

Regulación del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la regulación de tensión de un transformador con cargas variables y de discutir sobre la regulación de un transformador con cargas capacitiva e inductiva. Se utilizarán las mediciones de tensión y corriente para trazar curvas de regulación de cargas.

PRINCIPIOS

En una subestación, la carga de un gran transformador de potencia varía desde un valor muy pequeño durante las primeras horas de la mañana, hasta valores muy elevados durante las horas de mayor actividad comercial e industrial. En cierto modo, la tensión secundaria del transformador varía con la carga y como los motores, las lámparas incandescentes y los dispositivos de calefacción son muy sensibles a los cambios en la tensión, la regulación del transformador tiene una importancia considerable. La tensión secundaria también depende de si el factor de potencia de la carga está atrasado, adelantado o es igual a la unidad. En consecuencia, se debe conocer cómo se comportará el transformador (su regulación de tensión), cuando se conecta a una carga capacitiva, inductiva o resistiva. La regulación de tensión del transformador (en porcentaje) se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Regulación de tensión (\%)} = 100 \times \frac{E_{SC} - E_{PC}}{E_{SC}}$$

donde E_{SC} es la tensión del secundario sin carga (en vacío).

E_{PC} es la tensión del secundario a plena carga.

El resultado (en valor porcentual) que se obtiene proporciona una indicación del comportamiento del transformador según la carga. Cuanto más pequeño es el porcentaje de regulación de tensión, menor es la variación de la tensión secundaria con la carga y mejor resulta la regulación de dicha tensión. Note que E_{SC} se mide con el arrollamiento secundario abierto mientras que E_{PC} se mide cuando la corriente nominal fluye en dicho arrollamiento.

Diversos factores afectan el funcionamiento de un transformador. La resistencia y la reactancia inductiva de sus arrollamientos causan caídas de tensiones internas que varían con la cantidad de corriente que circula en los mismos. Si el secundario se encuentra ligeramente cargado, la corriente que fluye por la resistencia y reactancia del arrollamiento es pequeña y la caída de tensión interna resulta insignificante. Al aumentar la carga, la corriente y la caída de tensión interna también aumentan. Si un transformador fuera perfectamente ideal, sus arrollamientos no tendrían ninguna resistencia ni reactancia inductiva para provocar esas caídas de tensión. Este transformador tendría una regulación perfecta bajo todas las condiciones de carga y la tensión secundaria permanecería absolutamente constante. Pero en la práctica, las bobinas de los transformadores están fabricadas con alambres que tienen resistencia y reactancia inductiva. En consecuencia, los arrollamientos primario y secundario tienen una resistencia total R y una reactancia total X . El circuito equivalente simplificado de un transformador real, con una relación de espiras 1:1, se aproxima a lo que muestra la figura 7-9. Los terminales de este transformador son P_1 , P_2 para el primario y S_1 , S_2 para el secundario.

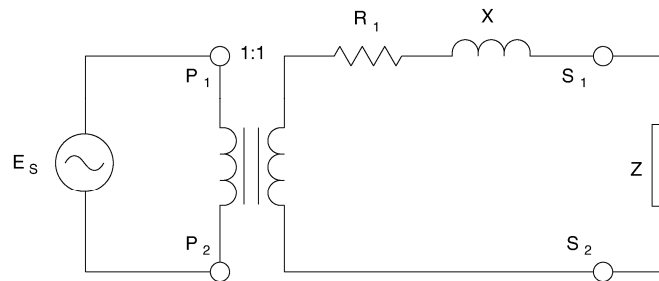


Figura 7-9. Circuito equivalente simplificado de un transformador real.

En este circuito equivalente se muestra el transformador real como uno ideal, en serie con una impedancia formada por R y X , las que representan las imperfecciones del transformador. Cuando se conecta una carga (Z) al arrollamiento secundario (terminales S_1 y S_2) se forma un circuito en serie. Dicho circuito está compuesto por el arrollamiento secundario del transformador ideal y por R , X y Z . El análisis de este circuito en serie muestra que cuando la carga (resistiva o inductiva) aumenta, la tensión en dicha carga disminuye y se incrementa la corriente en el secundario. Además, cuando la carga es capacitiva, mientras dicha carga crece a partir de cero (condición de vacío), la tensión en la misma aumenta hasta un máximo. Luego, la tensión en la carga decrece mientras ésta continúa aumentando.

EQUIPO REQUERIDO

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

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, el Transformador monofásico, la Carga resistiva, la Carga capacitiva y la Carga inductiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES17-8.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Monte el circuito del transformador con la carga como lo muestra la figura 7-10. Asegúrese de que todos los interruptores de los módulos Carga resistiva, Carga capacitiva y Carga inductiva se encuentran abiertos. Conecte E1, E2, I1 e I2 como se muestra en la figura. Se utilizarán diferentes valores de carga para examinar cómo cambia la tensión secundaria (carga), mientras varía la carga del transformador.

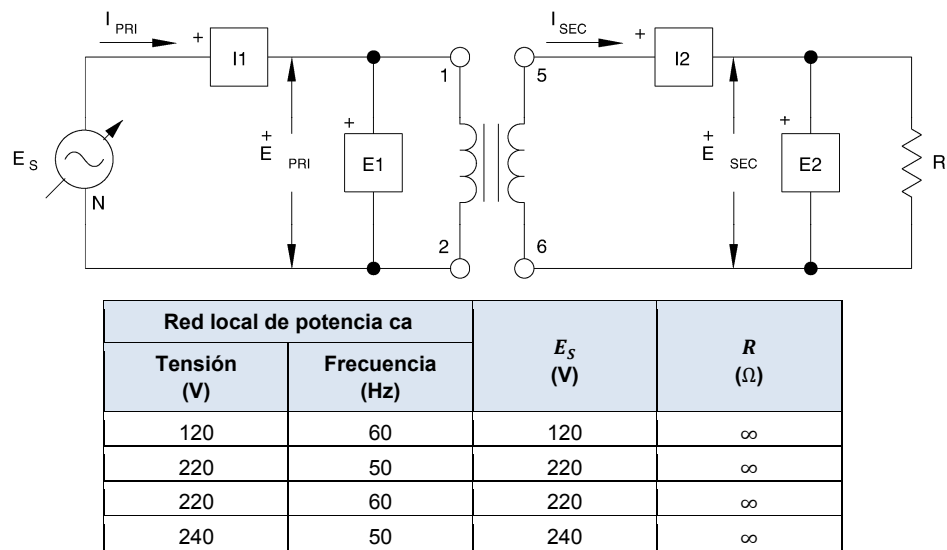


Figura 7-10. Transformador con carga variable.

6. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control principal de tensión para obtener el valor E_s de la figura 7-10. Con el transformador sin carga (todos los interruptores de los módulos de carga abiertos), haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar los valores medidos de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} e I_{SEC} en la *Tabla de Datos*.
7. Coloque los interruptores del módulo Carga resistiva para obtener, en forma sucesiva, los valores de resistencia indicados en la tabla 7-1. Para cada valor de resistencia, ingrese las mediciones como en la etapa 6. Después de ingresar todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.

Tabla 7-1. Valores para R , X_L y X_C .

Red local de potencia ca		R, X_L, X_C (Ω)	R, X_L, X_C (Ω)	R, X_L, X_C (Ω)	R, X_L, X_C (Ω)	R, X_L, X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)					
120	60	1200	600	400	300	240
220	50	4400	2200	1467	1100	880
220	60	4400	2200	1467	1100	880
240	50	4800	2400	1600	1200	960

8. Muestre la ventana *Gráfico*, seleccione E2 (E_{SEC}) como parámetro para el eje Y e I2 (I_{SEC}) como parámetro para el eje X. Asegúrese de que el formato Gráfico continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión secundaria en función de la corriente. ¿Qué sucede con la tensión secundaria cuando la carga resistiva aumenta, es decir, cuando la resistencia disminuye?



Para comparar más fácilmente las curvas que se obtienen con las diferentes cargas, usted puede hacer copias impresas de los gráficos de las etapas 8, 13, y 17, utilizando el botón Imprimir de la Barra de herramientas.

9. Calcule la regulación de tensión empleando las tensiones de salida para carga en vacío ($R = \infty$) y para carga plena ($R =$ valor mínimo).

$$100 \frac{(E_{SC} - E_{PC})}{E_{SC}} = \text{_____} \%$$

10. Utilice el botón Borrar Tabla de Datos de la ventana *Tabla de Datos*, para borrar los datos y luego reemplace, en el circuito de la figura 7-10, el módulo Carga resistiva por el módulo Carga Inductiva.

11. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control principal de tensión para obtener el valor E_S de la figura 7-10. Con el transformador sin carga (todos los interruptores de los módulos de carga abiertos), haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar los valores medidos de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} e I_{SEC} en la *Tabla de Datos*.

12. Coloque los interruptores del módulo Carga inductiva para obtener, en forma sucesiva, los valores de reactancia indicados en la tabla 7-1. Para cada valor de reactancia, ingrese las mediciones como en la etapa 11. Después de ingresar todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.

13. Muestre la ventana *Gráfico*, seleccione E2 (E_{SEC}) como parámetro para el eje Y e I2 (I_{SEC}) como parámetro para el eje X. Asegúrese de que el formato Gráfico continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión secundaria en función de la corriente. ¿Cómo varía la tensión secundaria cuando la carga inductiva aumenta?

14. Utilice el botón Borrar Tabla de Datos de la ventana *Tabla de Datos*, para borrar los datos y luego reemplace, en el circuito de la figura 7-10, el módulo Carga inductiva por el módulo Carga capacitiva.

15. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control principal de tensión para obtener el valor E_S de la figura 7-10. Con el transformador sin carga (todos los interruptores de los módulos de carga abiertos), haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar los valores medidos de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} , e I_{SEC} en la *Tabla de Datos*.
16. Coloque los interruptores del módulo Carga capacitiva para obtener, en forma sucesiva, los valores de reactancia indicados en la tabla 7-1. Para cada valor de reactancia, ingrese las mediciones como en la etapa 15. Después de ingresar todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.
17. Muestre la ventana *Gráfico*, seleccione E2 (E_{SEC}) como parámetro para el eje Y e I2 (I_{SEC}) como parámetro para el eje X. Asegúrese de que el formato Gráfico continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión secundaria en función de la corriente. ¿Cómo varía la tensión secundaria cuando la carga capacitiva aumenta?

18. ¿Qué diferencias observa entre las tres curvas de carga?

19. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted estudió la regulación de tensión de un transformador y comprobó que cuando la carga del transformador cambia, la tensión secundaria varía. Trazó las curvas correspondientes a la variación de las cargas resistiva, inductiva y capacitiva. Estas curvas demostraron que para bajas condiciones de carga, resistiva o inductiva, la tensión secundaria decrece cuando la carga aumenta y que para bajas condiciones de carga capacitiva, la tensión secundaria puede aumentar por encima de su valor nominal. Observó también que las cargas inductivas provocan mayores caídas de tensión que las cargas resistivas, por lo tanto, la regulación resulta más deficiente.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. La regulación de un transformador se puede determinar con la siguiente fórmula
 - a. $100 (E_{PRI} - E_{SEC})/E_{PRI}$
 - b. $100 (E_{SC} - E_{PC})/E_{SC}$
 - c. $100 (I_{PRI} - I_{SEC})/I_{PRI}$
 - d. $100 (I_{SC} - I_{PC})/I_{SC}$
2. ¿Cuál es la regulación de un transformador, si las tensiones en el secundario en vacío y a plena carga son 100 V y 95 V, respectivamente?
 - a. 105%
 - b. 10,5%
 - c. 95%
 - d. 5%
3. La tensión secundaria puede crecer por encima de su valor nominal, cuando la carga es
 - a. resistiva.
 - b. capacitiva.
 - c. inductiva.
 - d. una combinación serie RL.
4. La tensión medida en el arrollamiento secundario de un transformador en vacío es 150 V. Esta tensión cae a 147 V, cuando la corriente secundaria es igual a la corriente nominal a plena carga. ¿Cuál es la regulación del transformador?
 - a. 90%
 - b. 3%
 - c. 2%
 - d. 6%
5. La regulación de un transformador
 - a. depende del tipo de carga conectada a su secundario.
 - b. es independiente de la carga conectada a su secundario.
 - c. se puede determinar sólo con el secundario en vacío.
 - d. depende la tensión aplicada al primario.