

Plan de contingencia Pedagógica Para 4to Año
Incluye Bibliografía y Ejercicios de Repaso



Instrucciones: Leer el material y luego tratar de resolver las actividades que se proponen.

Ante cualquier duda consultar al siguiente mail: hugowojczys@yahoo.com.ar

7

Máquinas eléctricas de corriente alterna

En la unidad anterior hemos estudiado las máquinas eléctricas rotativas de corriente continua, motores y generadores. Ahora nos ocuparemos de las máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna, que son mucho más utilizadas que las de corriente continua.

Para la producción de energía eléctrica se emplean mayoritariamente los generadores síncronos de corriente alterna o alternadores síncronos. Los motores de corriente alterna y, concretamente, los motores de inducción, son los más utilizados en la industria, tanto en sistemas monofásicos como en sistemas trifásicos.



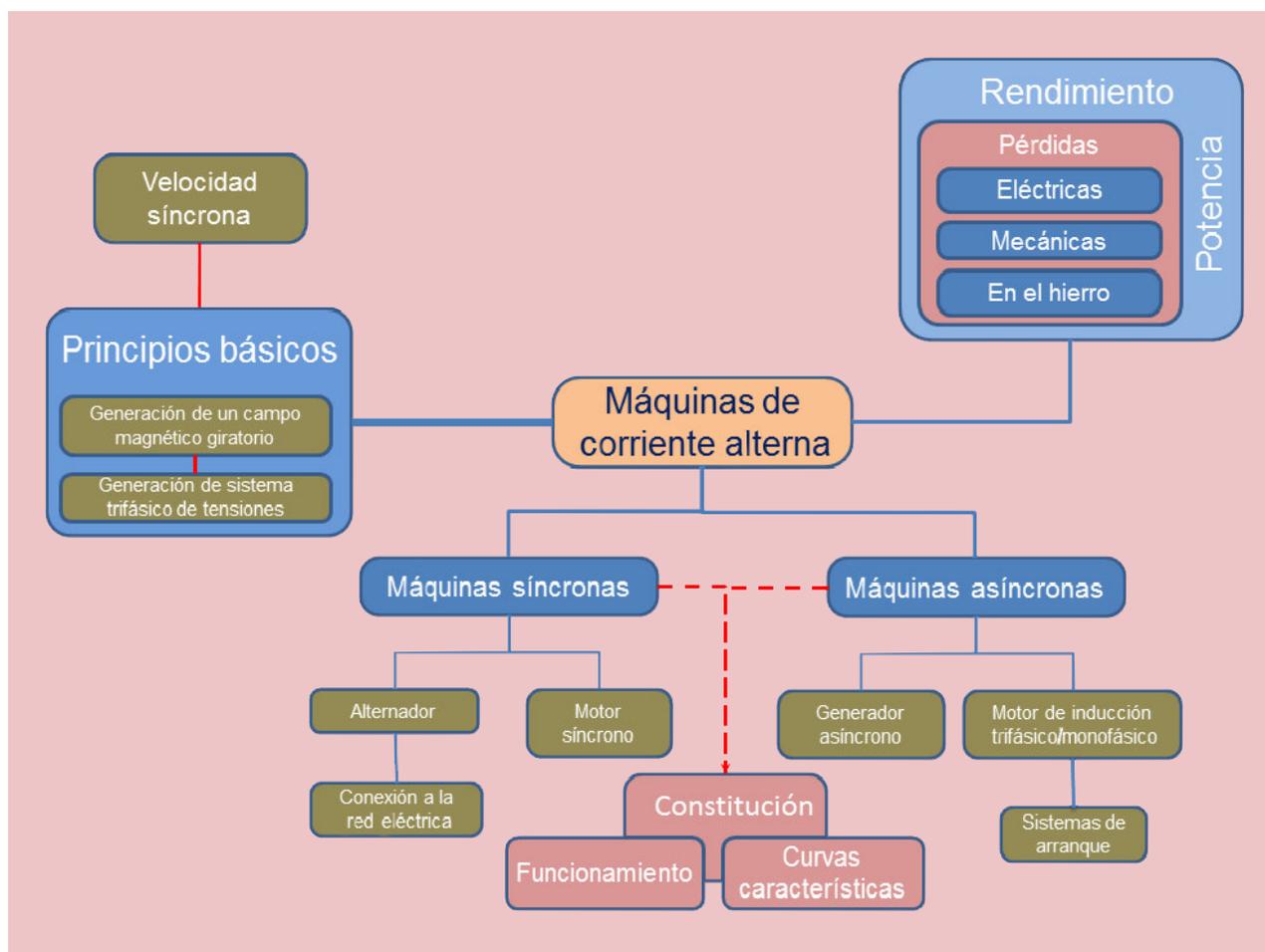
Rotor bobinado con anillos de un motor de inducción. (M.C. M.)

Empezaremos estudiando cómo crear un sistema trifásico de tensiones sinusoidal a partir de un campo magnético giratorio. También estudiaremos cómo generar un campo magnético giratorio a partir de un sistema de corrientes trifásico sinusoidal. Describiremos cómo son y cómo funcionan los generadores síncronos y los motores asíncronos. También veremos las distintas pérdidas de energía que se producen en el interior de una máquina de corriente alterna.

Una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna puede funcionar como motor o como generador, es decir, tiene un funcionamiento reversible. Estudiaremos así cómo conectar un generador síncrono a la red eléctrica y cómo convertir un motor asíncrono en un generador. Nos ocuparemos de cómo conectar un motor eléctrico a la red sin perturbar a las instalaciones vecinas. Estudiaremos las curvas características de los generadores y los motores para comprender mejor su funcionamiento. Y cerraremos la unidad con el estudio de los motores de inducción monofásicos.

Los **objetivos** que nos proponemos alcanzar con el estudio de esta unidad son los siguientes:

1. Conocer cómo obtener un sistema de tensiones trifásico a partir de un campo giratorio, y viceversa.
2. Conocer los elementos principales de un generador síncrono.
3. Describir el funcionamiento de un generador síncrono.
4. Conocer los elementos principales de un motor de inducción.
5. Describir el funcionamiento de un motor de inducción.
6. Interpretar la placa de características de las máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna.
7. Interpretar las curvas características de una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna.
8. Conocer las distintas formas de arrancar un motor de inducción.
9. Conocer las especificidades de los motores de inducción monofásicos.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS ROTATIVAS DE CORRIENTE ALTERNA	196
1.1. Campo giratorio	196
1.2. Velocidad síncrona	199
1.3. Deslizamiento	199
2. CONSTITUCIÓN DE UNA MÁQUINA ROTATIVA DE CORRIENTE ALTERNA	201
2.1. Generador síncrono de corriente alterna o alternador síncrono	201
2.2. Motor asíncrono de corriente alterna o motor de inducción	203
3. POTENCIA Y RENDIMIENTO	205
4. GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA	208
4.1. Tipos de generadores de corriente alterna	208
4.2. Curvas características	210
5. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	212
5.1. Tipos de motores	212
5.2. Placa de características y bornes	214
5.3. Curvas características	216
5.4. Esquemas de conexionado y arranque	216
6. MOTOR DE INDUCCIÓN MONOFÁSICO	220

1. Principios de funcionamiento de las máquinas rotativas de corriente alterna

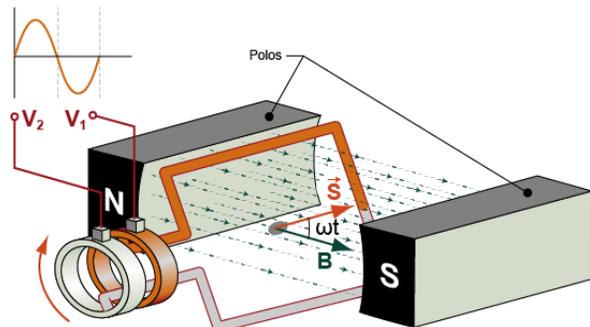
En la **Unidad 2** estudiamos los principios del magnetismo; dos de ellos son especialmente útiles: la inducción electromagnética y la fuerza electromagnética. Por el **principio de inducción** podemos obtener una **f.e.m.** a partir del movimiento relativo entre una espira y un campo magnético, ya sea este producido por un imán permanente o por una bobina recorrida por una corriente eléctrica, es decir, un electroimán. Este es el principio que utilizan los generadores de corriente alterna o alternadores para su funcionamiento.

También sabemos que en una espira conductora inmersa en un campo magnético por la que circula una corriente eléctrica aparece un **par de fuerzas** que tiende a provocar su giro. Este es el principio de funcionamiento de los motores.

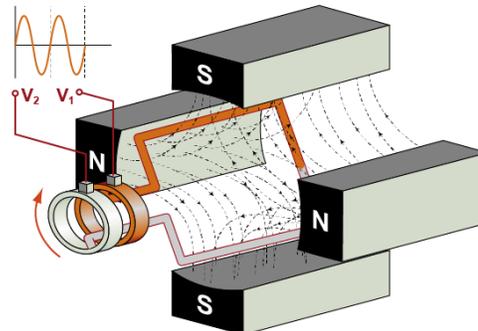
1.1. Campo giratorio

En una espira (ver figura de abajo) que gira entre los polos de un imán a una velocidad angular de ω rad/s se induce una f.e.m. sinusoidal de frecuencia:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$



Espira bajo un par de polos. (C.A.L.)



Espira bajo dos pares de polos. (C.A.L.)

Ahora bien, si aumentamos el número de polos de dos a cuatro, como sucede en la figura de la derecha, la frecuencia de la f.e.m. inducida se duplica con respecto a la situación inicial. En general si se utilizan **p pares** de polos la frecuencia en hercios de la señal generada es:

$$f = \frac{p \cdot \omega}{2\pi}$$

Esta fórmula se acostumbra a expresar en función de la velocidad de giro, n dada en r.p.m. (revoluciones por minuto):

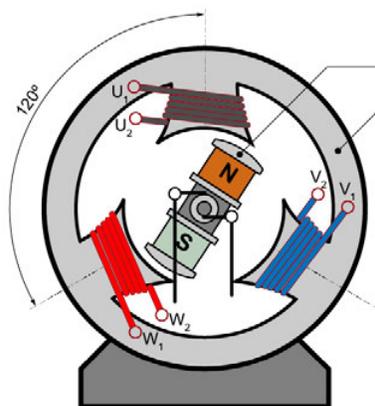
$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

De las expresiones anteriores se deduce que la frecuencia de una corriente alterna depende directamente del número de pares de polos del alternador y de su velocidad de rotación. Una consecuencia inmediata es la posibilidad de generar frecuencias más elevadas con la misma velocidad de rotación solo con aumentar el número de polos o generar la misma frecuencia a velocidades de rotación inferiores. Debemos recordar que los polos magnéticos siempre son pares por lo que las relaciones entre frecuencia y número de polos, para una misma velocidad de rotación, siempre seguirán una relación de 2, como puedes observar en las figuras anteriores.

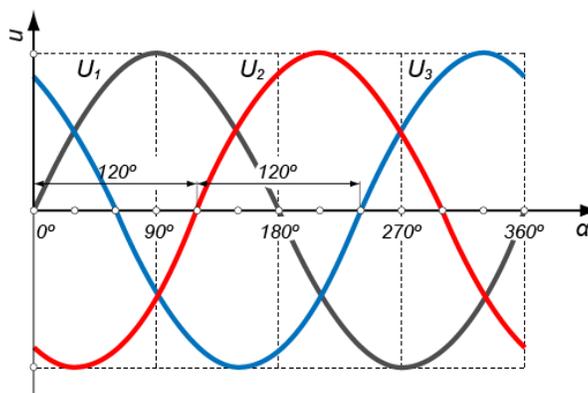
La generación de un ciclo de corriente alterna completo se produce cuando una espira realiza una rotación magnética completa. En el caso de una máquina con 2 polos, como en la anterior figura de la izquierda, eso equivale a un giro de 360° (o 2π radianes), sin embargo, si la máquina tiene más de 2 polos el ciclo de corriente se generará cada vez que la espira pasa sucesivamente ante 2 polos (un ciclo N-S). En el caso de la máquina de la figura de la derecha, con 4 polos ($p = 2$) cada revolución mecánica (360° o 2π radianes) se generan 2 ciclos de corriente, es decir, que la onda eléctrica, su fasor asociado, ha rotado 720° o 4π radianes. Aparecen así dos formas de medir la rotación de una espira en un generador, los **grados mecánicos** (rotación real) y los **grados eléctricos** (rotación del fasor asociado a la f.e.m. generada). La relación entre ambos giros es la siguiente:

$$\text{grados eléctricos} = p \cdot \text{grados mecánicos}$$

En la figura siguiente utilizamos tres bobinas que forman 120° entre sí, (U_1-U_2 , V_1-V_2 y W_1-W_2), obtenemos un sistema de bobinas trifásico capaz de generar tres f.e.m. desfasadas entre sí 120° .



Generador síncrono. (C.A.L.)



Tensiones trifásicas. (C.A.L.)

Por el principio de inducción electromagnética de Faraday sabemos que la f.e.m. se puede generar moviendo la espira o moviendo el campo magnético. Esta segunda opción es la más utilizada en la generación de corriente alterna y es la mostrada en la figura, que corresponde a un generador síncrono trifásico de 2 polos ($p = 1$).

En el centro de la máquina tenemos una bobina alimentada con corriente continua que crea un campo magnético constante. Esta bobina está situada en el rotor y se la llama **devanado inductor**.

Al girar el rotor a una velocidad fija se induce en los extremos de cada bobina una tensión sinusoidal. Las tensiones inducidas están desfasadas entre sí 120° eléctricos, por lo que hemos obtenido así un sistema trifásico de f.e.m.

La frecuencia de las tensiones inducidas en las bobinas es, como se ha dicho antes:

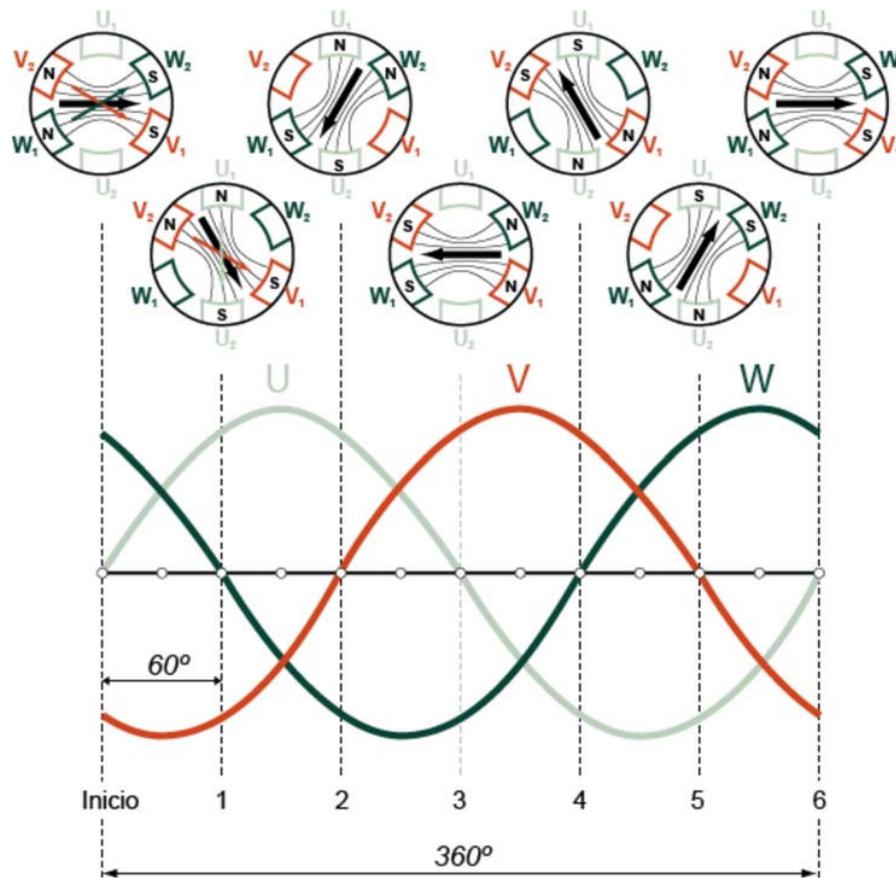
$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

En la siguiente tabla tenemos, para una frecuencia fija de 50 Hz, la velocidad de giro en r.p.m. según el número de pares de polos de la máquina.

Nº pares de polos (p)	Velocidad de giro en r.p.m. (n)
1	3 000
2	1 500
3	1 000
4	750

Generación de un campo magnético giratorio en un motor trifásico

En la figura siguiente, parte superior, tenemos un sistema de devanados trifásico formado por las bobinas de extremos U1-U2, V1-V2 y W1-W2, las bobinas forman entre sí 120°. Cada una de estas bobinas es alimentada por una corriente alterna, así la bobina U1-U2 es alimentada por la corriente señalada con U en la parte inferior de la imagen, la bobina V1-V2 es alimentada por la corriente señalada con V y la bobina W1-W2 es alimentada por la corriente señalada con W. Las corrientes que alimentan a las bobinas también están desfasadas entre sí 120°, forman un sistema trifásico equilibrado de intensidades.



Espira bajo un par de polos. (C.A.L.)

Si en la figura escogemos un punto característico en las intensidades que recorren las bobinas como el punto "Inicio", obtenemos que la intensidad en la fase U es nula ($U = 0$), la intensidad en la fase W es positiva ($W > 0$) y la intensidad en la fase V es negativa ($V < 0$) y además se cumple que las amplitudes de las fases V y W son opuestas ($W = -V$).

La intensidad de la fase U es nula y no crea ningún campo magnético, por lo que no aparece señalado en la parte superior de la figura. La intensidad de la fase V crea un campo magnético con el norte en el extremo W1 y el sur en el extremo W2, tal como aparece señalado en la parte superior de la figura. La intensidad de la fase V, que es negativa crea un campo magnético con un norte en el extremo V2 y un sur en el extremo V1. Si ahora sumamos vectorialmente la contribución de ambos campos magnéticos obtenemos el campo resultante marcado en grueso y señalando hacia la derecha en la figura.

Estudiamos ahora lo que ocurre en el punto señalado con "1", obtenemos que la intensidad en la fase W es nula ($W = 0$), la intensidad en la fase U es positiva ($U > 0$) y la intensidad en la fase V es negativa ($V < 0$) y además se cumple que las amplitudes de las fases U y V son opuestas ($U = -V$).

La intensidad de la fase W es nula y no crea ningún campo magnético, por lo que no aparece señalado en la parte superior de la figura, correspondiente a la posición "1". La intensidad de la fase U crea un campo magnético con el norte en el extremo U1 y el sur en el extremo U2. La intensidad de la fase V, que es negativa, crea un campo magnético con un norte en el extremo V2 y un sur en el extremo V1. Si ahora sumamos vectorialmente la contribución de ambos campos, obtenemos el campo resultante marcado en grueso en la figura, el campo ha girado su posición 60° con respecto a la posición anterior.

Si repetimos el análisis con el resto de posiciones observamos cómo la combinación de los campos magnéticos de cada una de las espiras crea un campo magnético neto que es giratorio.

1.2. Velocidad síncrona

En el apartado anterior obtuvimos un campo magnético giratorio de intensidad constante que gira a una determinada velocidad; a la velocidad a la que gira se le llama **velocidad síncrona** o **velocidad de sincronismo** y su valor expresado en r.p.m. se obtiene despejando n de la fórmula de la frecuencia:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Donde tenemos:

f : es la frecuencia de la corriente alterna que alimenta a la máquina en Hz.

p : es el número de pares de polos que tiene el **sistema inductor** de la máquina.

En la gráfica del apartado anterior, en la posición "Inicio" el polo norte del campo magnético está sobre los extremos de las bobinas W1-V2. En la siguiente posición, la indicada por 1, el polo norte del campo magnético está ahora sobre los extremos de las bobinas U1-W2; si vas analizando el resto de posiciones podemos darnos cuenta de que los polos de la máquina no permanecen fijos como en las máquinas de corriente continua, sino que van girando, pero sin necesidad de moverlos mecánicamente. La velocidad a la que giran es la **velocidad de sincronismo**.

A las máquinas cuyo rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético giratorio se les llaman **máquinas síncronas**. A las que giran a una velocidad distinta se les llaman **máquinas asíncronas**.

1.3. Deslizamiento

En las máquinas asíncronas el rotor no gira a la velocidad de sincronismo, a esa diferencia de velocidades se le llama **deslizamiento absoluto**, D . Si n es la velocidad a la que gira el rotor y n_s es la velocidad de sincronismo, el deslizamiento absoluto es:

$$D = n_s - n$$

Se acostumbra a utilizar el deslizamiento relativo, s y expresarlo en %:

$$s(\%) = \frac{n_s - n}{n_s} 100$$



Ejemplo

1. ¿A qué velocidad, medida en r.p.m., debe girar un alternador síncrono de 8 polos si se desea que la f.e.m. generada tenga una frecuencia de 60 Hz?

Solución:

El número de pares de polos es: $p = 8/2 = 4$.

Aplicando la expresión de la velocidad síncrona obtenemos la velocidad de giro, que es:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{60 \cdot 60}{4} = 900 \text{ r.p.m.}$$



Actividades

1. Disponemos de un motor asíncrono de corriente alterna cuya velocidad síncrona cuando se conecta a una red de 50 Hz es de 1000 r.p.m. En estas condiciones, su deslizamiento es del 5%. Calcula:
 - a) La velocidad a la que gira el motor.
 - b) El número de polos del bobinado.
2. ¿Cuál es la velocidad de sincronismo de un motor eléctrico de 4 polos si se conecta a una fuente de tensión de 400 Hz?



Recuerda

- ✓ Mediante un sistema trifásico de tensiones y tres bobinados convenientemente situados es posible obtener un **campo magnético giratorio**, base de los motores trifásicos de corriente alterna.
- ✓ A partir de un campo magnético giratorio y tres bobinados convenientemente situados, es posible obtener un **sistema trifásico de tensiones**, principio de funcionamiento de los alternadores trifásicos.
- ✓ Las máquinas rotativas de corriente alterna que funcionan a la velocidad de sincronismo (velocidad a la que giran los polos) son las **máquinas síncronas** y las que no funcionan a la velocidad de sincronismo son las **máquinas asíncronas**.
- ✓ La velocidad de **sincronismo** viene dada por la siguiente expresión: $n_s = \frac{f \cdot 60}{p}$
- ✓ El **deslizamiento**, s , de una máquina rotativa de corriente alterna, se mide en porcentaje e indica cuánto se aleja su velocidad de rotación de la velocidad de sincronismo.