



INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



Taller de Máquinas Eléctricas

Práctica: Motor de inducción
Instructivo

Índice



Ante este símbolo: leer con atención, situación potencialmente peligrosa.



Ante este símbolo: operar con atención, riesgo de choque eléctrico.

1. Objetivos de la práctica

1. Determinar el modelo monofásico estrella equivalente de régimen permanente de un motor de inducción (MI) trifásico.
2. Estudiar el desempeño del motor de inducción operando en condiciones de régimen.
3. Determinar el rendimiento del motor en varios puntos de operación.
4. Estudiar el efecto producido en el motor a causa del desbalance en las tensiones de alimentación.

2. Descripción del sistema físico

2.1. Generalidades

Las máquinas a ser utilizadas en esta práctica serán: el motor de inducción el cual será ensayado y una generatriz dinamo métrica que será utilizada exclusivamente para realizar ensayos en carga, en conjunto con un banco monofásico de resistencias variables.

La figura ?? expone un diagrama simplificado de dicho sistema físico.

Los estudiantes deberán coordinar con el cuerpo docente una instancia de relevamiento de las máquinas y de los dispositivos de comando, protección y medida disponibles en el laboratorio, con el objetivo de realizar un diagrama de conexionado completo del sistema y los cálculos pertinentes previos a la realización de la práctica.

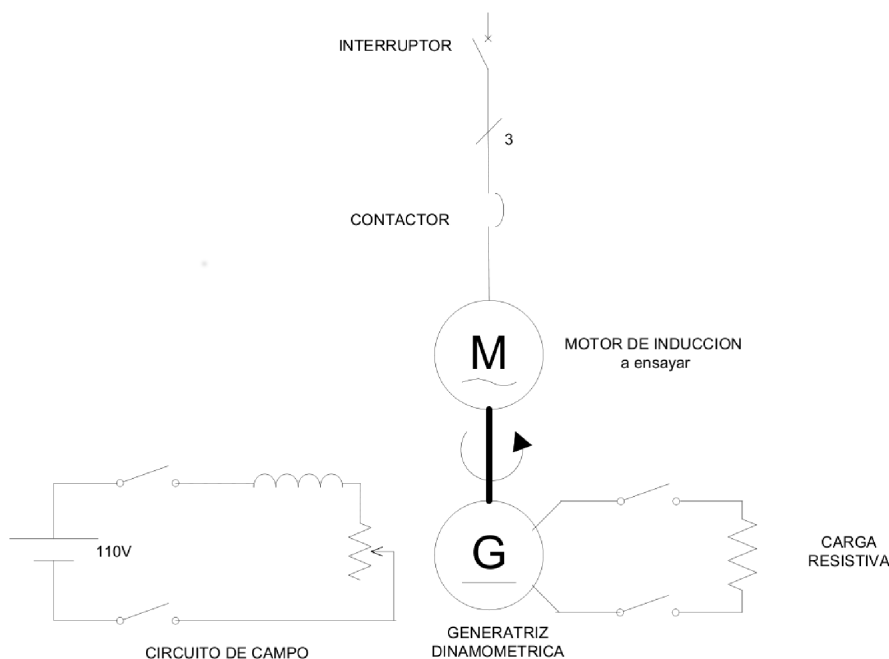


Figura 1: Diagrama simplificado del sistema.

2.2. Motor de inducción

Se realizarán los ensayos descritos en los objetivos sobre un motor de inducción de 4HP de rotor de jaula, con seis bornes accesibles.

La máquina estará protegida por un guardamotor magnetotérmico y será accionado por un contactor tripolar con sus pulsadores asociados.

2.3. Generatriz dinamométrica

Para la realización de los ensayos en carga, se utilizará como carga del motor una generatriz dinamométrica que alimentará a su vez a un banco de resistencias variables. Se alimentará el bobinado de campo de esta máquina a partir de una fuente DC variable (ver Anexo ??) a efectos de poder variar la corriente de excitación, y por tanto la tensión inducida.

Por más detalles de la generatriz consultar el Anexo ??.

2.4. Instrumentos de medición

2.4.1. Medición en corriente alterna

La medida de potencia eléctrica será realizada mediante un analizador de redes CVMK2. La medición de tensión se realizará en forma directa, en tanto que la medición de corriente se realizará en forma indirecta (mediante la utilización de transformadores de corriente de relación 25/5).

Paralelamente, se utilizarán voltímetros y amperímetros AC montados sobre riel DIN.

2.4.2. Medición en corriente continua

Se utilizarán voltímetros y amperímetros aptos para la medición en continua, montados sobre riel DIN e instrumental del panel móvil que contiene la fuente DC variable.

2.4.3. Medida de velocidad de rotación

Se utilizará un tacómetro láser para la medida de la velocidad de rotación del motor.

2.5. Aterramiento y protección contra contactos directos



En general para todos los equipos involucrados, se deberá verificar la **existencia de puesta a tierra** mediante chicotes adecuados de todas las masas accesibles que pudieran quedar sometidas a tensión.



En los casos en que existan partes con tensión accesibles (bornes, cuchillas, etc), identificar la ubicación de las mismas, en lo posible ubicar barreras de protección (por ejemplo ver ubicación favorable de equipos para impedir contactos accidentales) y siempre operar con precaución mientras exista tensión.

3. Ensayos a realizar

3.1. Determinación del modelo monofásico estrella equivalente de régimen permanente

A efectos de la determinación del modelo monofásico estrella equivalente de régimen permanente del motor de inducción se deberán realizar los siguientes ensayos:

- Ensayo de vacío.
- Ensayo de rotor bloqueado.
- Medición de resistencia estática.

La medición de la resistencia estática se realizará mediante el método volt-amperimétrico, utilizando la fuente DC variable disponible.

El ensayo de vacío se realizará con la generatriz dinamométrica acoplada al eje del motor de inducción, por lo cual para la determinación del modelo se despreciarán las pérdidas mecánicas asociadas a la generatriz.

El ensayo de rotor bloqueado debe realizarse enclavando el rotor y partiendo de una tensión reducida hasta llegar a la corriente nominal del motor. Para este ensayo será necesaria la utilización del regulador de inducción disponible en el laboratorio para regular la tensión con la cual se alimenta a la máquina de inducción, cuyo principio de funcionamiento aparece en el Anexo ??.



Verificar que al comenzar el ensayo de rotor bloqueado se alimente el MI con el regulador de inducción con tensión de salida nula.

Para todos estos ensayos se deberá asegurar que la excitación de la generatriz esté inhibida.

3.2. Ensayo en carga - determinación de rendimiento de la máquina

Se realizará la medida del rendimiento de la máquina en varios puntos de operación (50 %, 75 % y 100 % de carga aproximadamente). Para ello se deberá determinar los distintos pesos a agregar a los brazos de la generatriz dinamométrica (descrita en Anexo ??) para poder relevar los puntos de la curva de par-velocidad indicados anteriormente.



Tener en cuenta que en este ensayo la resistencia de carga llegará a disipar potencias del orden de la nominal del MI y su temperatura puede ser elevada.



Tener en cuenta qué sucederá con la carcasa de la generatriz y las pesas en caso de interrumpirse súbitamente la corriente de campo o de armadura.

3.3. Ensayo en régimen desbalanceado

Se alimentará el motor con un sistema de tensiones balanceado, generado por el regulador de inducción. Se cargará el motor y se medirá el par en la dinamométrica utilizando pesas de masa adecuada. Se aplicará un desbalance en la alimentación por medio de la inserción en serie de una resistencia de valor y potencia adecuada. En estas condiciones se medirá la variación de velocidad resultante con respecto al caso base manteniendo el mismo par entregado en el eje. Se medirán también los fasores del sistema de tensiones antes y después de aplicar el desbalance para calcular las componentes simétricas del mismo.

4. Documentación a entregar

El preinforme y el informe deberán contener la información que se solicita, la cual deberá ser presentada de acuerdo a la estructura que se detalla a continuación.

4.1. Preinforme

1. Representación de la máquina de inducción de jaula en el modelo estrella monofásico equivalente, explicando el significado físico de cada uno de los parámetros del mismo.
2. Descripción detallada de los ensayos a realizar, a efectos de determinar los parámetros del modelo monofásico equivalente de régimen permanente.
3. Explicar los métodos para el arranque de máquinas de inducción de rotor de jaula conocidos, indicando ventajas y desventajas de cada uno de ellos: arranque directo, estrella-triángulo, auto-transformador, resistencias estatóricas, variador de frecuencia, arrancador suave.
4. Analizar el efecto en el motor de inducción del desbalance en la tensión de alimentación.
5. Determinar los distintos puntos de operación de la generatriz dinamométrica (masa a colocar en la balanza y resistencia de carga) a efectos de poder realizar el ensayo de rendimiento del motor de inducción. Detallar cuáles son las hipótesis realizadas para realizar el cálculo.
6. Elaborar el esquema de conexión completo (bifilar para continua, trifilar para alterna) para cada ensayo donde figuren: máquinas, instrumentos, reóstatos, elementos de corte, nombrando los bornes de cada uno de los elementos mencionados. Recordar que los cables conectan bornes de distintos elementos. Tener en cuenta los puntos donde es conveniente o necesario tener dispositivos de corte o protección, en todos los casos los mismos serán tripolares (para circuitos trifásicos) o bipolares (circuitos monofásicos o de continua).
7. Definir los rangos de operación de todos los instrumentos y de los reóstatos utilizados junto con los cálculos e hipótesis que justifican su elección.
8. Elaborar tablas o planillas para cada ensayo, donde figuren claramente los datos a relevar.

4.2. Informe

1. Determinar los valores numéricos de los parámetros del modelo estrella equivalente del motor a partir de los ensayos realizados en el laboratorio. Se debe calcular los parámetros del modelo en régimen permanente exacto del motor de inducción (modelo en T), no se admite el cálculo del modelo aproximado (rama de vacío a tensión constante). Suponga para este cálculo $X_1 = X_2$.
2. Graficar la potencia y par del motor en función de la velocidad (r.p.m.) de la misma, indicando puntos notables. Indicar el rango de velocidad en el cual el modelo de pequeños deslizamientos tiene un error relativo menor al 10 % respecto al modelo completo. Graficar las curvas del modelo de pequeño deslizamiento en conjunto con las respectivas curvas del modelo completo.
3. Graficar rendimiento y factor de potencia en función del % de carga (% de carga en el punto ensayado: P_{mec}/P_{nom}), para los puntos ensayados.
4. Para el ensayo en régimen desbalanceado, calcular las componentes simétricas del sistema de tensiones antes y después de aplicar el desbalance y analizar lo observado en cuanto a la variación del punto de operación del motor.

A. Anexo: Generatriz Dinamométrica

La generatriz dinamométrica se utilizará para establecer y medir el par que la máquina de inducción está entregando en el eje, y de esa forma, fijar el punto de funcionamiento del motor a lo largo de todo el ensayo en carga. La generatriz es una máquina de corriente continua de excitación independiente que oficiará como generador a efectos de la realización de la práctica, con una carcasa móvil a la cual están soldados dos brazos de balanza, y siendo el motor a ensayar su máquina motriz.

La carcasa de la generatriz no se encuentra fijada a la base de la máquina, por lo tanto gira al estar en movimiento el eje, pero limitada por topes. Esto implica que el par entregado en el eje por el motor de inducción es, en régimen, igual y opuesto al par al cual se somete a la balanza, y es posible contrarrestar este par mediante el agregado de pesas al brazo de la balanza que corresponda.

Dado que en el ensayo de carga se desea que el motor entregue un valor determinado de potencia en el eje durante mientras se toman las medidas pertinentes, se debe establecer en primer lugar qué peso agregar al brazo de la balanza de forma de detectar mediante el establecimiento del equilibrio de la balanza que el motor entregue la potencia nominal en el eje (lo cual se debe calcular en el preinforme) y en qué punto debe operar la generatriz (determinando la carga resistiva que corresponda de forma tal que el motor de inducción entregue la potencia nominal en el eje). Dado que no se conoce la reacción del inducido de la máquina y que además, el banco de resistencias de carga es variable a pasos discretos, se debe calcular inicialmente cuál es la carga que debe tener la generatriz, pero al mismo tiempo, ajustar en forma fina el punto de operación durante la práctica, mediante la variación de la corriente de campo de la máquina.

Es conveniente estimar del mismo modo valores de peso a colocar en la balanza para el resto de los puntos intermedios (entre punto nominal y vacío), así como las correspondientes resistencias de carga de la generatriz.

Bornes de la generatriz dinamométrica:

- Circuito de campo: $C - D$.
- Circuito de inducido: $A - BH$.



Verificar la polaridad de la tensión inducida de forma de interrumpir rápidamente la excitación en caso de que la misma se conecte invertida al voltímetro.

Longitud del brazo de la generatriz dinamométrica (desde el centro del eje al punto donde se colocan las pesas): 35.8cm

B. Anexo: Regulador de Inducción

El regulador de inducción trifásico es un transformador cuyos secundarios se conectan en serie y los primarios en paralelo, sobre los conductores de una red para variar la tensión de una línea, compensando de esta manera la caída de tensión con la carga en los circuitos de alimentación.

Su ventaja principal sobre otros procedimientos de regulación es que la variación de tensión es continua y se obtiene sin interrupción de los circuitos eléctricos, por lo tanto, sin producir arcos y sin contactos expuestos a desgastes o deterioro.

El regulador de inducción trifásico está constituido por un motor trifásico de inducción al cual se impide que gire mediante un bloqueo mecánico.

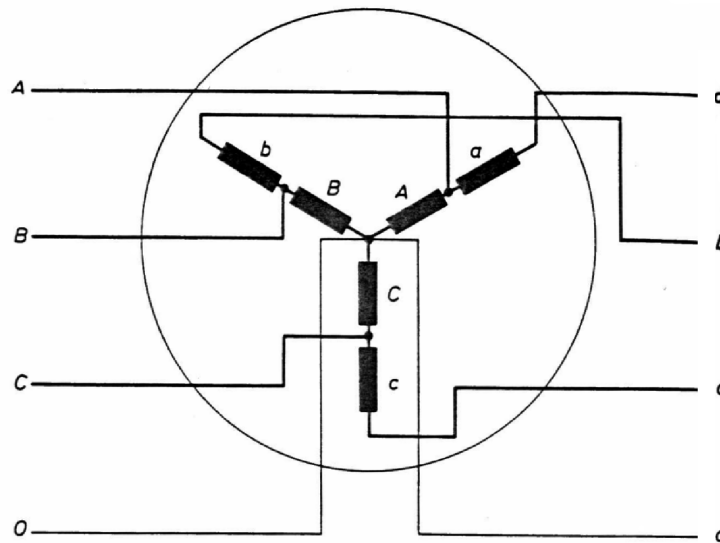


Figura 2: Diagrama de conexionado interno del regulador de inducción.

Los arrollamientos A, B, C del primario o estator, se conectan en estrella a los terminales A, B, C de la línea; los arrollamientos a, b, c del secundario o rotor se conectan en serie con los terminales secundarios de la línea a, b, c .

Las corrientes que circulan por los arrollamientos del estator crean un campo magnético giratorio de amplitud constante en el entrehierro, el cual induce en los arrollamientos del rotor tensiones de valor eficaz constante cuyos desfases respecto a la tensión del estator, varía cuando se hace girar el rotor adoptando diferentes posiciones respecto al estator.

La tensión de salida U_s en el terminal a del rotor, es igual a la suma vectorial de la tensión de entrada U_e en la fase A del estator, más la tensión secundaria U_2 inducida en la fase a por el campo magnético giratorio. Es decir, que tendremos $U_s = U_e + U_2$.

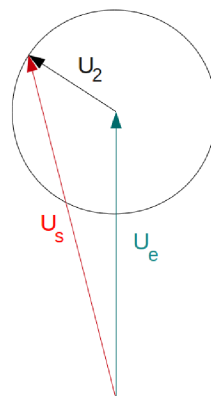


Figura 3: Diagrama fasorial del regulador de inducción.

Para una tensión de entrada fija U_e , el lugar geométrico de la tensión de salida U_s es, aproximadamente una circunferencia; de esta manera, girando el rotor podrá obtenerse un valor cualquiera de la tensión de salida U_s comprendida entre los valores $U_s = U_e \pm U_2$.

El rotor debe estar bien bloqueado para compensar el esfuerzo que tiende a hacerlo girar. La posición

del estator respecto a la del rotor se modifica mediante un volante accionado a mano, y al modificar el ángulo entre la tensión de rotor y estator, aumenta o disminuye el flujo magnético, que partiendo del arrollamiento del estator atraviesan el arrollamiento del rotor, lo que provoca, el correspondiente aumento o disminución de la fuerza electromotriz inducida en el rotor.

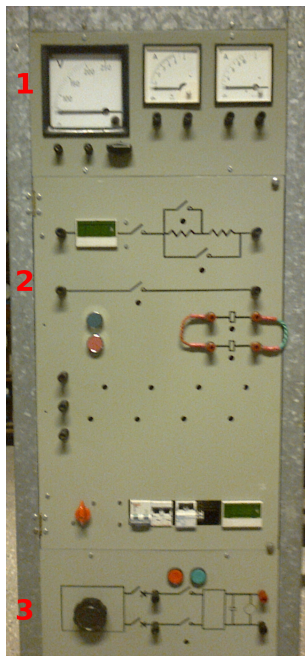


El regulador de inducción disponible en el laboratorio tiene dos rangos de tensión de salida (0-120V y 80-380V) seleccionables mediante un conmutador. Además la posición del rotor no es visible desde el exterior, por tanto a priori no se sabe qué tensión hay en bornes de salida. Considerar la inclusión de un voltímetro y **comprobar esta tensión antes de aplicarla a la carga**.

C. Anexo: Características de dispositivos de protección y comando

- Modelo de Guardamotor: *LOVATO 11SM1A 44*
Contactos laterales *NA/NC LOVATO 11SMX12 11*
- Modelo de Contactor: *LOVATO BF18 3P C*
Contactos frontales *NA/NC LOVATO BFX10 11*
- Juego de pulsadores encendido apagado Telemecanique tensión *230Vac*.
- Transformadores de corriente disponibles: *25/5 A*

D. Anexo: Panel móvil



Se dispone de un panel móvil que implementa varias funciones que pueden ser de utilidad en el desarrollo de esta práctica.

En la figura ?? se observa una vista general del panel. En la parte superior del panel se tienen instrumentos de medida (ver 1 en figura).

Este panel también cuenta con un arrancador de motores de corriente continua mediante el método de eliminación de resistencias (2), el cual no se utilizará en esta práctica.

También dispone de una fuente de tensión continua variable (3), la cual resulta útil para alimentar la excitación de la generatriz dinamoétrica.

En las secciones siguientes se detallará el funcionamiento de este panel.

Figura 4: Vista general del panel móvil.

D.1. Instrumentos

Se dispone de un voltímetro y dos amperímetros (ver figura ??), todos de hierro móvil y por tanto aptos para medidas AC y DC, de las siguientes características:

- Voltímetro 250V (A)
- Amperímetro 10A (B)
- Amperímetro 20A (C)

Todos los instrumentos tienen sus bornes accesibles desde el frente del panel por lo que pueden usarse para intercalar con los circuitos implementados en la práctica.

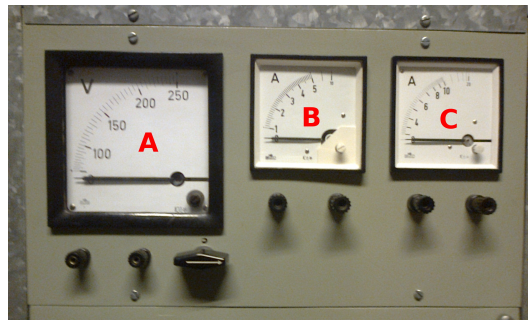


Figura 5: Instrumentos analógicos del panel.

Se cuenta también con un amperímetro y un voltímetro DC digitales, para uso exclusivo del arranador y la fuente DC respectivamente.

D.2. Fuente de tensión variable

Está conformado por un “variac” (autotransformador variable) y un puente rectificador de diodos (ver figura ??). Este equipo permite disponer de una fuente DC de rango 0 – 200V variable de forma continua, con una corriente de salida máxima de 8A.

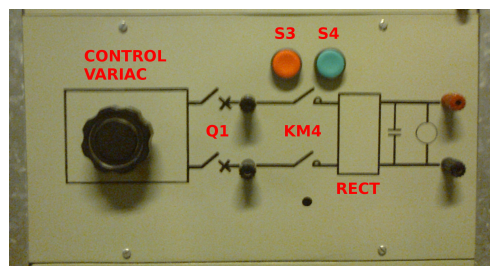


Figura 6: Fuente DC.

El rectificador está alimentado a partir de la salida del variac mediante un contactor (KM4) el cual es operado mediante los pulsadores S3 y S4. Este contactor sólo puede ser conectado con el pulsador de marcha (S4) si el variac está en su posición de mínima tensión de salida. Esto asegura que siempre se energizará el circuito de continua a partir de tensión mínima, actuando como protección contra energizaciones accidentales.

La salida del puente rectificador está conectada a un condensador, con su correspondiente resistencia de descarga, así como con un voltímetro digital.