



## CAPITULO VI

### OBTENCION DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR

Los valores de los parámetros del circuito equivalente de un transformador dado se calculan a partir de los datos obtenidos en dos pruebas simples que se le aplican. Estas pruebas son la PRUEBA DE VACIO y la PRUEBA DE CORTO CIRCUITO. En la prueba de vacío, con el secundario sin carga se alimenta el primario del transformador con el voltaje nominal del primario, tomando mediciones de la corriente del primario y de la potencia que toma en vacío. Como el transformador está en vacío a voltaje nominal, la corriente que toma es la corriente de excitación y la potencia que toma es prácticamente la pérdida de núcleo, ya que al ser muy pequeñas la corriente y la resistencia del primario, la pérdida del cobre del primario es despreciable.

Los calificativos de primario y secundario se aplican a los devanados, dependiendo de que estén conectados a la fuente o a la carga, respectivamente. Sin embargo, al no estar conectado un transformador, es más propio hablar de un devanado de alta tensión (o simplemente "alta") " H ", o de un devanado de baja tensión (o simplemente "baja") " X ". El devanado de "alta" es el lado del transformador de mayor voltaje (por lo tanto de más vueltas). El devanado de "baja" es el el lado de menor voltaje (embobinado de menos vueltas). La prueba de vacío puede hacerse aplicando el voltaje a cualquiera de los dos devanados. Sin embargo, cuando el transformador maneja muy altos voltajes (por ejemplo 138 000: 13 800), sería peligroso y difícil hacer la prueba de vacío aplicando 138 000 V al primario, por lo que la prueba de vacío se hace en estos casos del lado de baja tensión.

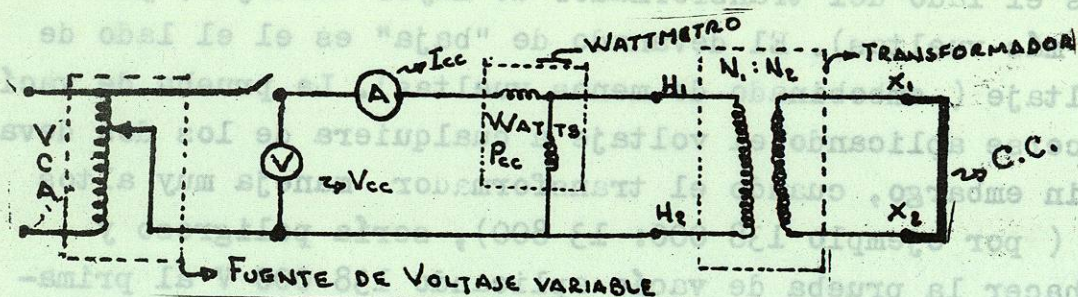
En la prueba de corto circuito, se cortocircuita el secundario del transformador y se aplica un voltaje bajo al primario, suficiente para que tome la corriente nominal, del devanado que se alimenta. Se toman lecturas de voltaje aplicado, corriente, (que es la nominal) y potencia activa consumida. Como los transformadores grandes usualmente operan con grandes corrientes en el lado de baja tensión, es conveniente realizar la prueba de corto circuito alimentando del lado de alto voltaje, bastando

un voltaje pequeño para hacer circular la corriente nominal, ya que el secundario se encuentra en corto circuito.

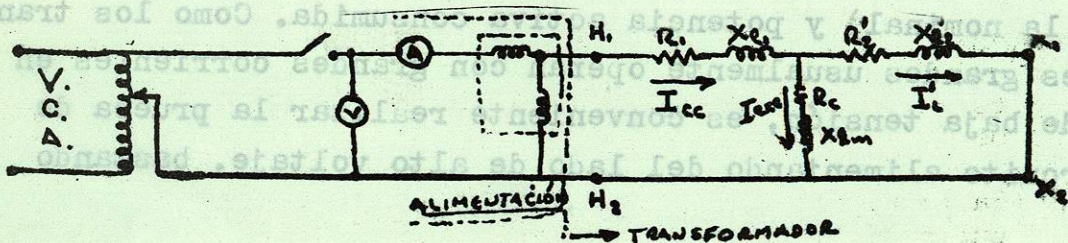
Para determinar los parámetros del circuito equivalente podemos partir de medir la resistencia del primario ( $R_1$ ) con un óhmetro (aunque ya se discutió en el apartado 5.4.2 que  $R_1$  no tiene el mismo valor en C.D. y en C.A.; se discutirá adelante un método para corregir los valores medidos).

### 6.1 PRUEBA DE CORTO CIRCUITO

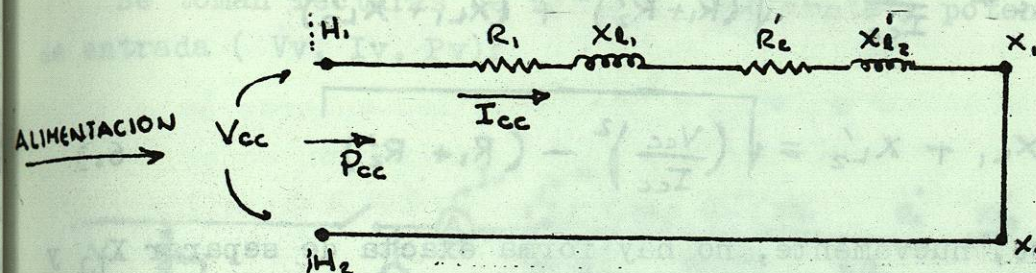
Se cortocircuitan las terminales del secundario y con una fuente variable (un transformador de relación de espiras variable, comúnmente llamado Variac) se alimenta voltaje al primario en una forma gradual, hasta que la corriente que tome sea la nominal (la de placa). Se toman lecturas de voltaje, corriente y potencia de entrada ( $V_{cc}$ ,  $I_{cc}$  y  $P_{cc}$ ):



Substituyendo el transformador por el circuito equivalente referido al primario se tiene:



Como la corriente que entra al primario es la nominal, la corriente de excitación normalmente tomará un valor aproximado de entre 1/15 a 1/40 de la corriente nominal. Esto permite simplificar el análisis considerando que la  $I_{exc}$  es aproximadamente igual a cero, quedando entonces el circuito:



La potencia de entrada es disipada por las resistencias  $R_1$  y  $R_2'$ , de donde:

$$P_{cc} = I_{cc}^2 (R_1 + R_2') \quad 6.1$$

Como se discutió en capítulos anteriores, las resistencias de los devanados no son iguales al medirlas en C.A. o en C.D. Existen varias formas de zanjar esta cuestión, de acuerdo a la precisión deseada. En la forma más sencilla, puede medirse  $R_1$  con un óhmetro o un puente de Kelvin, y substituir este valor en la Ec. 6.1. De ahí se obtendrá un valor para  $R_2$ . Otra opción es la de considerar que ambas resistencias son iguales al referirlas al mismo lado; en tal caso no es necesario conocer  $R_1$  o  $R_2$ , ya que al ser iguales  $R_1$  y  $R_2'$  su valor puede obtenerse de la Ec. 6.1. Una tercera opción, más precisa, es la de suponer que la relación de los valores de  $R_1$  a  $R_2$  en corriente alterna es igual a la relación de los valores en corriente directa. De tal forma:

$$\frac{R_{1CD}}{R_{2CD}} = \frac{R_{1CA}}{R_{2CA}} \Rightarrow R_{1CA} = \left( \frac{R_{1CD}}{R_{2CD}} \right) R_{2CA} \quad 6.2$$

Los valores de  $R_{1CD}$  y  $R_{2CD}$  se miden con un puente, y de ahí se tiene nuevamente una sola incógnita en la Ec. 6.1.

De cualquier manera, el valor de  $R_2'$  debe ser muy aproximado al de  $R_1$ , para un transformador bien diseñado.

La impedancia de entrada estará dada por:

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} = \sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_{L1} + X_{L2}')^2}$$

$$X_{L1} + X_{L2}' = \sqrt{\left(\frac{V_{cc}}{I_{cc}}\right)^2 - (R_1 + R_2')^2} \quad 6.3$$

En este caso, nuevamente, no hay forma exacta de separar  $X_{L1}$  y  $X_{L2}'$ . Deberá aplicarse cualquiera de los dos criterios mencionados anteriormente: considerar que  $X_{L1}$  y  $X_{L2}'$  son iguales, o considerar que la relación entre ellas es igual a la relación entre las resistencias a la corriente directa:

$$\frac{R_{1cd}}{R_{2cd}} = \frac{X_{L1}}{X_{L2}'} \Rightarrow X_{L1} = \left(\frac{R_{1cd}}{R_{2cd}}\right) X_{L2}' \quad 6.4$$

Hasta este punto se conocen los valores de  $R_1$ ,  $R_2'$ ,  $X_{L1}$  y  $X_{L2}'$ . De la Ec. 5.49, se tiene que

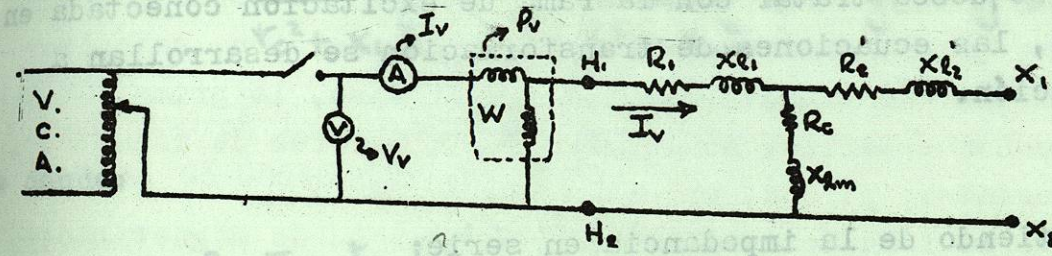
$$X_{L2} = \frac{X_{L2}'}{a^2} \quad \text{y} \quad R_2 = \frac{R_2'}{a^2} \quad 6.5$$

## 6.2 PRUEBA DE VACIO O DE CIRCUITO ABIERTO

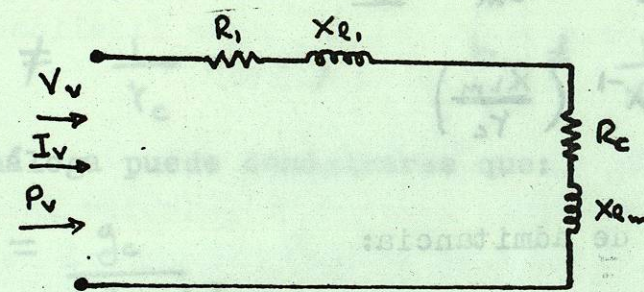
Anteriormente se planteó la conveniencia de realizar esta prueba alimentando el lado "de baja" del transformador. Sin embargo, en este análisis se alimentará al transformador del mismo lado que en la prueba de corto circuito, a fin de partir del mismo circuito equivalente. Esta simplificación es permisible ya que se trata de un análisis teórico. En la práctica, simplemente se referirán los parámetros al primario o al secundario según convenga.

En esta prueba se alimenta el voltaje nominal del devanado, manteniendo las terminales del secundario en circuito abierto. Debe tomarse la precaución de aislar correctamente las terminales del secundario, ya que al alimentar el primario con su voltaje nominal, aparecerá en el secundario su propio voltaje nominal.

Se toman lecturas de voltaje, corriente y potencia activa de entrada ( $V_v$ ,  $I_v$ ,  $P_v$ ):



Como no circula corriente por  $R_2'$  y  $X_{L2}'$ , el circuito se simplifica:



La potencia de entrada será disipada por  $R_1$  más  $r_c$ :

$$P_v = I_v^2 (R_1 + r_c) \quad 6.6$$

De aquí:

$$r_c = \frac{P_v}{I_v^2} - R_1 \quad 6.7$$

(Usualmente se desprecia  $R_1$  en las Ecs. 6.6 y 6.7, por ser mucho menor que  $r_c$ )