



Regulación del voltaje y la frecuencia

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Después de completar este ejercicio, usted será capaz de demostrar la regulación del voltaje y la frecuencia de un generador sincrónico, empleando el módulo Motor/Alternador sincrónico.

PRESENTACIÓN

Para un generador sincrónico que funciona como una fuente que entrega un voltaje constante a una frecuencia fija, es necesario controlar la velocidad de rotación y la fuerza del electroimán de campo. Como se vio en el ejercicio anterior, las cargas resistiva, inductiva y capacitiva afectan sobremanera el voltaje de salida de un generador sincrónico. La carga resistiva afecta también la velocidad de rotación del generador sincrónico, mientras que las cargas inductiva y capacitiva tienen un efecto muy pequeño sobre dicha velocidad.

Para obtener un voltaje de salida constante y una frecuencia fija a partir de un generador sincrónico que opera bajo condiciones de cargas variables, es necesario ajustar simultáneamente la velocidad de rotación y la corriente de campo I_f . En la práctica, los sistemas de control automático ajustan continuamente el par que actúa sobre el generador sincrónico, así como el valor de la corriente de campo I_f . Por ejemplo, en los sistemas hidroeléctricos, el par se ajusta variando el tamaño de la entrada de agua a la turbina a fin de mantener una velocidad constante y, en consecuencia, una frecuencia fija. En general, para mantener un voltaje de salida constante, se ajusta la corriente de campo I_f empleando dispositivos electrónicos de potencia. Como podrá apreciar en este ejercicio, el ajuste manual de la velocidad y de la corriente de campo al mismo tiempo es bastante difícil de llevar a cabo.

Resumen del proceso

En la primera parte del ejercicio, usted montará el equipo en el Puesto de trabajo, lo conectará como lo muestra la Figura 6-9 y realizará los ajustes apropiados en el módulo Motor de impulsión / Dinamómetro.

En la segunda parte, ajustará la velocidad de rotación y la corriente de campo del generador sincrónico para que el voltaje de salida y la frecuencia resulten iguales a sus valores nominales. Luego cambiará la naturaleza de las cargas conectadas al generador para observar cómo éstas afectan el voltaje de salida y la frecuencia.



Regulación del voltaje y la frecuencia

En la tercera parte, variará la velocidad de rotación y la corriente de campo del generador sincrónico a fin de mantener un voltaje de salida constante y una frecuencia fija, bajo diferentes condiciones de cargas.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de los aparatos necesarios para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO

¡ATENCIÓN!

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de voltajes elevados. No realice ninguna conexión en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje del equipo

- ☐ 1. Dentro del Puesto de trabajo EMS, instale los siguientes módulos: la Fuente de alimentación, el Motor de impulsión / Dinamómetro, el Motor/Alternador sincrónico, la Carga resistiva, la Carga inductiva, la Carga capacitiva y la Interfaz para la adquisición de datos (DAI).

Acople mecánicamente el Motor de impulsión / Dinamómetro al Motor/Alternador sincrónico.

- ☐ 2. En la Fuente de alimentación, asegúrese de que el interruptor principal esté en la posición O (apagado) y que la perilla de control de voltaje se encuentre girada completamente hacia la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté conectada a una fuente trifásica.

- ☐ 3. Asegúrese de que el cable chato de la computadora esté conectado al módulo DAI.

Conecte las entradas ALIMENTACIÓN BAJA POTENCIA de los módulos DAI y Motor de impulsión / Dinamómetro a la salida 24 V - CA de la Fuente de alimentación.

En la Fuente de alimentación, coloque el interruptor 24 V - CA en la posición I (encendido).

- ☐ 4. Inicie la aplicación Aparatos de Medición.

En la aplicación Aparatos de Medición, abra el archivo de configuración existente ACMOTOR1.CFG y luego seleccione ver especial 2.



Regulación del voltaje y la frecuencia

- ☐ 5. Conecte el equipamiento como lo muestra la Figura 6-9. Abra todos los interruptores de los módulos Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva.

En el Motor/Alternador sincrónico, coloque el interruptor EXCITACIÓN en la posición I (cerrado) y la perilla EXCITACIÓN en la posición media.

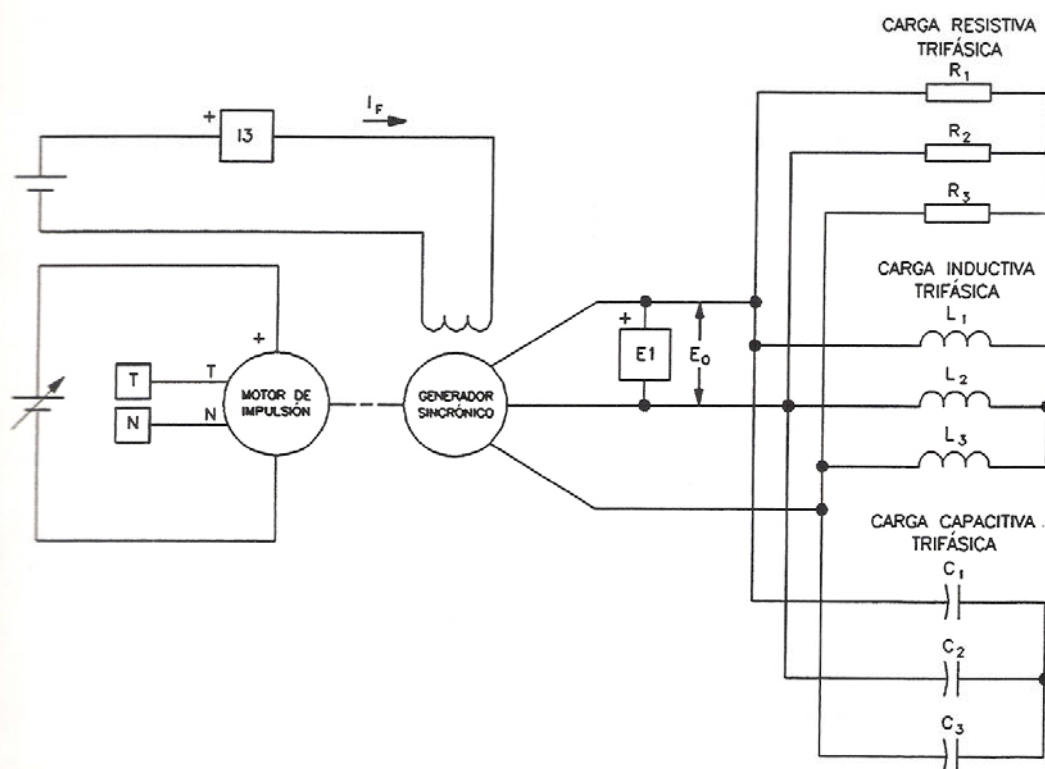


Figura 6-9. Generador sincrónico bajo carga acoplado al Motor de impulsión.

- ☐ 6. Ajuste los controles del módulo Motor de impulsión / Dinamómetro de la siguiente forma:

Selector MODO MOTOR DE IMPUL. (M.I.)
Selector VISUALIZADOR VELOCIDAD (N)



Regulación del voltaje y la frecuencia

Nota: Si realiza el ejercicio empleando LVSIM™-EMS, usted podrá enfocar con el zoom el módulo Motor de impulsión / Dinamómetro. De esta manera puede ver en el panel frontal, las notas adicionales relativas a los controles antes de ajustarlos.

Efecto de la carga sobre el voltaje de salida y la frecuencia

- ☐ 7. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de voltaje para que el Motor de impulsión gire a la velocidad nominal del Motor/Alternador sincrónico.

Nota: Las características de cualquiera de las máquinas Lab-Volt están indicadas en el ángulo inferior izquierdo del panel frontal del módulo. Si usted está realizando el ejercicio empleando LVSIM™-EMS, usted podrá obtener las características de cualquiera de ellas dejando el puntero del ratón sobre el rotor de la máquina de su interés. Después de unos segundos, aparecerá en la pantalla un recuadro con las características de dicha máquina.

- ☐ 8. En el Motor/Alternador sincrónico, ajuste la perilla EXCITACIÓN para que el voltaje de salida línea a línea E_o del generador sincrónico (indicado por el medidor E1 de la aplicación Aparatos de Medición), sea igual al valor nominal.

En los espacios en blanco de más abajo, anote el voltaje nominal de salida E_o y la frecuencia f (indicada por el medidor B de la aplicación Aparatos de Medición).

E_o (nominal) = _____ V

f (nominal) = _____ Hz

- ☐ 9. En el módulo Carga resistiva, ajuste la resistencia de los resistores R_1 , R_2 y R_3 , con el valor de la siguiente tabla.

VOLTAJE DE LÍNEA	RESISTENCIA O REACTANCIA
V ca	Ω
120	240
220	880
240	960

Tabla 6-6. Valor de la carga.



Regulación del voltaje y la frecuencia

En los espacios en blanco de más abajo, anote el voltaje nominal de salida E_o y la frecuencia f .

$$E_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V (con carga resistiva)}$$

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz (con carga resistiva)}$$

Cuando se conecta una carga resistiva a la salida del generador sincrónico, ¿cómo varían el voltaje de salida y la frecuencia?

Abra todos los interruptores del módulo Carga resistiva y espere que el voltaje de salida y la frecuencia se estabilicen. Ambos deberían ser iguales a sus valores nominales.

- ☐ 10. En el módulo carga inductiva, ajuste la reactancia de los inductores L_1 , L_2 y L_3 , con el valor indicado en la Tabla 6-6.

En los espacios en blanco de más abajo, anote el voltaje nominal de salida E_o y la frecuencia f .

$$E_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V (con carga inductiva)}$$

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz (con carga inductiva)}$$

Cuando se conecta una carga inductiva a la salida del generador sincrónico, ¿cómo varían el voltaje de salida y la frecuencia?

Abra todos los interruptores del módulo Carga inductiva y espere que el voltaje de salida y la frecuencia se estabilicen. Ambos deberían ser iguales a sus valores nominales.

- ☐ 11. En el módulo Carga capacitiva, ajuste la reactancia de los condensadores C_1 , C_2 y C_3 , con el valor indicado en la Tabla 6-6.

En los espacios en blanco de más abajo, anote el voltaje nominal de salida E_o y la frecuencia f .

$$E_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V (con carga capacitiva)}$$

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz (con carga capacitiva)}$$



Regulación del voltaje y la frecuencia

Cuando se conecta una carga capacitiva a la salida del generador sincrónico, ¿cómo varían el voltaje de salida y la frecuencia?

Abra todos los interruptores del módulo Carga capacitiva y espere que el voltaje de salida y la frecuencia se estabilicen. Ambos deberían ser iguales a sus valores nominales.

- ☐ 12. Compare el efecto de las cargas resistiva, inductiva y capacitiva sobre el voltaje de salida del generador sincrónico.

Compare el efecto de las cargas resistiva, inductiva y capacitiva sobre la frecuencia de los voltajes producidos por el generador sincrónico.

Regulación del voltaje y la frecuencia

- ☐ 13. En el módulo carga inductiva, ajuste la reactancia de los inductores L_1 , L_2 y L_3 , con el valor indicado en la siguiente tabla.

VOLTAJE DE LÍNEA	REACTANCIA DE L_1 , L_2 Y L_3
V ca	Ω
120	600
220	1.467
240	1.200

Tabla 6-7. Reactancia de los inductores L_1 , L_2 y L_3 .

Reajuste la perilla de control de voltaje de la Fuente de alimentación y la perilla EXCITACIÓN del Motor/Alternador sincrónico, para que el voltaje



Regulación del voltaje y la frecuencia

de salida del generador sincrónico y la frecuencia sean iguales a los valores nominales.

- ☐ 14. En el módulo Carga capacitiva, ajuste la reactancia de los condensadores C_1 , C_2 y C_3 , con el valor indicado en la siguiente tabla.

VOLTAJE DE LÍNEA	REACTANCIA DE C_1 , C_2 Y C_3
V ca	Ω
120	300
220	2.200
240	2.400

Tabla 6-8. Reactancia de los condensadores C_1 , C_2 y C_3 .

Reajuste la perilla de control de voltaje de la Fuente de alimentación y la perilla EXCITACIÓN del Motor/Alternador sincrónico, para que el voltaje de salida del generador sincrónico y la frecuencia sean iguales a los valores nominales.

- ☐ 15. En el módulo Carga resistiva, ajuste la resistencia de los resistores R_1 , R_2 y R_3 , con el valor indicado en la siguiente tabla.

VOLTAJE DE LÍNEA	RESISTENCIA DE R_1 , R_2 Y R_3
V ca	Ω
120	200
220	880
240	800

Tabla 6-9. Resistencia de los resistores R_1 , R_2 y R_3 .

Reajuste la perilla de control de voltaje de la Fuente de alimentación y la perilla EXCITACIÓN del Motor/Alternador sincrónico, para que el voltaje de salida del generador sincrónico y la frecuencia sean iguales a los valores nominales.

Cuando la carga varía, ¿resulta fácil ajustar rápidamente el voltaje de salida y la frecuencia del generador sincrónico? ¿Por qué?



Regulación del voltaje y la frecuencia

- ☐ 16. Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda. Luego, coloque el interruptor 24 V - CA de la fuente en la posición O (apagado) y desconecte todos los cables.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted ha observado que el voltaje de salida y la frecuencia de un generador sincrónico cambian al conectar a la salida de éste una carga resistiva, inductiva o capacitiva. También ha podido notar que la carga resistiva tiene mayor influencia sobre la frecuencia que las cargas inductiva y capacitiva. Asimismo, ha encontrado que cuando la carga varía, resulta más difícil mantener manualmente la frecuencia y el voltaje de salida con sus valores nominales. Esto se debe a que es necesario ajustar la velocidad de rotación y la corriente de campo del generador sincrónico para corregir los cambios de la frecuencia y el voltaje.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Cuando la carga conectada a un generador sincrónico varía,
 - a. no afecta el voltaje de salida ni la frecuencia.
 - b. afecta el voltaje de salida y la frecuencia.
 - c. sólo afecta el voltaje de salida.
 - d. sólo afecta la frecuencia.
2. Para que un generador sincrónico entregue un voltaje de salida constante a una frecuencia fija
 - a. es necesario controlar la velocidad y la corriente de campo.
 - b. es necesario controlar sólo su velocidad.
 - c. es necesario controlar sólo su corriente de excitación.
 - d. la carga debe ser sólo resistiva.
3. El ajuste manual de la velocidad y la corriente de campo, para mantener el voltaje de salida y la frecuencia de un generador sincrónico con sus valores nominales, es
 - a. una tarea sencilla.
 - b. una tarea difícil de llevar a cabo.
 - c. posible sólo cuando el generador funciona con la carga total.
 - d. posible sólo cuando el generador funciona con la mitad de la carga.



Regulación del voltaje y la frecuencia

4. Las cargas inductiva y capacitiva tienen poca influencia sobre
 - a. el voltaje de salida y la frecuencia de un generador síncrono.
 - b. la frecuencia de un generador síncrono.
 - c. el voltaje de salida de un generador síncrono.
 - d. la potencia de régimen de un generador síncrono.

5. Las cargas resistivas tienen una gran influencia sobre
 - a. el voltaje de salida y la frecuencia de un generador síncrono.
 - b. la frecuencia de un generador síncrono.
 - c. el voltaje de salida de un generador síncrono.
 - d. la potencia de régimen de un generador síncrono.



Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

Resumen del proceso

En la primera parte del ejercicio, usted montará el equipo en el Puesto de trabajo, lo conectará como lo muestra la Figura 6-11 y realizará los ajustes apropiados en el módulo Motor de impulsión / Dinamómetro.

En la segunda parte, sincronizará el generador sincrónico trifásico con la red eléctrica trifásica y luego lo conectará a dicha red.

En la tercera parte del ejercicio, usted variará el par aplicado al eje del generador y la corriente de campo I_f y observará cómo esto afecta el funcionamiento del generador sincrónico.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de los aparatos necesarios para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO

¡ATENCIÓN!

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de voltajes elevados. No realice ninguna conexión en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje del equipo

- ☐ 1. Dentro del Puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el Motor de impulsión / Dinamómetro, el Motor/Alternador sincrónico, el Módulo de sincronización y la Interfaz para la adquisición de datos (DAI).

Acople mecánicamente el Motor de impulsión / Dinamómetro al Motor/Alternador sincrónico.

- ☐ 2. En la Fuente de alimentación, asegúrese de que el interruptor principal esté en la posición O (apagado) y que la perilla de control de voltaje se encuentre girada completamente hacia la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté conectada a una fuente trifásica.



Sincronización del generador

- ☐ 3. Asegúrese de que el cable chato de la computadora esté conectado al módulo DAI.

Conecte las entradas ALIMENTACIÓN BAJA POTENCIA de los módulos DAI y Motor de impulsión / Dinamómetro a la salida 24 V - CA de la Fuente de alimentación.

En la Fuente de alimentación, coloque el interruptor 24 V - CA en la posición I (encendido).

- ☐ 4. Inicie la aplicación Aparatos de Medición.

En la aplicación Aparatos de Medición, abra el archivo de configuración existente ACMOTOR1.CFG y luego seleccione ver especial 2.

- ☐ 5. Conecte el equipamiento como lo muestra la Figura 6-11.

En el Motor/Alternador sincrónico, coloque el interruptor EXCITACIÓN en la posición I (cerrado) y la perilla EXCITACIÓN en la posición media.

En el Módulo de sincronización, coloque el interruptor en la posición O (abierto).

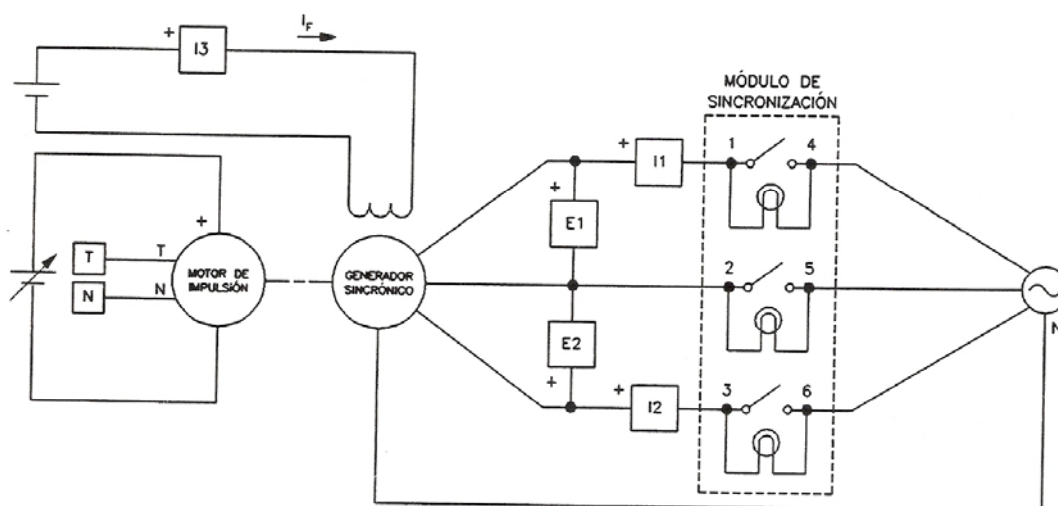


Figura 6-11. Circuito utilizado para sincronizar y conectar un generador a una red eléctrica CA.



Sincronización del generador

- ☐ 6. Ajuste los controles del módulo Motor de impulsión / Dinamómetro de la siguiente forma:

Selector MODO MOTOR DE IMPUL. (M.I.)
Selector VISUALIZADOR VELOCIDAD (N)

Nota: Si realiza el ejercicio empleando LVSIM™-EMS, usted podrá enfocar con el zoom el módulo Motor de impulsión / Dinamómetro. De esta manera puede ver en el panel frontal, las notas adicionales relativas a los controles antes de ajustarlos.

Sincronización del generador

- ☐ 7. En el Motor/Alternador sincrónico, intercambie las conexiones de los conductores en los terminales 1 y 2.

Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de voltaje para que el Motor de impulsión gire a la velocidad nominal del Motor/Alternador sincrónico, menos aproximadamente 75 r/min.

Nota: Las características de cualquiera de las máquinas Lab-Volt están indicadas en el ángulo inferior izquierdo del panel frontal del módulo. Si usted está realizando el ejercicio empleando LVSIM™-EMS, usted podrá obtener las características de cualquiera de ellas dejando el puntero del ratón sobre el rotor de la máquina de su interés. Después de unos segundos, aparecerá en la pantalla un recuadro con las características de dicha máquina.

- ☐ 8. En el Motor/Alternador sincrónico, ajuste la perilla EXCITACIÓN para que el voltaje de salida línea a línea E_o del generador sincrónico (indicado por el medidor E1 de la aplicación Aparatos de Medición), sea igual al valor nominal.

Observe las lámparas del Módulo de sincronización.

La secuencia de fases del generador sincrónico, ¿concuerda con aquella de la red eléctrica trifásica? ¿Por qué?

- ☐ 9. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste de la perilla control de voltaje.

En el Motor/Alternador sincrónico, intercambie las conexiones de los conductores en los terminales 1 y 2.



Sincronización del generador

- ☐ 10. Encienda la Fuente de alimentación.

Observe las lámparas del Módulo de sincronización.

La secuencia de fases del generador sincrónico, ¿concuerta con aquella de la red eléctrica trifásica? ¿Por qué?

- ☐ 11. En la Fuente de alimentación, ajuste la perilla de control de voltaje para que la luminosidad de las lámparas del Módulo de sincronización cambie muy lentamente (si es necesario).

En el instante que las lámparas están completamente apagadas, ¿el generador está sincronizado con la red eléctrica trifásica?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 12. En el Módulo de sincronización, coloque el interruptor en la posición I (cerrado) en un instante que las lámparas estén completamente apagadas. De esta manera, el generador sincrónico queda conectado a la red eléctrica trifásica.

En la aplicación Aparatos de Medición, observe la potencia activa indicada por el medidor C. La potencia activa intercambiada entre el generador sincrónico y la red eléctrica trifásica, ¿es una cantidad importante?

☐ Sí ☐ No

Efecto del par y de la corriente de campo sobre el funcionamiento del generador

- ☐ 13. En la aplicación Aparatos de Medición, asegúrese de que la función para corregir el par del medidor T esté seleccionada.

En la Fuente de alimentación, gire lentamente la perilla de control de voltaje hacia la derecha hasta que el par indicado por el medidor T (par de entrada del generador) sea igual a $-1,0 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($-9,0 \text{ lbf}\cdot\text{plg}$). Mientras realiza lo anterior, observe la potencia activa y la velocidad del generador que aparecen en los medidores C y N.

Nota: Cuando el valor indicado por el medidor C es positivo, el generador sincrónico entrega potencia activa.



Sincronización del generador

Describa qué sucede.

¿El generador síncrono suministra potencia activa a la red eléctrica c.a.?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 14. En la Fuente de alimentación, gire lentamente la perilla de control de voltaje para que la potencia activa indicada por el medidor C disminuya hasta aproximarse a cero. Mientras realiza lo anterior, observe el par de entrada del generador que aparece en el medidor T.

El generador síncrono ahora está "flotando" sobre la red eléctrica c.a.
¿De dónde proviene la potencia para vencer la fricción?

- ☐ 15. En la Fuente de alimentación, gire lentamente la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda. Mientras realiza lo anterior, observe la potencia activa, el par de entrada del generador y su velocidad, que aparecen en los medidores C, T y N.

Describa qué sucede.

¿Qué quiere decir lo anterior?

- ☐ 16. En la Fuente de alimentación, gire la perilla de control de voltaje hacia la derecha hasta que el par indicado por el medidor T (par de entrada del generador) sea igual a $-1,0 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($-9,0 \text{ lbf}\cdot\text{plg}$). Ahora el generador síncrono está entregando la potencia activa nominal (aproximadamente) a la red eléctrica c.a.

En el Motor/Alternador síncrono, gire lentamente la perilla EXCITACIÓN hasta la posición MÁX. para incrementar la corriente de campo. Mientras realiza lo anterior, observe las potencias activa y reactiva, el par de



Sincronización del generador

entrada del generador y su velocidad, que aparecen en los medidores C, A, T y N.

Nota: Cuando el valor indicado por el medidor A es positivo, el generador sincrónico entrega potencia reactiva.

Describa qué sucede.

¿El generador sincrónico suministra potencia reactiva a la red eléctrica c.a.?

☐ Sí ☒ No

- ☐ 17. En el Motor/Alternador sincrónico, gire lentamente la perilla EXCITACIÓN hasta la posición MÍN. para disminuir la corriente de campo. Mientras realiza lo anterior, observe la potencia reactiva indicada por el medidor A en la aplicación Aparatos de Medición.

Describa qué sucede.

¿Es posible ajustar la corriente de campo para que el factor de potencia del generador sincrónico resulte igual a la unidad?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 18. Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda. Luego, coloque el interruptor 24 V - CA de la fuente en la posición O (apagado) y desconecte todos los cables.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted ha sincronizado un generador sincrónico trifásico con la red eléctrica c.a.. Ha podido observar que variando el par en el eje del generador se altera la cantidad de energía activa que se intercambia entre dicho generador y la red. Asimismo, ha visto que variando la corriente de campo del generador se altera la cantidad de potencia reactiva que se intercambia entre dicho generador y la red eléctrica c.a.



Sincronización del generador

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Antes de sincronizar un generador sincrónico con la red eléctrica c.a., su secuencia de fases, su frecuencia y su voltaje deben ser
 - a. los mismos que aquéllos de la red eléctrica c.a.
 - b. diferentes de aquéllos de la red eléctrica c.a.
 - c. valores que dependan del generador y de su motor de impulsión.
 - d. Ninguna de las anteriores.
2. Después de la sincronización con la red eléctrica c.a., la secuencia de fases, la frecuencia y el voltaje de un generador sincrónico serán
 - a. iguales a aquéllos de la red eléctrica c.a.
 - b. diferentes de aquéllos de la red eléctrica c.a.
 - c. valores que dependerán del generador y de su motor de impulsión.
 - d. Ninguna de las anteriores.
3. ¿Qué parámetros del generador sincrónico se deben ajustar antes de conectarlo a la red eléctrica c.a.?
 - a. Sólo su secuencia de fases y su frecuencia.
 - b. Sólo su voltaje y su frecuencia.
 - c. Sólo su secuencia de fases, su frecuencia y su voltaje.
 - d. Sólo su velocidad.
4. Cuando un generador sincrónico "flota" sobre la red eléctrica c.a., esto significa que
 - a. su velocidad sube y baja con las fluctuaciones de la red eléctrica c.a.
 - b. no se intercambia potencia activa ni reactiva con la red eléctrica c.a.
 - c. está sentado encima de una línea líquida.
 - d. el voltaje de salida es casi idéntico al de la red eléctrica c.a.
5. La potencia activa para vencer la fricción debida a la rotación de un generador sincrónico que está "flotando" sobre la red eléctrica c.a., proviene de
 - a. la red.
 - b. la fuente de alimentación c.a.
 - c. la fuente de potencia mecánica acoplada al generador.
 - d. la corriente de campo.