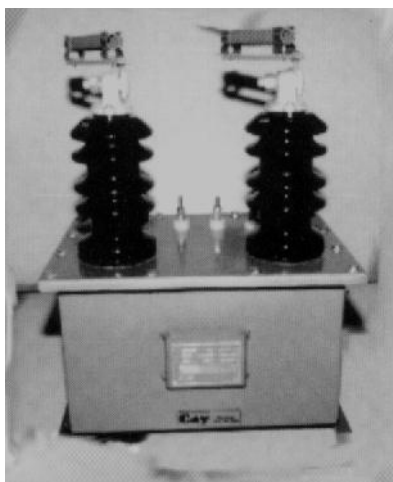
Los valores de los transformadores de corriente son:

Carga nominal: 2.5 a 200 VA, dependiendo su función.

Corriente nominal: 5 y 1A en su lado secundario. se definen como relaciones de corriente primaria a corriente secundaria. Unas relaciones típicas de un transformador de corriente podrían ser: 600/5, 800/5, 1000/5.

Usualmente estos dispositivos vienen con un amperímetro adecuado con la razón de transformación de los transformadores de corriente, por ejemplo: un transformador de 600/5 está disponible con un amperímetro graduado de 0 - 600A.

TRANSFORMADOR DE POTENCIAL TT/PP



Es un transformador devanado especialmente, con un primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. Tiene una potencia nominal muy baja y su único objetivo es suministrar una muestra de voltaje del sistema de potencia, para que se mida con instrumentos incorporados.

Además, puesto que el objetivo principal es el muestreo de voltaje deberá ser particularmente preciso como para no distorsionar los valores verdaderos. Se pueden conseguir transformadores de potencial de varios niveles de precisión, dependiendo de que tan precisas deban ser sus lecturas, para cada aplicación especial.

Transformadores de corriente constante

Un transformador de corriente constante es un transformador que automáticamente mantiene una corriente aproximadamente constante en su circuito secundario, bajo condiciones variables de impedancia de carga, cuando su primario se alimenta de una fuente de tensión aproximadamente constante. El tipo más usual, la disposición de «bobina móvil», tiene separadas las bobinas del primario y secundario, que tienen libertad para moverse entre sí, variando por tanto la reactancia de dispersión magnética del transformador.

Existen disponibles tipos para subestación que proporcionan unos modelos compactos integrales, que llevan incluidas los accesorios necesarios para el control y protección del transformador. Los accesorios normales comprenden un interruptor a solenoide primario, una protección contra apertura del circuito, fusibles o cortacircuitos con fusibles en el primario y descargadores de sobretensiones en el primario y en el secundario.

Los transformadores de corriente constante de tipo estático no tienen partes móviles y funcionan según el principio de una red resonante. Esta red normalmente consta de dos reactancias inductivas y dos capacitivas, cada una de igual reactancia para la frecuencia de alimentación. Con tal red, la corriente secundaria es independiente de la impedancia de la carga conectada, pero es directamente proporcional a la tensión del primario.

Transformadores para hornos

Los transformadores para hornos suministran potencia a hornos eléctricos de los tipos de inducción, resistencia, arco abierto y arco sumergido. Las tensiones secundarias son bajas, ocasionalmente menores de 100 V, pero generalmente de varios centenares de Volts. La gama de tamaños varía desde algunos kVA a más de 50 MVA, con corrientes en el secundario superiores a 60 000 A. Las corrientes elevadas se obtienen conectando en paralelo muchas secciones de devanado. La corriente es recogida por barras internas y llevada a través de la tapa del transformador mediante barras o mediante bornes de gran corriente.

Transformadores de puesta a tierra

Un transformador de puesta a tierra es un transformador ideado principalmente con la finalidad de proporcionar un punto neutro a efectos de puesta a tierra. Puede ser una unidad de dos devanados con el devanado secundario conectado en triángulo y el devanado primario conectado en estrella que proporciona el neutro a efectos de puesta a tierra o puede ser un autotransformador trifásico de un solo devanado con devanados en estrella interconectada, o sea en zig-zag.

Transformadores móviles

Transformadores móviles y subestaciones móviles. Los transformadores o autotransformadores móviles están montados normalmente sobre semirremolques y llevan incorporados pararrayos y seccionadores separadores. Una subestación móvil tiene, además, aparamenta y equipo de medida y de protección. La unidad se desplaza por carretera arrastrada por tractores. Los reglamentos estatales y federales sobre transporte por carretera limitan el peso y tamaño máximos. Las unidades móviles se usan para restablecer el servicio eléctrico en emergencias, para permitir el mantenimiento sin interrupción de servicio, para proporcionar servicio durante las construcciones importantes y para reducir las inversiones en el sistema.

La unidad móvil está proyectada de manera que constituye una unidad compacta de aplicación múltiple que proporciona la máxima potencia en kVA, para el peso admisible.

Transformadores para radio

Transformadores de energía. La finalidad del transformador de energía en las aplicaciones de los radorreceptores consiste en variar la tensión de la red doméstica a un nivel tal que, cuando se aplique a una válvula de vacío o a un rectificador de semiconductores (ya sea de media onda o de onda completa) y esté adecuadamente filtrada, pueda usarse para alimentar las tensiones y corrientes de polarización para los dispositivos activos (válvulas, transistores, etc.) de la radio. El transformador de energía también puede usarse para cambiar la tensión de la red a un valor adecuado para los filamentos de las válvulas o lámparas que pueda haber en la radio.

Transformadores de frecuencias de audio. Pueden emplearse tres tipos de transformadores de frecuencias de audio en los receptores de radio: de entrada, de etapas intermedias y de salida. En el receptor normal sólo se usa el transformador de salida. El acoplamiento entre etapas de amplificación se consigue mediante impedancias comunes a los circuitos de entrada y salida de las etapas de amplificación.

Transformadores de entrada. Funcionan entre la fuente de tensión de c.a. (más comúnmente el último amplificador de frecuencia intermedia en una radio) y la primera válvula de vacío o transistor de amplificación del amplificador de audio. La relación de espiras para este transformador viene determinada por la tensión normal aplicada sobre el primario y el valor deseado de tensión que debe aplicarse a la rejilla de la primera válvula o a la base del primer transistor.

Transformadores de etapas intermedias. Todo lo dicho antes para el transformador de entrada se aplica a los transformadores de etapas intermedias, con la excepción de que los transformadores de etapas intermedias se usan entre etapas de amplificación de los amplificadores de audio.

Transformadores de salida. Funcionan entre la última etapa de válvulas de vacío o transistores del amplificador de audio y el circuito de carga, que en las radios es la bobina del altavoz. Normalmente, el transformador de salida para una etapa de salida de potencia tiene una relación reductora, debido a que la impedancia del altavoz es relativamente baja en comparación con la impedancia de la salida de un amplificador, ya sea de válvulas o de transistores.

Transformadores de radiofrecuencia. Este término se usa para describir una clase de transformadores que funcionan a una frecuencia muy superior a la de la gama de audio. Esta es la frecuencia de la portadora de la señal de radio recibida o, en las radios

superheterodinas, es la diferencia entre la frecuencia de la portadora entrante y la frecuencia del oscilador de la radio. Esta frecuencia diferencia se denomina frecuencia intermedia y los transformadores a través de los cuales pasa se denominan transformadores de frecuencia intermedia.

Los transformadores de radiofrecuencia realizan esencialmente las mismas funciones que los transformadores de frecuencia de audio (relación de espiras determinada por las tensiones deseadas), pero presentan tres diferencias importantes. Como se ha mencionado anteriormente, trabajan con frecuencias muy superiores. Además, operan con potencias considerablemente menores que los transformadores de audio. Finalmente, uno o ambos devanados de un transformador de radiofrecuencia a menudo están shuntados mediante un condensador, de manera que se forma un circuito sintonizado que atenúa todas las frecuencias menos la deseada.

Transformadores para rectificadores

Los transformadores para rectificadores suministran energía a los rectificadores a la tensión de entrada de c.a. requerida para la tensión de salida de c.c. deseada. Están contruidos en tamaños que llegan hasta los 15 000 kVA y a veces superiores. La tensión del secundario generalmente es baja, variando desde menos de 50 V, para algunos procesos electrolíticos, hasta 1000 V para otras aplicaciones. La corriente secundaria generalmente es elevada y puede alcanzar muchos miles de amperes.

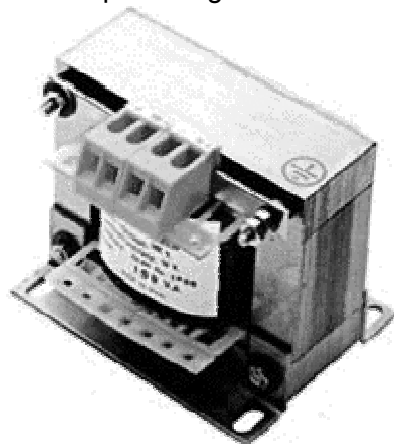
Pueden usarse conexiones de transformador que producen desfases para conseguir 12 fases, 24 o incluso más, a fin de reducir los armónicos de la corriente en la entrada de c.a. Pueden usarse transformadores auxiliares o conexiones entre los devanados de fase de los propios transformadores del rectificador. Cuando se usan dos devanados secundarios (como en el circuito en doble estrella) debe haber la misma impedancia entre el primario y cada devanado del secundario, para obtener ángulos de conmutación y tensiones de c.c. iguales en los dos circuitos del secundario.

Transformadores especiales

Los transformadores especiales de aplicación general son transformadores de distribución de tipo seco que generalmente se usan con los primarios conectados a los circuitos de distribución de baja tensión, para alimentar cargas de alumbrado y pequeñas cargas a tensiones todavía más bajas. Existen transformadores para tensiones del primario de, 120, 240, 480 y 600 V, con potencias nominales comprendidas entre 25 VA y 500 kVA, a 60 Hz.



Los transformadores de control son transformadores de aislamiento de tensión constante y tipo seco. Generalmente se usan con los devanados primarios conectados a circuitos de distribución de baja tensión de 600 V o menos. La elección adecuada de un transformador de control facilitará la alimentación con la potencia correcta a tensión reducida para cargas de alumbrado y de control hasta 250 VA.



Los transformadores para máquinas herramientas son similares a los transformadores de control con capacidades de hasta 1500 VA para alumbrado localizado y para dispositivos de control de máquinas tales como solenoides, contactores, relés, tanto sobre herramientas portátiles como fijas. Principalmente se usan para proporcionar salidas de 120 V a partir de relés de 240 a 480 V a 60 Hz. También existen para funcionamiento a distintas tensiones con 25 y 50 Hz.

Los transformadores de clase 2 son transformadores de aislamiento de tipo seco adecuados para usar en los circuitos de clase 2 del National Electrical Code. Estos transformadores se usan generalmente en control remoto, en alimentación de pequeñas potencias y en los circuitos de señal para el accionamiento de timbres, campanas, controles de hornos, válvulas, relés, solenoides y similares. Son unidades con el primario a 120 V tanto del tipo limitador de energía como del tipo no limitador.

Los transformadores para señalización son transformadores de aislamiento, reductores, de tensión constante y tipo seco, que generalmente se usan con sus devanados primarios conectados a circuitos de distribución de baja tensión para alimentar sistemas de señalización no sujetos a las limitaciones de los circuitos de clase 2. Existen para circuitos de 120 ó de 240 V. Llevan una selección de tensiones de salida de 4, 8, 12, 16, 20 ó 24 V, conectando adecuadamente los cuatro terminales de salida. Existen unidades de hasta 1000 VA.

Los transformadores para tubos luminiscentes, para suministrar energía a anuncios de neón o de otros gases, se fabrican en tamaños que comprenden desde los 50 a los 1650 VA. Las gamas de tensiones en el secundario están comprendidas entre 2 000 y 15 000 V. La tensión depende de la longitud del tubo que forma el circuito; es decir, cuanto mayor sea la longitud del tubo, mayor tensión se necesita. La corriente suministrada por los transformadores está comprendida entre 18 y 120 mA.



Los transformadores para ignición son transformadores elevadores de tipo seco, de alta reactancia, usados para el encendido de los quemadores de gas o de fuel-oil domésticos. Tales transformadores están limitados a las tensiones primarias de 120 ó 240 V. Las tensiones secundarias están limitadas a 15 400 V y normalmente la gama va desde los 6 000 a los 14 000 V. La gama de corrientes nominales en el secundario va desde 20 a 28 mA y la de potencias de 140 a 430 VA.

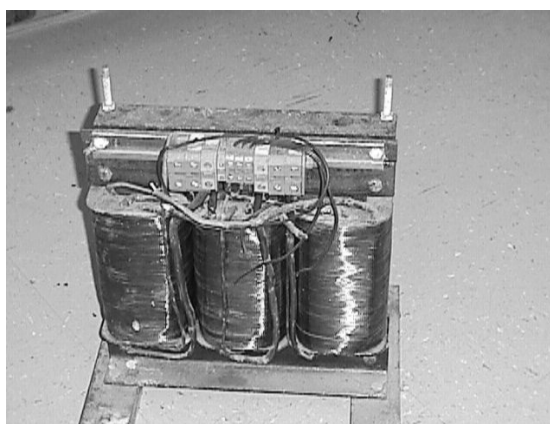
Los transformadores para juguetes son transformadores reductores, del tipo secundario de baja tensión, cuya principal finalidad es suministrar corriente a juguetes accionados eléctricamente. Normalmente son portátiles y, debido a su uso previsto, se pone una especial atención en su construcción en lo relativo a seguridad y a eliminación del peligro de incendio; la entrada al devanado primario debe estar limitada por construcción a 660 W, incluso cuando el devanado del secundario esté cortocircuitado, condición que debe ser soportada sin crear peligro de incendio. Tales transformadores no están autorizados para tensiones del primario superiores a 150 V y las tensiones del secundario no pueden ser superiores a 30 V entre dos terminales de salida cualquiera.

Transformadores para ensayos

Los transformadores para ensayos, usados para realizar pruebas de tensiones elevadas a baja frecuencia, han sido desarrollados para tensiones superiores, para hacer posible el estudio de aplicaciones de tensiones de transporte cada vez mayores. A menudo se necesitan tensiones de 1 500 000 o más volts. Se han construido unidades para 1000 KV respecto a tierra, pero normalmente resulta más económico obtener tales tensiones conectando dos o más unidades en «cascada» o en «cadena». Los transformadores para ensayo, normalmente están proyectados para aplicaciones de corta duración. Sin embargo, para aplicaciones especiales, puede requerirse una potencia de varios miles de kVA y el tiempo de aplicación puede ser continuo.



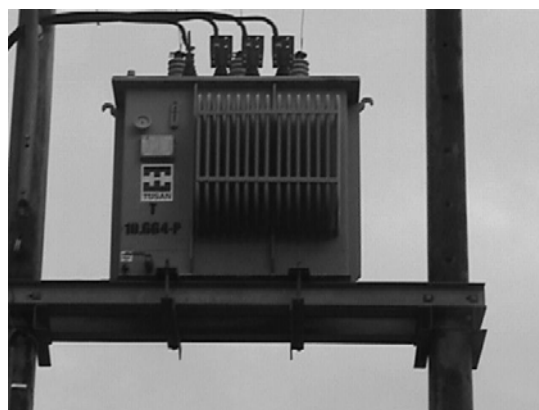
Transformador de corriente típico



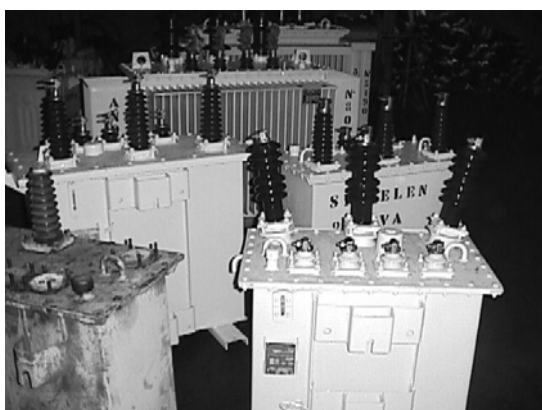
Transformador trifásico de laboratorio
de laboratorio



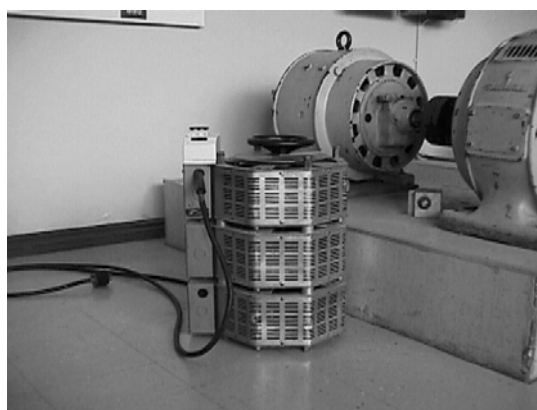
Transformador monofásico de laboratorio



Transformador de distribución común de la
ciudad



Transformadores de distribución empresa
Eléctrica



Autotransformador típico de laboratorio

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 2

PRÁCTICA No. 1

CIRCUITOS MAGNETICOS SERIE – PARALELO

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

Solucionar ejercicios de circuitos magnéticos con diferentes estructuras

2. Materiales y/o equipos.

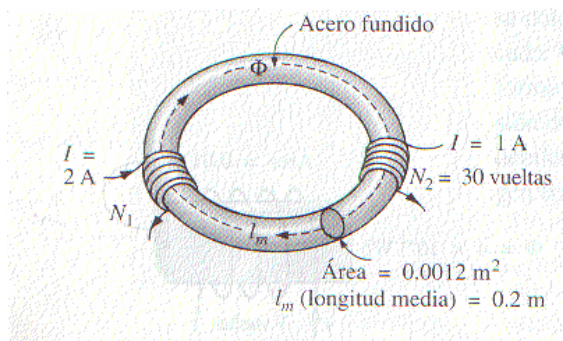
3. Desarrollo general.

En esta práctica el alumno deberá resolver diferentes ejercicios de circuitos magnéticos aplicando las leyes para circuitos magnéticos y utilizando de ser necesario las curvas de magnetización $B-H$ de diferentes materiales ferromagnéticos

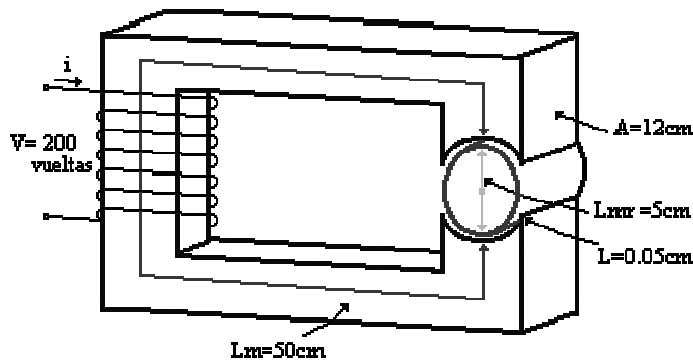
- Resolver los siguientes ejercicios de acuerdo al concepto que se le pide

1.- Para el siguiente Circuito magnético

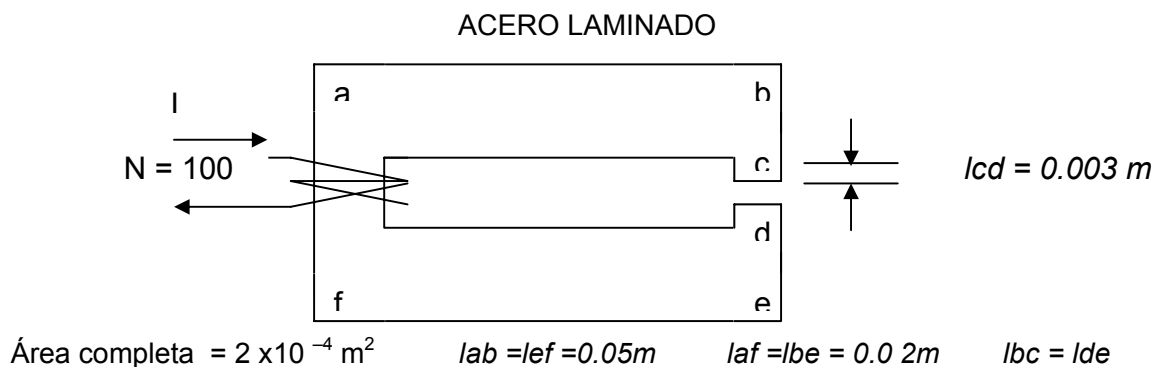
- Encuentre el número de vueltas de N_1 requeridas para establecer un flujo $\Phi = 12 \times 10^{-4}$ Wb en el circuito magnético de la siguiente figura.
- Encuentre la permeabilidad del material



2.- La figura muestra el esquema simplificado del estator de un motor de cc. La longitud media de la trayectoria del flujo en el estator es de 50 cm. y el área de la sección transversal es 12 cm². Cada uno de los entrehierros entre rotor y estator es de 0.05 y su área transversal (incluyendo refrigerancia) es 14 cm². El hierro del núcleo tiene una permeabilidad relativa de 2000 y hay una bobina con 200 espiras sobre el núcleo. Si la corriente en el conductor es de 1 A, ¿cuál será la densidad de flujo en el entrehierro?



3.- Determine el valor de la corriente que se requiere para establecer un flujo de 2.4×10^{-4} Wb en el circuito magnético mostrado en la siguiente figura



4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 3

PRÁCTICA No. 1

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS DE UN TRANSFORMADOR

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1.- Objetivo.

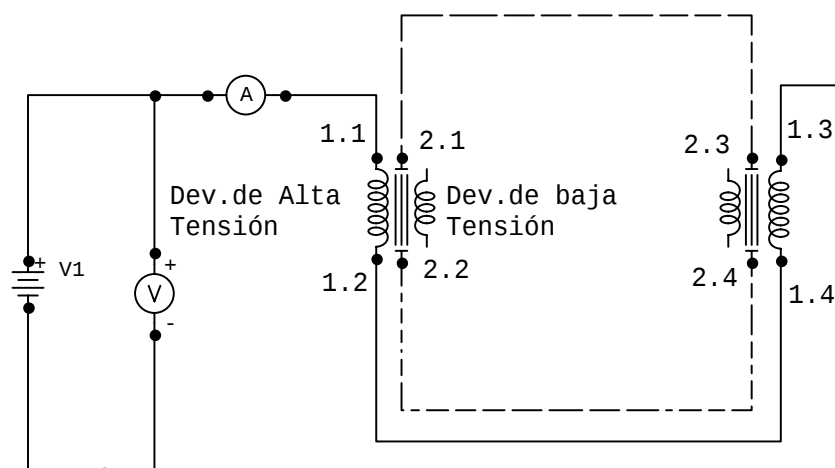
Medición de la resistencia de los devanados de un transformador por el método del volta – amper

2.- Materiales y/o equipos.

- a).- Transformador Monofásico de 2 x 1 Kva
- b).- 2 Multímetros
- c).- 12 Cables de conexión
- d).- Fuente Variable de corriente directa (0 – 127 Volt)

3.- Desarrollo general

- 1.- Conecte el transformador como se ilustra en la figura siguiente
- 2.- Coloque los comandos de la fuente variable de corriente directa en las siguientes posiciones
 - a).- Interruptor de la fuente abierto
 - b).- Variador de voltaje en cero volts
- 3.- Cierre el interruptor de la fuente y regule el voltaje hasta obtener la primera lectura de corriente indicada en la tabla de mediciones
- 4.- Tome nota del voltaje que corresponde a la primera corriente establecida
- 5.- Repita la misma operación para cada una de las corrientes posteriores
- 6.- Calcule la resistencia para cada lectura de corriente y voltaje obtenidos para el devanado de alta tensión
- 7.- Calcule la resistencia promedio para el devanado de alta tensión del transformador
- 8.- Realice la misma conexión para el devanado de baja tensión y repita los pasos de los puntos anteriores

**Transformador Monofásico de 2 x 1 Kva**

Devanado	Amperímetro	Voltímetro	Rx Ω	Rxm Ω
Alta Tensión	0.40			
	0.45			
	0.50			
Baja Tensión	3.0			
	3.5			
	4.0			

Rx. Resistencia calculada para cada medición

Rxm. Resistencia promedio de las tres mediciones

4.-Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas**Prácticas de la unidad 3****PRÁCTICA No. 2****MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS DE UN TRANSFORMADOR**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1.- Objetivo.

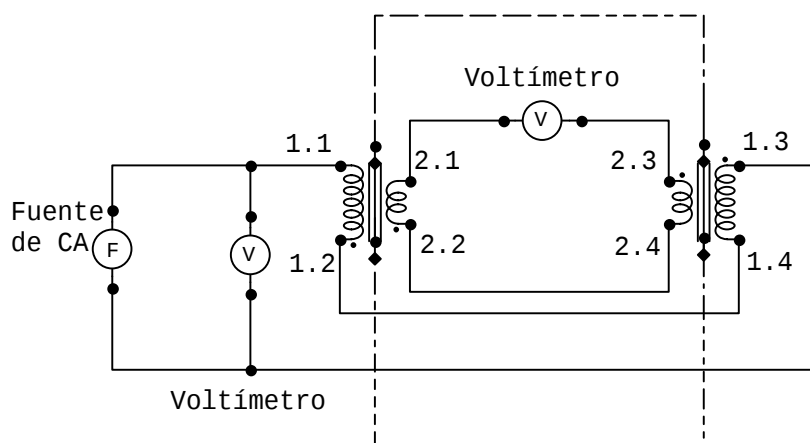
Obtener la relación de transformación de un transformador Monofásico

2.- Materiales y/o equipos.

- 1 Amperímetro de c.a
- 1 Voltímetro de c.a
- 12 Cables de conexión
- 1 Fuente variable de c.a
- 1 Transformador Monofásico de 2 x 1 Kva

3.- Desarrollo general

- 1.- Conecte el transformador como se ilustra en la siguiente figura
- 2.- Coloque los comandos de la fuente variable de corriente alterna en las siguientes posiciones
 - a).- Interruptor de la fuente abierto
 - b).- Variador de voltaje en cero volts
- 3.- Cierre el interruptor de la fuente y regule el voltaje hasta obtener la primera lectura indicada en la tabla de mediciones
- 4.- Mida y anote en la tabla de mediciones las tensiones secundarias correspondientes para cada lectura del voltaje primario
- 5.- Calcule y anote la relación de transformación individual para cada uno de los voltajes obtenidos en la tabla .
- 6.- Calcule el valor promedio con los 3 valores obtenidos de la relación de transformación



Prueba	Tensión Primaria	Tensión Secundaria	Relación de Transformación	Relación de Transf. Prom
1	170			
2	190			
3	210			

4.- Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas
Prácticas de la unidad 3**PRÁCTICA No. 3****“POLARIDAD DEL TRANSFORMADOR POR EL METODO DE GOLPE INDUCTIVO ”**

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1.- Objetivo.

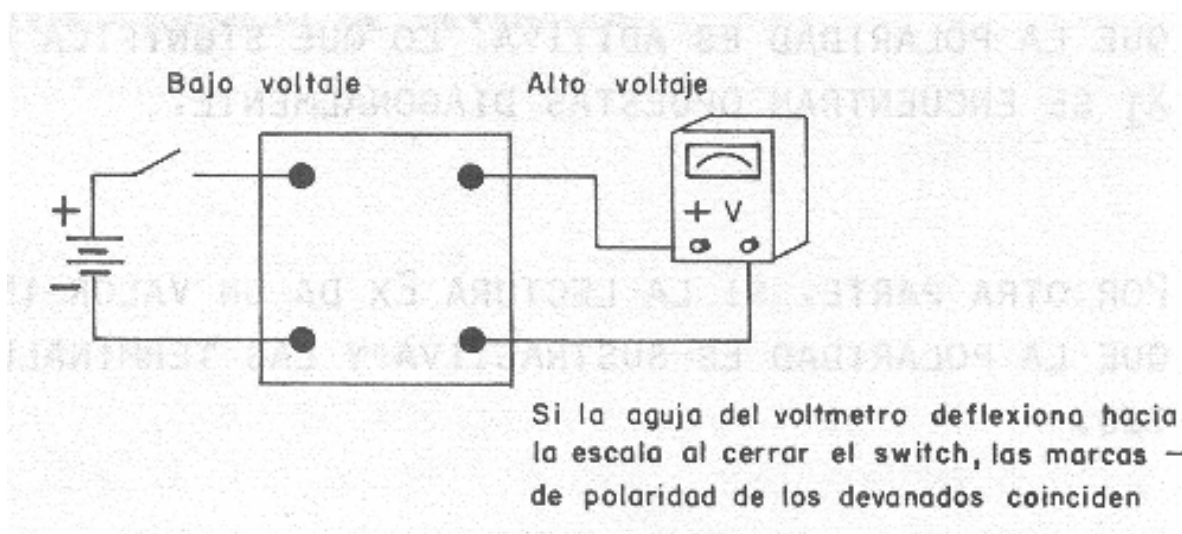
Identificar la polaridad de las terminales de un transformador

2.- Materiales y/o equipos.

- 1 Voltímetro de c.d
- 12 Cables de conexión
- 1 Fuente variable de c.d
- 1 Transformador Monofásico de 2 x 1 Kva

3.- Desarrollo general

- a) Conecte el siguiente circuito tal como se ilustra en la siguiente figura
- b) Encienda la fuente variable de c –d y regule el voltaje a 10 volts .
- c) Conecte las terminales de la fuente de alimentación al lado primario y marque como positiva la terminal a la que se le aplica la terminal positiva de la fuente.
- d) Conecte el voltímetro al lado secundario del transformador tal como se ilustra en la figura .
- e) Cierre y abra el interruptor observando el sentido de la Aguja del voltímetro, si la aguja se mueve al interior de la escala, la polaridad de la terminal escogida del lado secundario es positiva. Entonces tanto las terminales conectadas al positivo de la fuente como al positivo del voltímetro son positivas, en caso de que la aguja se deflexione en sentido contrario, tenemos entonces que la terminal que va al positivo del voltímetro es negativa con respecto a la terminal del voltaje positivo de la fuente



4.- Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas
Prácticas de la unidad 3**PRÁCTICA No. 4****PRUEBA EN VACIO PARA UN TRANSFORMADOR**

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1.- Objetivo.

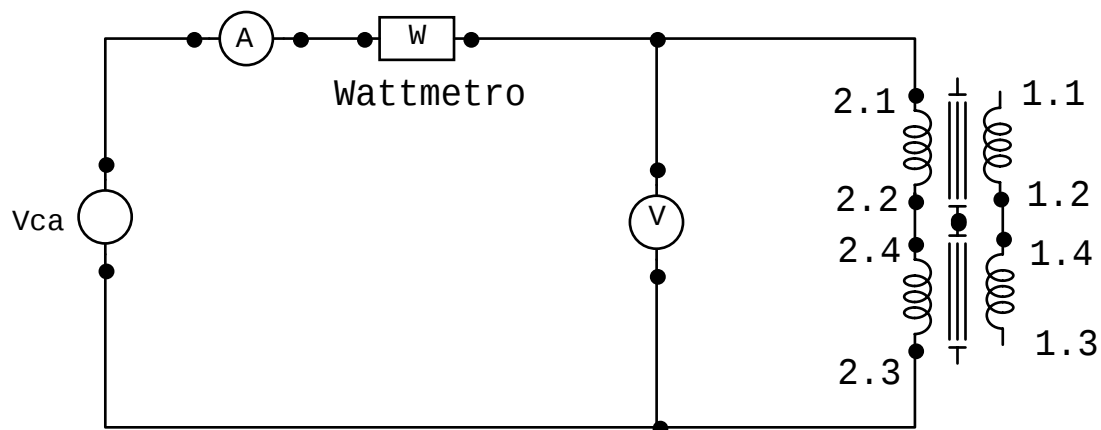
Medir las corrientes absorbidas por el transformador sin carga, para obtener las pérdidas de potencia en el hierro por efecto de la histéresis magnética

2.-Materiales y/o equipos.

- 1 Amperímetro de c.a
- 1 Wattmetro monofásico
- 1 Voltímetro de c.a
- 12 Cables de conexión
- 1 Fuente variable de c.a
- 1 Transformador Monofásico de 2 x 1 Kva

3.- Desarrollo general.

- 1.- Conecte el transformador como se ilustra en la siguiente figura
- 2.- Coloque los comandos de la fuente variable de corriente alterna en las siguientes posiciones
 - a).- Interruptor de la fuente abierto
 - b).- Variador de voltaje en cero volts
- 3.- Cierre el interruptor de la fuente y regule el voltaje hasta obtener la primera lectura indicada en la tabla de mediciones
- 4.- Tome nota de la potencia y corriente absorbida que corresponde al primer voltaje establecido
- 5.- Repita la misma operación para cada uno de los voltajes posteriores
- 6.- Con los datos obtenidos calcule el factor de potencia para cada medición



4.- Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas
Prácticas de la unidad 3**PRÁCTICA No. 5****PRUEBA DE CORTO CIRCUITO PARA UN TRANSFORMADOR**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1) Objetivo.

- a).- Medir las corrientes absorbidas por el transformador con el secundario cortocircuitado.
- b).- Determinar los valores Z_e , R_e , y X_e para el lado primario del transformador
- c).- Determinar la pérdida de potencia por efecto Joule y el factor de potencia con el secundario cortocircuitado

2) Materiales y/o equipos.

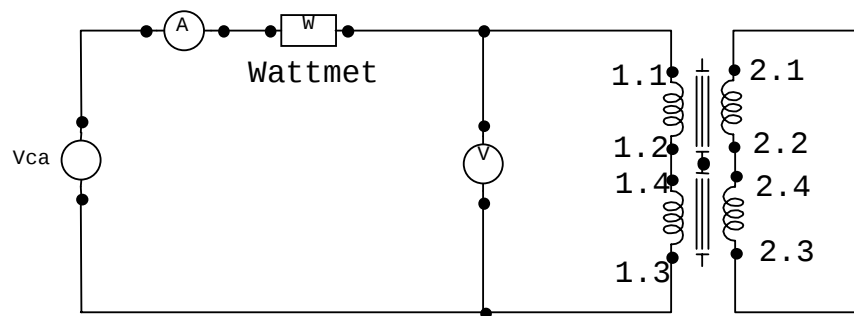
- 1 Amperímetro de c.a
- 1 Wattmetro monofásico
- 1 Voltímetro de c.a
- 12 Cables de conexión
- 1 Fuente variable de c.a
- 1 Transformador Monofásico de 2 x 1 Kva

3) Desarrollo general.

- 1.- Conecte el transformador como se ilustra en la siguiente figura.
 - 2.- Coloque los comandos de la fuente variable de corriente alterna en las siguientes posiciones.
 - a).- Interruptor de la fuente abierto
 - b).- Variador de voltaje en cero volts
 - 3.- Cierre el interruptor de la fuente y regule el voltaje hasta obtener la primera corriente indicada en la tabla de mediciones
 - 4.- Tome nota de la potencia y voltaje que corresponde a la primera corriente
-

establecida

- 5.- Repita la misma operación para cada uno de las corrientes posteriores
- 6.- Con los datos obtenidos calcule el factor de potencia para cada medición
- 7.- Con los datos obtenidos calcule la R_e , X_e y la Z_e para un valor nominal de corriente en el lado primario del transformador



Isc	Vsc	Pcc	Cos θ
2.0			
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			

4) Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 4

PRÁCTICA No. 1

CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR EXPERIMENTAL

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

Construcción de un motor experimental de corriente directa

2. Materiales y/o equipos.

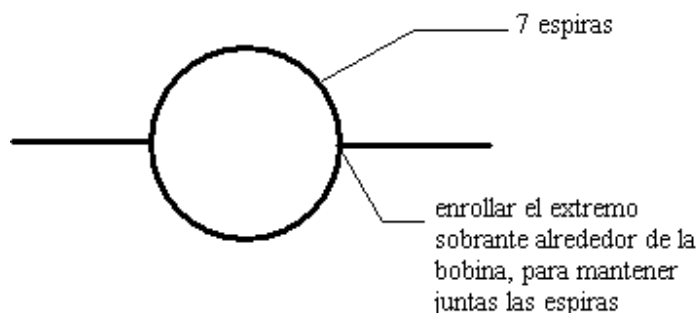
- Una pila alcalina de tipo ' D '
- Una goma ancha
- Dos clips de papel grandes
- Un imán de cerámica rectangular
- Cable de cobre esmaltado grueso (del tipo con el esmalte aislante rojo)
- Un tubo de papel higiénico o de cocina
- Papel de lija Fino
- Opcional: Pegamento, bloque pequeño de madera para la base.

3. Desarrollo general.

Con la explicación previa del maestro acerca del funcionamiento básico de un motor de corriente directa, arme el motor experimental siguiendo las siguientes Instrucciones.

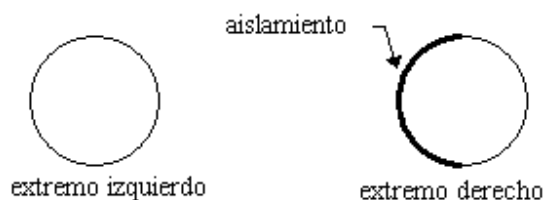
INSTRUCCIONES

Comenzando cerca de 3 pulgadas del extremo del cable, envuélvalo 7 veces alrededor del tubo del papel. Quite el tubo (usted no lo necesitará más). Corte el cable, dejando un sobrante de 3 pulgadas enfrente del punto de partida original. Envuelva los dos extremos sobrantes alrededor de la bobina para fijarla y extienda los dos extremos perpendicularmente a la bobina. Vea la siguiente ilustración:

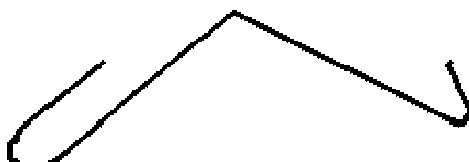


Nota: Asegúrese de centrar los dos extremos de los dos lados de la bobina. El balance es importante. Es aconsejable poner una gota del pegamento donde el extremo del cable envuelve la bobina para evitar que se deslice.

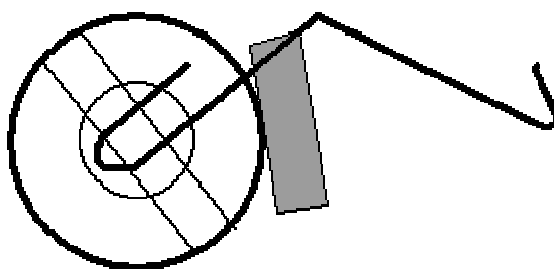
En un extremo, utilice el papel de lija fino para quitar totalmente el aislante del cable. Deje cerca de 1/4 " de aislante en el extremo donde el cable se ha enrollado a la bobina. Para el otro extremo, ponga la bobina plana sobre una superficie y líjelo suavemente sólo por la parte superior para eliminar el aislamiento de sólo la mitad superior del cable. Una vez más deje 1/4 " de aislante completo en el extremo y donde el cable envuelve la bobina.



Doble los dos clips de papel de la siguiente forma (unos alicates planos o de punta pueden ser útiles aquí):

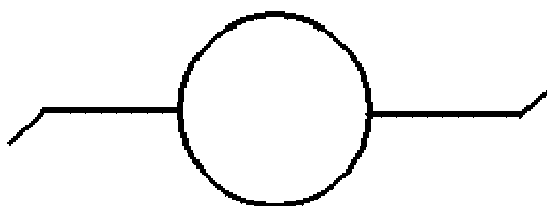


Pegue el imán de cerámica en la cara de la batería según lo mostrado:

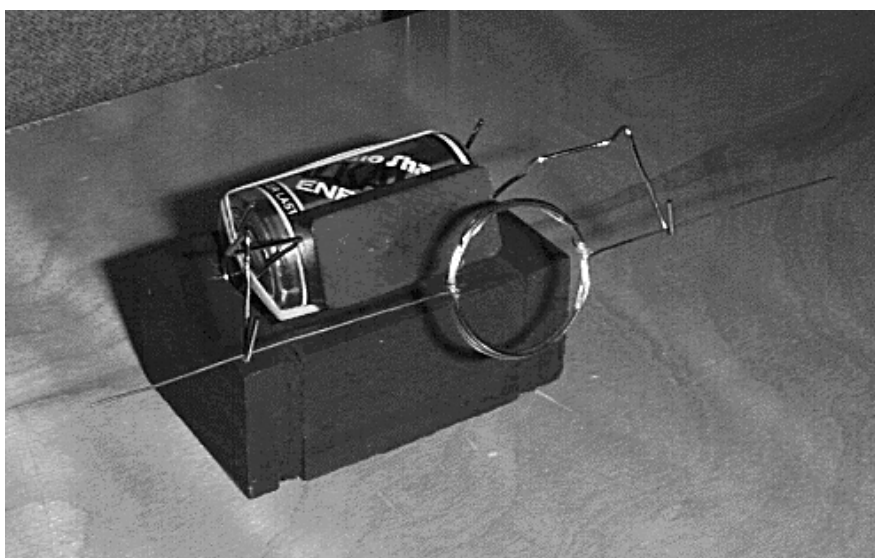


Coloque la bobina en la horquilla formada por los extremos de la derecha de los clips de papel. Es posible que usted deba ayudarlo a empezar a girar pero debe comenzar a girar rápidamente. Si no gira, cerciórese de que ha sido eliminado todo el aislante de los extremos del cable. Si gira irregularmente, cerciórese de que los extremos están centrados en los laterales de la bobina. Observe que el motor está "en fase" solamente cuando se sostiene horizontalmente (según lo mostrado en el gráfico).

Para mostrarlo, usted necesitará probablemente construir una horquilla pequeña para sostener el motor en la posición apropiada. Puede ser que también ayude el doblar los extremos de la bobina un poco, de modo que como se desliza a la derecha o a la izquierda, los dobleces lo mantengan la posición apropiada:



Aquí está un diagrama del motor acabado:



4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Página de Internet de consulta http://fly.hiwaay.net/~palmer/motor_sp.html

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 5

PRÁCTICA No 1.

MOTOR DE FASE DIVIDIDA

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Estudiar la estructura de un motor de fase dividida
- Medir la resistencia de sus devanados
- Entender como se puede crear un campo magnético giratorio a partir de una potencia monofásica

2. Materiales y/o equipos.

- a) .- Motor de fase dividida
- b).- 2 Multímetros
- c).- Cables de conexión
- d).- Fuente de energía (127 Vca)
- e).- 1 desarmador plano
- f).- 2 llaves españolas de 3/16
- g).- 1 Martillo de bola de plástico duro

Desarrollo general.

- 1.- Abra el motor e identifique cada una de sus partes principales
- 2.- Dibuje y anote cada una de sus partes
- 3.- Analice cuidadosamente el interruptor centrífugo y de una breve explicación de su funcionamiento
- 4.- Mida y anote la resistencia de cada devanado

Nota :

El devanado principal del estator tiene muchas vueltas de alambre de diámetro grueso y tiene poca resistencia y elevada reactancia .

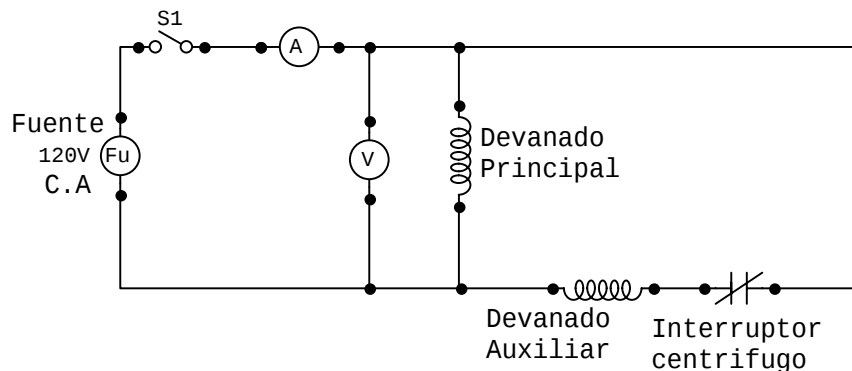
El devanado de arranque de estator se compone de un numero menor de vueltas de alambre de menor diámetro y tiene elevada resistencia y baja reactancia .

5.- Mencione cuantos polos hay, respectivamente en el devanado de operación y en el devanado de arranque.

6.- Por qué debe de diferir el devanado auxiliar del principal en un motor de fase dividida

7.- Conecte el circuito que se ilustra en la siguiente figura.

-
- Cierre el interruptor del circuito y conteste a la siguientes preguntas:
- a).- Cual es el voltaje y corriente que se observan en los dispositivos de medición en el arranque del motor.
- b).- Cual es el voltaje y corriente que se observan en los dispositivos de medición durante la operación normal
- c).- Mencione si son iguales los parámetros de medición y explique su respuesta
- d).- Explique brevemente como se puede invertir la rotación de un motor de fase dividida



e).- Calcular el Par nominal con los datos de placa del motor

f).- Acople una carga al motor (Freno electromagnético)

Utilice y ajuste el freno electromagnético como dispositivo de carga, y obtenga los parámetros que se indican en la tabla, desde par inicial cero hasta plena carga

Anotar en la siguiente tabla los valores correspondientes obtenidos durante la práctica

Par	V .ent	I arranque	Velocidad	I marcha	Pent	Psal
T = 0						
$\frac{1}{4}$ T						
$\frac{3}{4}$ T						
4/4 T						

g).- Calcule la eficiencia del motor para el valor nominal de trabajo

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 5

PRÁCTICA No 2.

EL MOTOR DE FASE DIVIDIDA DE ARRANQUE POR CAPACITOR

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

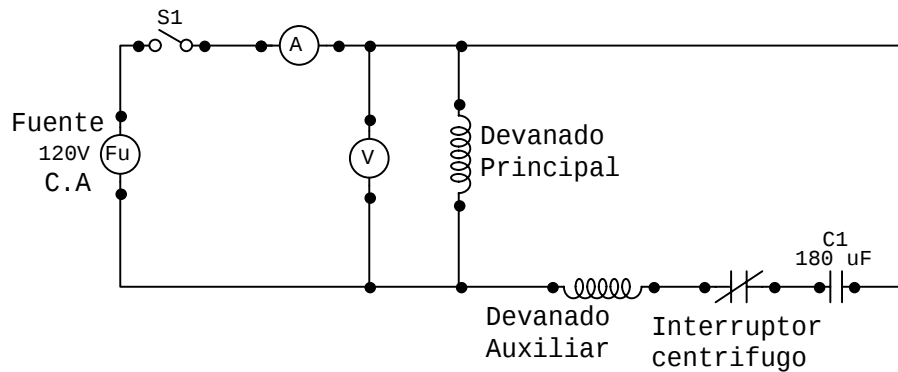
- Medir las características de arranque y funcionamiento del motor con arranque por capacitor
- Comparar su funcionamiento durante el arranque y operación continua con el del motor monofásico de fase dividida

2. Materiales y/o equipos.

- Motor de fase dividida de arranque por capacitor
- 2 Multímetros
- Cables de conexión
- Fuente de energía (127 Vca)
- 1 desarmador plano
- 2 llaves españolas de 3/16
- 1 Martillo de bola de plástico duro

3. Desarrollo general.

a).- Conecte el circuito tal como se ilustra en la siguiente figura:



b).- Calcular el Par nominal con los datos de placa del motor

c).- Acople una carga al motor (Freno electromagnético)

Utilice y ajuste el freno electromagnético como dispositivo de carga, y obtenga los parámetros que se indican en la tabla, desde par inicial cero hasta plena carga

d) Cierre el interruptor del circuito y anote en la siguiente tabla los valores correspondientes obtenidos durante la práctica

Par	V .ent	I arranque	Velocidad	I marcha	Pent	Psal
T = 0						
$\frac{1}{4}$ T						
$\frac{3}{4}$ T						
$\frac{4}{4}$ T						

e).- Cual es el voltaje y corriente que se observan en los dispositivos de medición en el para una carga inicial

f).- Cual es el voltaje y corriente que se observan en los dispositivos de medición durante la operación normal

g).- Compare estos valores con los que se obtuvieron para un motor de fase dividida

h).- Explique brevemente como se puede invertir la rotación de un motor de fase dividida

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 6

PRÁCTICA No. _1_

“OBTENCIÓN DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN”

Fecha		Grupo
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Obtener la corriente de excitación y la potencia en vacío de un motor trifásico de inducción para emplearlos en la obtención del circuito equivalente.
- Obtener el voltaje y la potencia a rotor bloqueado de un motor trifásico de inducción para emplearlos en la obtención del circuito equivalente.
- Obtener la resistencia eléctrica de los devanados de un motor trifásico de inducción para emplearlos en la obtención del circuito equivalente.

2. Materiales y/o equipos.

1 motor de inducción trifásico
Fuente de voltaje variable
1 Amperímetro
1 voltímetro
1 Wattímetro

3. Desarrollo general.

- a) Conecte el multímetro al motor y tome la lectura de resistencia de los devanados del estator, obtenga el promedio y utilícelos como resistencia por fase del estator.
- b) Bloquee el rotor del motor para evitar que gire.
- c) Conecte el amperímetro, el voltímetro y el Wattímetro para tomar las lecturas de corriente, voltaje y potencia.
- d) Partiendo con la fuente de voltaje en cero, comience a aplicar voltaje lentamente, verificando en el amperímetro que la corriente sea aproximadamente la nominal.
- e) Al alcanzar aproximadamente el valor de la corriente nominal registre los valores de voltaje y potencia. Se recomienda que sea lo más rápido posible para evitar daños al motor.
- f) Desconecte el motor y libérela.
- g) Conecte el motor al voltaje nominal marcado en la placa.
- h) Deje funcionando el motor 30 minutos para permitir que los rodamientos alcancen su temperatura de operación.
- i) Una vez transcurridos los 30 minutos tome los valores de corriente de línea, voltaje aplicado y potencia total.
- j) Determine las pérdidas rotacionales, la impedancia en vacío y la reactancia en vacío, la impedancia a rotor bloqueado, la reactancia a rotor bloqueado, la fracción correspondiente a la reactancia del estator, la fracción correspondiente a la reactancia del rotor, la reactancia de magnetización, la resistencia equivalente de las ramas en paralelo del rotor y de magnetización, el valor de la resistencia del rotor.
- k) Elabore el circuito equivalente completo.
- l) Del circuito equivalente obtén lo siguiente: el factor de potencia del motor, La velocidad de sincronía en rpm, la velocidad del rotor, la potencia total transmitida por el estator, la potencia mecánica interna, la potencia a la salida si se considera que las pérdidas totales son las rotacionales, el par de salida.
Determina el valor de la corriente de arranque y el par de arranque.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 7

PRÁCTICA No.1 SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- a).- Conocer diferentes tipos de transformadores a través de manuales de fabricantes
- b).- Implementar un circuito de generación y transmisión de potencia eléctrica, donde se demuestre la utilización del transformador como elemento elevador y reductor en un sistema de transmisión

2. Materiales y/o equipos.

- a) Manuales de fabricantes de transformadores
- b) 1 Generador Modelo DL1026

*Características : 220 Volts de salida, conexión delta
380 Volts de salida , conexión estrella*

- c) 2 Transformadores, modelo DL 2080,

Características : 2 x 190 / 2 x 65 Volts , 2.8 KVA

- d) 1 Multímetro
- e) Cables de conexión

i

3. Desarrollo general.

- a).- Que el alumno investigue y conozca a través de manuales o paginas de Internet, características y tipos de transformadores de aplicación industrial o comercial

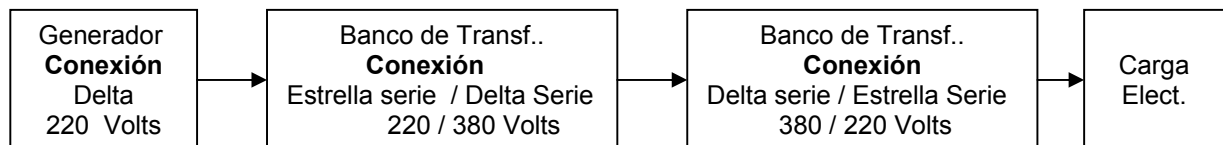


Transformador de potencia



Transformador trifásico interior

- b).- Implemente un circuito de generación y transmisión de energía eléctrica, basándose en el siguiente diagrama a cuadros.



Estrella Serie: $V_L = 2 \times \sqrt{3} \times 65 = 225 \text{ Volts}$

Delta serie : $V_L = 2 \times 190 = 380$

- c).- Realice el esquema eléctrico correspondiente al diagrama de cuadros.
- d).- Realice físicamente el diagrama eléctrico y pídale a su instructor que revise la conexión antes de alimentar el circuito.
- e).- Tome nota de las corrientes y voltajes que se presentan en cada elemento del circuito.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Bibliografía

Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de inducción
Gilberto Enríquez Harper
Editorial : LImusa
Escribir la Edición

Máquinas Eléctricas
Stephen J. Chapra
Editorial Mc Graw Hill
Escribir la Edición

Análisis Introductoria de Circuitos
Robert. L Boylestad
Editorial : Mc Graw - Hill
Escribir la Edición

Paginas de Internet

Máquinas Eléctricas

<http://endrino.cnice.mecd.es/~jhem0027/maquinaselectricas.htm>

Transformadores

<http://zeus.dci.ubiobio.cl/electricidad/transformadores/default.htm>

Máquinas de Inducción

<http://zeus.dci.ubiobio.cl/electricidad/maquinas/paginas/home.html>

Máquinas Eléctricas

http://alek.pucp.edu.pe/cursos/pregrado/iee215/pag_principal/maquinasel.htm