

## Laboratorio de Transformadores y Máquinas Síncronas

Clave: 1131073

ÁREA DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Y ELECTROMAGNÉTICA<sup>∇2</sup>

Prof. Felipe González Montañez

e-mail: f.jgm@azc.uam.mx

### Práctica 6: Máquina Síncrona

IEE \_\_\_\_\_ IEE

#### 1. Objetivos

- Conocer y determinar el papel de cada componente de la máquina síncrona.
- Medir las resistencias de los devanados del estator y de campo utilizando el Puente de Wheatstone.
- Realizar la prueba de vacío y de cortocircuito a la máquina síncrona.
- Determinar los parámetros que representan las pérdidas en una máquina síncrona.

#### 2. Cuestionario

En esta sección se presenta el cuestionario necesario para el desarrollo de la Práctica 6.

1. ¿Cuáles son las partes más importantes de la máquina síncrona?
2. ¿Por qué se dice que el rotor de una máquina síncrona gira a velocidad síncrona?
3. ¿Qué entiende por reactancia síncrona?
4. ¿Cuáles son las pruebas que se realizan en una máquina síncrona para determinar los parámetros que representan sus pérdidas?
5. ¿Qué representa la característica de circuito abierto en la máquina síncrona?
6. ¿Qué entiende por la relación de cortocircuito?

#### 3. Desarrollo Experimental

En esta sección se describen los pasos a seguir para el desarrollo de la práctica.

1. Medición de resistencias

**Tabla 1:** Material y equipo a ser empleado

Cantidad	Material
1	Banda de acoplamiento.
3	Vóltmetro de precisión (marca YEW).
3	Amperímetro de precisión (marca YEW).
2	Juego de cables.
3	Multímetro.
1	Tacómetro.
1	Puente de Wheatstone.
Cantidad	Equipo
1	Máquina síncrona 120 VA, 1800 rpm, 220 V-0.31 A, 60 Hz.
1	Máquina de CD.

- 1.1. Medir utilizando el puente de Wheatstone la resistencia de los devanados de la máquina síncrona, la cual está conectada en Y-Y y cuyas terminales son: 1-4,2-5,3-6 y 7-8. Es importante mencionar que las terminales 7-8 corresponden al devanado de campo de la máquina síncrona y para realizar la medición, es necesario posicionar el reóstato de campo en un valor de resistencia cero. Utilizar el multímetro para determinar la posición del reóstato que cumple con esta condición. Anotar los resultados en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Medición de resistencias

Devanados	Resistencia [ $\Omega$ ]
1-4	
2-5	
3-6	
7-8	

## 2. Pruebas a la máquina síncrona

### 2.1. Prueba de circuito abierto

- 1) Armar el circuito mostrado en la Figura 1. Dejar abiertas las terminales de la armadura de la máquina síncrona la cual está conectada en Y-Y.
- 2) Llevar a velocidad de sincronismo (1800 rpm) a la máquina síncrona con la máquina de CD. Esta velocidad se debe de mantener constante durante todo el experimento. El devanado de campo de la máquina síncrona debe estar abierto tal que la excitación sea cero.
- 3) Medir utilizando la escala más pequeña de los vóltmetros, los valores de  $V_3$ ,  $V_4$  y  $V_5$  (con excitación nula en el devanado de campo). Anotar las mediciones de voltaje.

**NOTA: Antes de continuar, cerrar el interruptor del devanado de campo.**

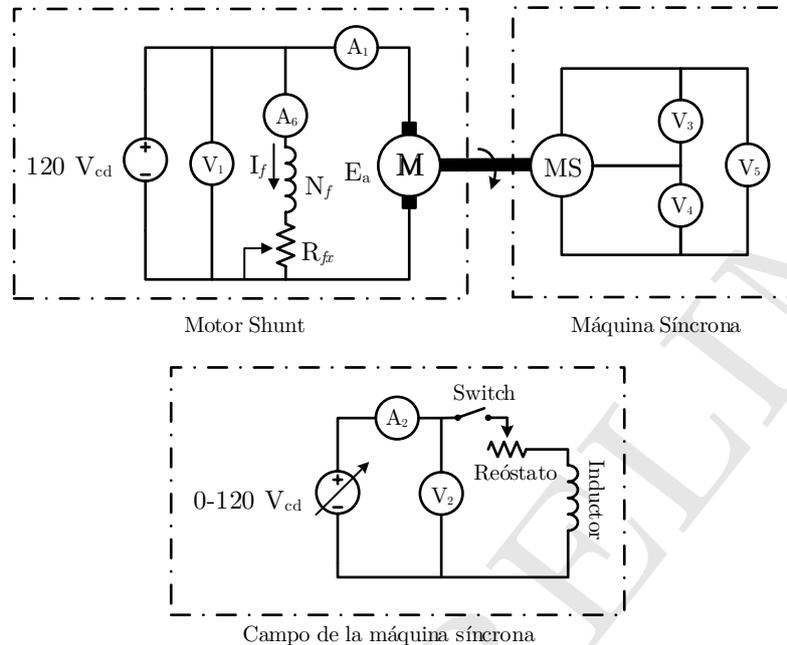


Figura 1: Prueba de circuito abierto.

- 4) Variar el voltaje de excitación  $V_{exc}$  y reajustar por medio de la máquina de CD la velocidad de la máquina síncrona (1800 rpm), hasta alcanzar 1.25 veces la corriente nominal de excitación  $I_{exc}$ . Monitorear las mediciones de  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_6$ , de modo que no se tengan valores (no permitidos) que superen las condiciones nominales del motor de CD y del devanado de campo. Anotar las mediciones realizadas en la Tabla 3.

## 2.2. Prueba de cortocircuito

- 1) Armar el circuito mostrado en la Figura 2, realizando un cortocircuito a través de los amperímetros en las terminales de la máquina síncrona la cual está conectada en Y-Y. El devanado de campo de la máquina síncrona debe estar abierto tal que la excitación sea cero.
- 2) Llevar a velocidad de sincronismo (1800 rpm) a la máquina síncrona con la máquina de CD. Esta velocidad se debe de mantener constante durante todo el experimento.
- 3) Ajustar el reóstato de campo de la máquina síncrona a su posición extrema tal que la resistencia del reóstato sea la máxima. Es importante corroborar esta condición con un multímetro.

**NOTA: Antes de continuar, cerrar el interruptor del devanado de campo.**

- 4) Variar el voltaje de excitación  $V_{exc}$  cuidadosamente y reajustar por medio de la máquina de CD la velocidad de la máquina síncrona (1800 rpm), hasta alcanzar 1.25 veces la corriente nominal de excitación  $I_{exc}$ . Monitorear las mediciones de  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_6$ , de modo que



**Tabla 4:** Mediciones para la prueba de cortocircuito.

$I_{exc}$ [A]	$V_{exc}$ [V]	$I_{a_{promedio}}$ [A]

**NOTA:** Los subíndices *promedio* de la Tabla 3 y 4, indican que se trata del promedio de las mediciones de voltaje en las terminales de la armadura y la corriente en la armadura, respectivamente.

#### 4. Actividades

En esta sección se presentan las actividades que se deberán incluir en el reporte de la Práctica 6.

1. Trazar la característica de circuito abierto de la máquina síncrona. Para trazar la línea del entrehierro, será necesario extrapolar los primeros valores en donde la característica de circuito abierto tenga un comportamiento lineal.
2. Trazar (junto con la característica de circuito abierto) la característica de cortocircuito de la máquina síncrona.
3. Calcular la impedancia y reactancia síncrona saturada y no saturada en [ $\Omega$ ] por fase y en por unidad para todas las mediciones tomadas. Utilizar las siguientes ecuaciones:

$$Z_{s_{no-s}} = \frac{V_{ln-ag}}{I_{a@Vln-ag}} \quad (1)$$

$$Z_{s_s} = \frac{V_{ln-CCA}}{I_{a@Vln-CCA}} \quad (2)$$

$$R_a = 0,5R_{medida} \quad (3)$$

$$X_{s_s} = \sqrt{Z_{s_s}^2 - R_a^2} \quad (4)$$

$$X_{s_{no-s}} = \sqrt{Z_{s_{no-s}}^2 - R_a^2} \quad (5)$$

Si se considera  $R_a=0$ , entonces:

$$X_{s_{no-s}} = \frac{V_{ln-ag}}{I_{a@Vln-ag}} \quad (6)$$

$$X_{s_s} = \frac{V_{ln-CCA}}{I_{a@Vln-CCA}} \quad (7)$$

Para los cálculos en por unidad, basta con dividir las cantidades dadas en  $[\Omega/\text{fase}]$  por la  $Z_{base}$ , la cual se calcula de la siguiente manera:

$$Z_{base} = \frac{V_L^2}{S_{nom}} = \frac{V_{ln}}{I_{an}} \quad (8)$$

donde:

$Z_{s_s}$  = Impedancia síncrona saturada dada en  $[\Omega]$  por fase.

$Z_{s_{no-s}}$  = Impedancia síncrona no saturada dada en  $[\Omega/\text{fase}]$ .

$I_{an}$  = Corriente de armadura nominal dada en [A].  $I_{a@Vln-CCA}$  = Corriente de armadura dada en [A], correspondiente a la misma corriente de campo con la que se tiene el voltaje nominal para la característica de circuito abierto (CCA).  $I_{a@Vln-ag}$  = Corriente de armadura dada en [A], correspondiente a la misma corriente de campo con la que se tiene el voltaje nominal de la línea del entrehierro.

$R_{medida}$  = Resistencia promedio medida en las terminales de la armadura dada  $[\Omega/\text{fase}]$  (ver Tabla 2).

$R_a$  = Resistencia de armadura dada  $[\Omega/\text{fase}]$ .

$X_{s_s}$  = Reactancia síncrona saturada dada en  $[\Omega/\text{fase}]$ .

$X_{s_{no-s}}$  = Reactancia síncrona no saturada dada en  $[\Omega/\text{fase}]$ .

$X_{s_{no-s}}$  = Reactancia síncrona no saturada dada en  $[\Omega/\text{fase}]$ .

$V_{ln-ag}$  = Voltaje nominal de línea a neutro en [V] de la línea del entrehierro.

$V_{ln-CCA}$  = Voltaje nominal de línea a neutro en [V] de la característica de circuito abierto.

$Z_{base}$  = Impedancia base dada en  $[\Omega/\text{fase}]$ .

$V_L$  = Voltaje nominal de línea a línea.

$S_{nom}$  = Potencia aparente nominal de la máquina síncrona.

4. Comparar los valores de la impedancia síncrona no saturada.
5. Calcular la magnitud de la inductancia  $L_{af}$  utilizando la medición del voltaje nominal  $V_{ln-CCA}$  porque es igual a la magnitud del voltaje generado  $E_{af}$  ya que la máquina está en vacío. Despejar a  $L_{af}$  de la siguiente ecuación:

$$E_{af} = \frac{\omega_e L_{af} I_f}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

6. Graficar la impedancia síncrona como función de la corriente de campo ( $Z_s=f(I_{exc})$ ). Comentar acerca de ello.
7. Obtener la relación de cortocircuito y calcular su valor inverso. Comparar este resultado con los valores en por unidad de la reactancia síncrona saturada y no saturada que se calculó utilizando los valores nominales de voltaje y considerando  $R_a=0$ .

### Bibliografía Recomendada

- [1] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. y Stephen D. Umans, "Máquinas Eléctricas", 6° Edición, McGraw Hill.
- [2] Bhag S. Guru, Huseyin R. Hiziroglu, "Máquinas Eléctricas y Transformadores", 3° Edición, Oxford University Press, 2003.
- [3] Jimmie J. Cathey, "Máquinas eléctricas: análisis y diseño con Matlab", McGraw-Hill/Interamericana, 2002.
- [4] Stephen J. Chapman, "Máquinas Eléctricas", 5° Edición, McGraw-Hill, 2012.
- [5] Jesús Fraile Mora, "Máquinas Eléctricas", 5° Edición, McGraw-Hill.