

### **3.- EXPERIENCIAS DE MAQUINAS ELECTRICAS**

#### **3.2.- EXPERIENCIA N°4: MAQUINA DE INDUCCION**

##### **A.- INTRODUCCION**

El motor de inducción trifásico es, por un considerable margen, el motor de C.A. más ampliamente utilizado. Su construcción es simple y requiere poca mantención. El motor con rotor del tipo “jaula de ardilla” conectado directamente a la red es generalmente el elegido cuando se requiere velocidad sustancialmente constante. No obstante, la electrónica de potencia permite hoy día disponer de fuentes de tensión de magnitud y frecuencia ajustables, lográndose así un fácil control de velocidad de motores de jaula, cubriendo campos de aplicación que antes eran propios de los motores de CC. Motores de doble jaula, barras profundas, etc., permiten en el diseño, obtener buenas características en el torque de partida aprovechando el alto valor de resistencia en la partida y a su vez un bajo valor en funcionamiento normal de la máquina. El motor de rotor bobinado se usa cuando las condiciones de partida resultan severas, adicionando resistencias en serie con los enrollados del rotor, para lo cual dicha máquina debe disponer de anillos rozantes. No obstante, también este tipo de motores están siendo reemplazados por motores de jaula de ardilla controlados electrónicamente.

Por otra parte, la máquina conectada a la red y movida por una máquina motriz a velocidad mayor que la síncrona, entrega potencia a la red, comportándose como generador de inducción.

Los objetivos más importantes de esta experiencia son:

- 1) Conocimiento de las características constructivas y de la disposición de los distintos elementos de la máquina.
- 2) Destacar las características no eléctricas de la máquina, como son las mecánicas, las térmicas y las aplicaciones de la máquina.
- 3) Conocimiento práctico de la máquina de inducción y dominio de la operación de máquinas de inducción de jaula de ardilla y de rotor bobinado.
- 4) Verificación de la teoría, validez y limitaciones de los modelos estudiados y de las relaciones de ellos obtenidas.
- 5) Conocimiento de las curvas características de la máquina de inducción, operando como motor y como generador.
- 6) Introducir al alumno en el conocimiento de los valores y rangos típicos, relacionados con máquinas de inducción.
- 7) Dominio de los distintos sistemas de partida de motores de inducción y de sus conexiones.
- 8) Conocimiento de los sistemas de control, de velocidad y/o torque, en particular control electrónico.

En el laboratorio se ensayarán métodos de partida, se harán pruebas para determinar los parámetros del circuito equivalente y se obtendrán las características de funcionamiento típicas del motor de inducción trifásico. La carga mecánica se simulará con un generador de C.C. alimentando una resistencia variable. Adicionalmente, se experimentará el control de velocidad de un motor de jaula de ardilla, mediante un variador electrónico de frecuencia.

Antes de describir el trabajo de laboratorio propiamente tal, se indican los aspectos fundamentales del control electrónico de velocidad de motores de inducción trifásicos.

## **B.- CONTROL ELECTRONICO DE VELOCIDAD**

La velocidad de un motor de inducción trifásico está dada por:

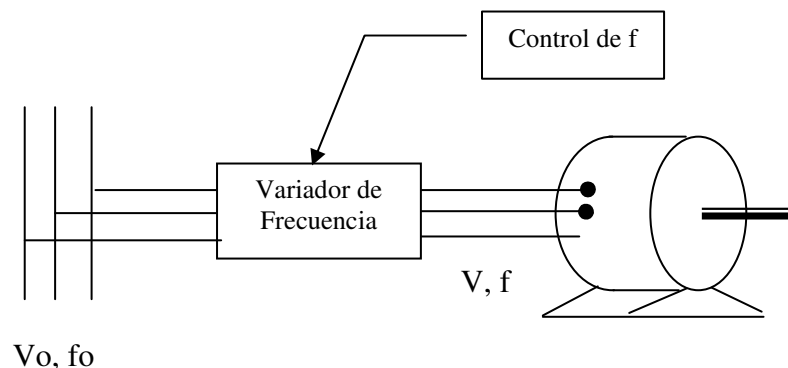
$$n_r = (1 - s) n_s \text{ [rpm]}$$

donde  $s$  es el deslizamiento (el que vale aproximadamente cero si el motor está en vacío, sin carga mecánica) y  $n_s$  es la velocidad sincrónica o del campo magnético rotatorio, dada por:

$$n_s = (120 f / p) \text{ [rpm]}$$

Así, es posible controlar la velocidad del motor si se alimenta con un voltaje de frecuencia  $f$  controlable. Esto puede lograrse con un equipo electrónico denominado “variador de frecuencia”, el que se alimenta desde la red de frecuencia fija  $f_0$  ( $= 50 \text{ Hz}$ ) y entrega en su salida un voltaje trifásico de frecuencia  $f$  controlable, con el que se alimenta el motor.

El variador se comporta de manera tal, que cuando se ajusta a una frecuencia  $f$ , automáticamente modifica la magnitud del voltaje de salida de manera que  $V/f = \text{constante}$  (para que así no se sature el núcleo), es decir,  $V = (V_0 / f_0) f$ .



## **C.- TRABAJO DE LABORATORIO**

- 1.- Identifique todos los elementos de la máquina. Estudie las características de placa, conexiones y tipo de rotor del motor a ensayar. Identifique las bobinas y la designación de sus bornes.
- 2.- Experimente el método de partida Y/ $\Delta$  y/o agregando resistencias al rotor (si la máquina fuera de rotor bobinado), con el motor en vacío. Mida la corriente de partida (peak) y la de régimen permanente (rms).
- 3.- Efectúe las pruebas necesarias para obtener los parámetros del circuito equivalente de la máquina de inducción.
- 4.- Obtenga la característica con carga de la máquina de inducción, operando como motor. Mida potencia, tensiones, corrientes y velocidad, para diversas condiciones de carga en el eje del motor.
- 5.- Haga trabajar la máquina de inducción como generador conectado a la red. Obtenga la velocidad requerida controlando adecuadamente la máquina impulsora (motor de CC). Determine la característica potencia generada vs. deslizamiento.
- 6.- Desconecte bruscamente el generador de inducción de la red y déjelo alimentando una pequeña carga. Observe las características de régimen permanente.
- 7.- Incorpore un variador electrónico de frecuencia entre la red y el motor (sin carga). Observe cómo varía la velocidad de operación al modificarse la frecuencia.
  - Anote los valores de placa del motor.
  - Para diferentes valores de  $f$  (10, 20, 30, 40, 50 Hz), mida  $V$  (voltaje de salida del variador),  $f$ , potencia, corriente de línea y velocidad del eje del motor.
  - Observe la forma de onda del voltaje y/o de la corriente que entrega el variador. Notar que no es sinusoidal.

## **ADVERTENCIAS:**

- Cuidado con las partes rotatorias.
- En C.5, antes de trabajar como generador conectado a la red, verificar por separado que ambas máquinas tengan el mismo sentido de giro.
- En C.5, procurar mantener la velocidad lo más constante posible, ya que aún con pequeñas reducciones de velocidad la máquina puede pasar de generador a motor de inducción.

**D.- ASPECTOS PARTICULARES A CONSIDERAR EN EL INFORME FINAL**

- 1) Informe de lo observado en C.1 e indique los valores nominales de la máquina.
- 2) Informe de los métodos de partida experimentados e indique cual fue el adoptado. Explique brevemente los criterios de su elección.
- 3) Informe sobre las pruebas realizadas en C.3, y los valores obtenidos para los parámetros.
- 4) Informe de C.4. Grafique el torque, la corriente del estator, el factor de potencia y el rendimiento como funciones del deslizamiento (o de la velocidad de giro). Compare con curvas predichas por el circuito equivalente. Proponga una forma alternativa de calcular los parámetros del circuito equivalente a partir de los resultados. Aproveche también los datos de placa. Comente.
- 5) Informe de C.5 y C.6. Comente acerca de la potencia reactiva y su variación al modificar la potencia activa. Comente la aplicación de la máquina de inducción como generador.
- 6) Informe de C.7. Haga un análisis de datos del Control Electrónico de velocidad:
  - i) Calcule toda la información nominal que permitan los datos de placa ( $N^\circ$  de polos, velocidad sincrónica, deslizamiento, rendimiento, etc.).
  - ii) Considerando que el motor en vacío puede representarse aproximadamente por una reactancia  $X_L = 2\pi fL$ , calcule  $L$  para condición nominal (220V, 50 Hz). Con este valor evalúe teóricamente la corriente  $I$  para las distintas frecuencias y compare con los valores experimentales de  $I$ .
  - iii) Evalúe las velocidades de operación esperadas para las diferentes frecuencias y compárelas con las velocidades medidas.
  - iv) Discuta las diferencias entre valores teóricos y experimentales encontrados en (ii) e (iii).
  - v) Comente las ventajas y desventajas de este control de velocidad. Averigüe en particular los efectos nocivos que tendría el hecho que la alimentación del motor no sea sinusoidal.

## **E.- BIBLIOGRAFIA**

- 1.- M. Liwshitz-Garik y C.C. Whipple.  
“Máquinas de Corriente Alterna”, Compañía Editorial Continental, S.A., México, 1971.
- 2.- G. Thaler y M. Wilcox.  
“Máquinas Eléctricas”, Limusa-Wiley, 1969.
- 3.- M. Kostenko y L. Piotrovsky.  
“Máquinas Eléctricas”. Tomo II, Montaner y Simon, 1968.
- 4.- A. Fitzgerald y C. Kingsley, J.C.  
“Electric Machinery”. 2<sup>nd</sup> Ed., Mc Graw-Hill, 1961.
- 5.- A. Langsdorf.  
“Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna”, Mc Graw Hill, 1971.
- 6.- “Máquinas Eléctricas”, Publicación C/5, Depto. de Ingeniería Eléctrica, U. de Chile, 1983. (Parte “Máquinas de inducción Trifásicas”).