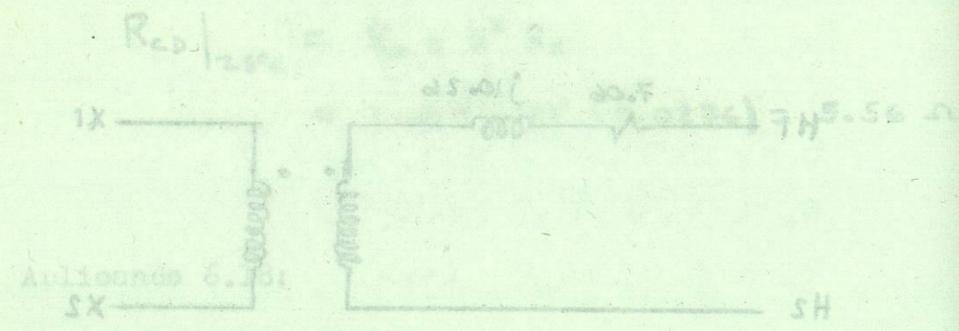


La eficiencia de un dispositivo no depende de la temperatura

$$* R_{eq} = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} = \sqrt{(0.02)^2 + (2.13)^2} = 2.13 \Omega$$

En análisis de sistemas de potencia, a menudo se desprecia la rama de excitación de los transformadores de potencia. Al transformar de este ejemplo sería representado así:



$$R_{eq} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} = \frac{5.45}{0.77} = 7.06 \Omega$$

Si se desea obtener los parámetros de cada lado del transformador, utilizando la aproximación:

que es la resistencia equivalente al transformador, cuando la rama de excitación se mira al conector y a temperatura nominal (75°C):

Cálculo de la resistencia:

$$R_1 = \frac{P_{cu1}}{I_1^2} = \frac{0.02}{(0.77)^2} = 0.033 \Omega$$

$$X_{L1} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} = \frac{2.13}{0.77} = 2.75 \Omega$$

$$De la Ec. 6.3 \quad X_{L2} = \frac{2.13}{0.77} = 2.75 \Omega$$

$$X_{L2} = \sqrt{(Z_{eq|25^\circ C})^2 - (R_{eq|25^\circ C})^2}$$

CARILLA ALFONSO RIVERA UNIVERSITARIA

La eficiencia de un dispositivo que tiene la función de convertir energía (en química eléctrica, por ejemplo) se define como la razón de la energía útil que el dispositivo entrega con respecto a la energía que recibe, siendo la potencia la razón de la energía con respecto al tiempo, la eficiencia se entonces la RAZON DE LA...

## CAPITULO VII

### EFICIENCIA Y REGULACION

$$\% \eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100 \quad 7.1$$

también:

$$\% \eta = \frac{P_{entrada} - P_{perdidas}}{P_{entrada}} \times 100 = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_{perdidas}} \times 100 \quad 7.2$$

Las PERDIDAS son la energía que se transforma irreversiblemente en formas de energía ajenas a la intención del dispositivo. Por ejemplo, para un motor eléctrico, toda la energía que se transforma en calor no es aprovechable en eje de salida, por lo que representa una pérdida. Para un transformador, las pérdidas principales radican en calentamiento por efecto Joule de los devanados y en las pérdidas por flujo alterno generadas en el núcleo y partes metálicas adyacentes, manifestándose también en forma de calor. Mediante un razonamiento de laboratorio que se deja el alumno, se concluye que para el cálculo de la eficiencia a partir de datos tomados de condiciones, la Ec. 7.2 introduce un error menor que la 7.1 cuando la eficiencia del dispositivo es alta. La eficiencia de un transformador bien diseñado es del orden del 98%, por lo que se recomienda la aplicación de la Ec. 7.2.

La REGULACION de cualquier dispositivo que entrega energía en forma estacionaria es la sensibilidad a variar las características de salida, conforme aumenta la carga (demanda de energía).

U.A.M.L

CAPÍTULO VII  
CAPITULO VII

EFICIENCIA Y REGULACION  
EFICIENCIA Y REGULACION

La eficiencia de un dispositivo que tiene la función de convertir energía ( una máquina eléctrica, por ejemplo) se define como la razón de la energía útil que el dispositivo entrega con respecto a la energía que recibe. Siendo la potencia la razón de la energía con respecto al tiempo, la eficiencia es entonces la RAZON DE LA POTENCIA ACTIVA ENTREGADA CON RESPECTO A LA POTENCIA ACTIVA RECIBIDA. La eficiencia expresada en forma porcentual recibe el nombre de PORCIENTO DE EFICIENCIA. El porcentaje de eficiencia da una idea de qué tanto por ciento de la potencia de entrada "sale" hacia la carga. Se utiliza la letra griega "  $\eta$  " ( eta) para representar a la eficiencia.

$$\% \eta = \frac{P_{\text{SALIDA}}}{P_{\text{ENTRADA}}} \times 100 \quad 7.1$$

O también:

$$\% \eta = \frac{P_{\text{ENTRADA}} - P_{\text{PERDIDAS}}}{P_{\text{ENTRADA}}} \times 100 = \frac{P_{\text{SALIDA}}}{P_{\text{SALIDA}} + P_{\text{PERDIDAS}}} \times 100 \quad 7.2$$

Las PERDIDAS son la energía que se transforma irreversiblemente en formas de energía ajenas a la intención del dispositivo. Por ejemplo, para un motor eléctrico, toda la energía que se transforma en calor no es aprovechable en el eje de salida, por lo que representa una pérdida. Para un transformador, las pérdidas principales radican en el calentamiento por efecto Joule de los devanados y en las pérdidas por flujos alternos generadas en el núcleo y partes metálicas adyacentes, manifestándose también en forma de calor. Mediante un razonamiento no muy laborioso, que se deja al alumno, se concluye que para el cálculo de la eficiencia a partir de datos tomados de MEDICIONES, la Ec. 7.2 introduce un error <sup>menor que...</sup> que la 7.1 cuando la eficiencia del dispositivo es alta. La eficiencia de un transformador bien diseñado es del orden del 98%, por lo que se recomienda la aplicación de la Ec. 7.2.

La REGULACION de cualquier dispositivo que entrega energía en forma estacionaria es la sensibilidad a variar las características de salida, conforme aumenta la carga ( demanda de energía).

El PORCIENTO DE REGULACION es simplemente la regulación expresada en forma porcentual. Mientras mayor es la regulación de un dispositivo, más costoso y sofisticado deberá ser el equipo regulador para mantener constantes las características de salida.

En un transformador, el porcentaje de regulación de voltaje es el porcentaje de variación del voltaje en terminales del secundario desde plena carga hasta vacío, expresado como fracción de VOLTAJE A PLENA CARGA.

$$\% \text{ Reg. de Voltaje} = \frac{V_L \text{ en vacío} - V_{\text{Plena carga}}}{V_L \text{ plena carga}} \times 100$$

Cuando el transformador está en vacío,

$$\frac{V_L \text{ vacío}}{V_1} \approx \frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{a}$$

$$V_L \text{ vacío} \approx \frac{V_1}{a}$$

Substituyendo en 7.3:

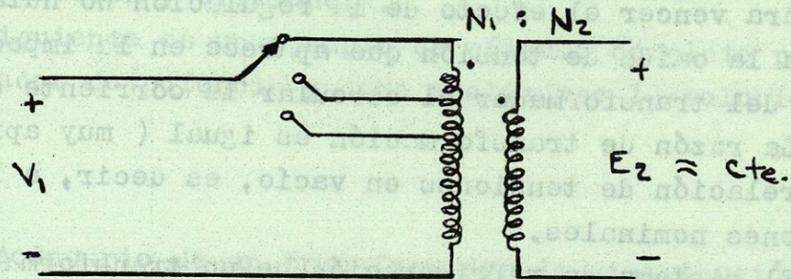
$$\% \text{ Reg} = \frac{\frac{V_1}{a} - V_{LPC}}{V_{LPC}} \times 100$$

Donde  $V_{LPC}$  significa " voltaje a plena carga " ( carga nominal). Así, en un transformador es deseable un porcentaje de regulación cercano a cero, manteniéndose entonces constante el voltaje en terminales desde vacío a plena carga.

En transformadores de distribución, a fin de sortear variaciones de tensión en el secundario debidas a variaciones en la tensión alimentada al primario, se diseña el devanado primario con derivaciones que aumentan o disminuyen el número de vueltas activas. La razón de transformación se define:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Para que  $E_2$  se mantenga constante, al aumentar  $E_1$ , debe aumentar  $N_1$ , y esto se logra cambiando un contacto variable montado en el transformador. El siguiente diagrama lo ilustra:



Este arreglo se utiliza sólo para controlar variaciones no grandes del voltaje aplicado.

Como último detalle se menciona que, para fines prácticos, los cálculos de la regulación pueden hacerse despreciando el efecto de la rama de excitación, ya que si  $E_1$  es aproximadamente constante, el efecto de  $I_{exc}$  es también aproximadamente constante desde vacío hasta plena carga.

### 7.1 DATOS DE PLACA

Supóngase que se tiene un transformador que lleva inscritos los siguientes datos: 10 KVA, 2 200: 110 v, 60 Hz. ¿Qué significan éstos en función de los términos empleados en el análisis desarrollado?

La potencia de 10 KVA es la potencia aparente nominal que puede entregar el transformador a una carga dada. El transformador fue diseñado para entregar esa potencia en forma continua. Debido a las pérdidas, la potencia que entra al transformador es mayor ( según la eficiencia) que la que éste entrega. Los voltajes 2 200 y 110 son respectivamente los voltajes nominales de los devanados de alta y baja tensión. El transformador fue diseñado para entregar la potencia nominal ( 10 KVA) a 2 200 o 110 v, según sea el devanado que actúa como secundario. En vacío,

si se aplican 2 200 V al devanado de alta tensión, se medirá en el secundario 110 V y viceversa. Sin embargo, si el transformador trabaja con carga nominal y a voltaje nominal en el secundario, deberá aplicarse un voltaje mayor que el nominal al primario para vencer el efecto de la regulación no nula, la cual se debe a la caída de tensión que aparece en la impedancia equivalente del transformador al circular la corriente de la carga.

La razón de transformación es igual ( muy aproximadamente ) a la relación de tensiones en vacío, es decir, a la relación de tensiones nominales.

El sistema de refrigeración de un transformador ( en algunos simples aberturas para el paso del aire ) se diseña para mantener la temperatura de éste a la máxima capacidad tolerada por el aislamiento de los devanados. Si se extrae de un transformador una potencia mayor que la nominal, la temperatura puede alcanzar valores peligrosos para el aislamiento, el cual al fallar causa cortos circuitos que a su vez elevan aún más la temperatura y el transformador termina por quemarse.

Como ya se mencionó, para mantener la tensión nominal en la carga a plena carga, se requiere hacer trabajar a los devanados a tensiones algo mayores que las nominales. Sin embargo, el dieléctrico entre espiras tiene una tensión límite y si se sobrepasa ésta se dañará el transformador irremisiblemente. Debe evitarse entonces el aplicar tensiones mucho mayores a las nominales a un transformador dado.

Otra razón por la que no se debe alimentar a un transformador una tensión mucho mayor que la nominal radica en la saturación del núcleo magnético. Según la Ec. 5.39, al alcanzar el núcleo las condiciones de saturación, la fuerza electromotriz inducida  $E$  alcanza un valor límite, debiendo aumentar la corriente de excitación considerablemente para que la tensión aplicada se equilibre con la tensión autoinducida más las caídas en la resistencia y reactancia de dispersión del primario.

Por último, la aplicación de un voltaje nominal al primario, pero de distinta frecuencia, puede alterar la razón de transformación.

formación al variar el efecto de la rama de excitación, según el punto de la curva de imanación en que trabaja el material del núcleo. Para variaciones pequeñas de la frecuencia, con respecto a la nominal, la alteración es despreciable en las características de regulación y eficiencia.

El siguiente es un ejemplo de cálculo completo para un transformador de potencia y debe analizarse la solución paso a paso.

EJEMPLO 7

El secundario de un transformador de distribución de 100 KVA, 60 Hz, 12 000: 2 400 V, suministra su potencia aparente nominal ( 100 KVA ) con la tensión nominal del secundario ( 2 400 V ) a una carga inductiva de f.p. = 0.8. Las resistencias y reactancias de fuga son:  $R_1 = 7 \Omega$  ;  $X_{L1} = 19 \Omega$  ;  $R_2 = 0.3 \Omega$  ;  $X_{L2} = 0.75 \Omega$ .

Los resultados tomados de un ensayo de circuito abierto, leídos del lado de baja tensión son:

V aplicado	$I_{exc}$	$P_{entrada}$
2 400 V	1.5 A	940 W
2 500	1.67	1 020
2 600	1.87	1 110

Determinar:

- El circuito equivalente referido al primario, representando los parámetros y variables de cada rama.
- El circuito equivalente referido al secundario, representando los parámetros y variables de cada rama.
- La corriente de la carga.
- Voltajes inducidos por el flujo principal (  $E_1, E_2$  ).
- Impedancia de la rama de excitación en el primario y sus componentes.
- Corriente de excitación.