

AUTOTRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN SECO

Generalidades: esta máquina puede ser considerada como un caso particular del transformador o del bobinado con núcleo de hierro. Tiene un solo bobinado sobre el núcleo, con una parte del arrollamiento común a ambos, primario y secundario, por lo tanto, dispone de cuatro bornes, dos para cada circuito y por ello presenta puntos en común con el transformador. En realidad, lo que conviene es estudiarlo independientemente, pero utilizando las leyes y reglas que ya vimos para el transformador tradicional, pues así se simplifica notablemente el proceso teórico, ver Figura 0.-

Para ciertos tipos de servicio, el autotransformador es superior al transformador de dos arrollamientos, ofreciendo mejor regulación, peso y tamaño reducido por kVA, costo bajo, rendimiento alto y corriente de magnetización menor. -

En el autotransformador se transforma únicamente una parte de los kVA de entrada del primario al secundario por la acción transformadora, mientras que los restantes se transfieren directamente de las líneas primarias a las líneas secundarias. Las cantidades relativas de potencia transformada y potencia transferida dependen de la relación de transformación.-

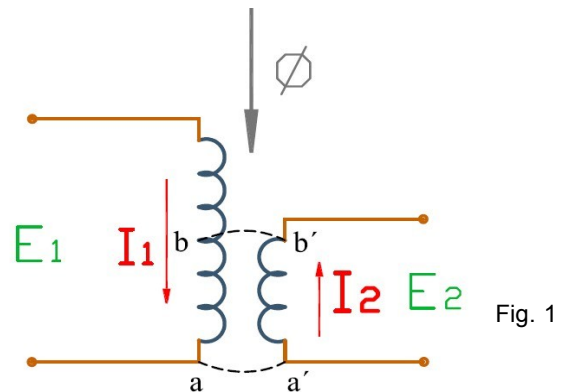
Los autotransformadores ofrecen la mayor ventaja cuando la relación de transformación es pequeña; cuanto menor es la relación de transformación, menor es el tamaño físico del autotransformador requerido para alimentar una carga dada.-

En la práctica, se emplean los autotransformadores en algunos casos en los que presenta ventajas económicas, sea por su menor costo o su mayor eficiencia, pero estos casos están limitados a ciertos valores de la relación de transformación, como se verá luego. No obstante es tan común que se presente el uso de relaciones de transformación próximas a la unidad, que corresponde dar a los autotransformadores la importancia que tienen, por haber adquirido en la práctica una gran difusión.-

Para estudiar su funcionamiento, haremos como con los transformadores, es decir, primero consideraremos el principio en que se basan desde el punto de vista electromagnético, para obtener las relaciones entre las tensiones y las corrientes de sus secciones, ya que no se puede hablar de bobinados en plural. Luego veremos el diagrama vectorial, muy parecido al de transformadores, pero con diferencias que lo distinguen netamente. Finalmente haremos un estudio comparativo entre el autotransformador y el transformador de iguales condiciones de servicio, o sea intercambiable en su lugar de utilización, para demostrar cual es más conveniente o en qué casos lo es.-

Un transformador monofásico tiene el arrollamiento primario y secundario eléctricamente independiente. Los bornes del trafo tienen un determinado potencial, independiente uno de otro. En el primario se tiene fase y neutro, en el secundario ya no, cualquiera puede ser neutro. Es posible reunir en uno solo los dos devanados de un transformador, Dados los dos devanados (Figura 1), si unimos los extremos homólogos, por ejemplo, a con a', no ocurrirá nada (no hay diferencia de potencial entre ellos), pero hallaremos otro punto "b" cuyas tensiones coincidirá en todo momento con b' y que corresponde a aquel que tengan el mismo número de espiras o la misma diferencia relativa de potencial.

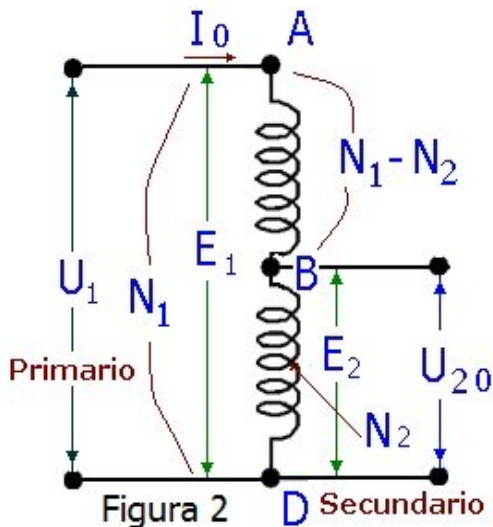
Uniéndolos, tampoco ocurrirá nada, pues ambos tienen el mismo potencial, pero observamos que, entonces, el bobinado secundario deja de tener importancia ya que ambos se pueden confundir en uno solo (Figura 2). Desde ya que, al eliminar un bobinado, esta máquina es más chica y más barata. La energía se transfiere del primario al secundario parte por conducción y parte por transformación o inducción electromagnética.



Principio de Funcionamiento: Como toda bobina con núcleo de hierro, en cuanto se aplica una tensión alterna U_1 al bobinado entre A y D que llamaremos primario, circula una corriente de vacío que llamaremos I_0 y que sabemos está formada por dos componentes, una parte es la corriente magnetizante y la otra la histerética. I_m

AUTOTRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN SECO

atrasada 90° respecto de la tensión y la otra I_h que está en fase con la tensión y es la que cubre las pérdidas en el hierro en nuestro modelo circuital. Al circular la corriente alterna magnetizante I_m se producirá un campo magnético alternado, que abrazará las espiras del bobinado e inducirá una Fem. entre los bornes A y D de valor, según ya sabemos: $E_1 = E_{AD} = 4,44 N_{AD}.f.\Phi$ (1)



Donde hemos puesto a la Fem. y al número de espiras subíndice doble para distinguir exactamente hasta que extremos abarcan.

Sabemos que f representa la frecuencia de la corriente alterna circulante y Φ el flujo máximo o amplitud del flujo magnético producido por la corriente magnetizante.

Pero si hemos tomado una derivación en el punto B del bobinado, entre éste y D se tendrá parte de la Fem. anterior, pues considerando esa sección del bobinado, la Fem. inducida en ella será:

$$E_2 = E_{BD} = 4,44 N_{BD}.f.\Phi$$
 (2)

Por comparación con la expresión anterior, notemos que se ha designado con E_1 a la Fem. entre los puntos A y D y se designó con E_2 a la Fem. inducida entre el B y el D. Si dividimos estas dos expresiones entre sí, tenemos, como lo hacíamos con los transformadores:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{E_{AD}}{E_{BD}} = \frac{N_{AD}}{N_{BD}} = n$$
 (3)

De modo que las ff. ee. mm. son directamente proporcionales a los números de espiras, como ya sabíamos. Se llama **relación de transformación n** al cociente entre las ff. ee. mm. total o primaria y parcial o secundaria, según se observa en la Figura 2.

Veamos qué relación hay entre las ff. ee. mm. inducidas en las dos secciones, a ambos lados del punto de derivación B.

Podemos escribir: $E_{AB} = E_{AD} - E_{BD}$ (4) lo cual es evidente. Ahora podemos dividir esta expresión por la Fem. de la sección BD, con el objeto de realizar un artificio algebraico que nos será útil:

$$\frac{E_{AB}}{E_{BD}} = \frac{E_{AD}}{E_{BD}} - \frac{E_{BD}}{E_{BD}} \quad (5) \quad \text{Y resulta:} \quad \frac{E_{AB}}{E_{BD}} = \frac{E_{AD}}{E_{BD}} - 1 = \frac{E_1}{E_2} - 1 = n - 1$$
 (6)

Que es la relación que buscamos y que es muy interesante, pues establece la proporción en que se hallan esas dos ff. ee. mm.

AUTOTRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN SECO

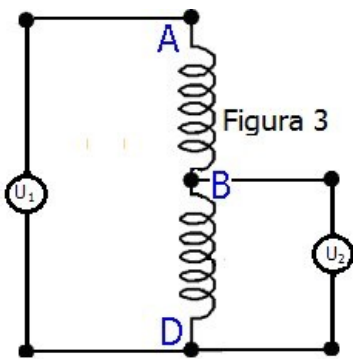


Figura 3

Recordemos ahora algo que dijimos para los transformadores, si conectáramos, como en la Figura 3 un voltímetro entre los bornes primarios y otro entre los bornes secundarios, el cociente entre sus respectivas lecturas

debe dar la relación de transformación práctica:
$$\frac{U_1}{U_2} = n \quad (7)$$

Diagrama vectorial del autotrofo en vacío: estando el autotransformador en vacío, su funcionamiento es el que corresponde a una simple bobina, la total AD, conectada a la red primaria y el diagrama será similar al visto para trafo en vacío, en

el que dibujamos las ff.ee.mm. hacia abajo, pero lo que interesa tener en el diagrama es la opuesta $-E_1$, que debe ser cubierta por la tensión aplicada. La corriente que circula es la de vacío I_0 , que tiene sus dos componentes conocidas: la magnetizante I_m cuya misión es producir el flujo magnético, por lo que estará en fase con éste, y la de pérdidas I_h que, como debe cubrir las pérdidas en el hierro del núcleo, debe estar en fase con la tensión, para que el producto de esos dos vectores dé una potencia, que es la de vacío, como sabemos.-

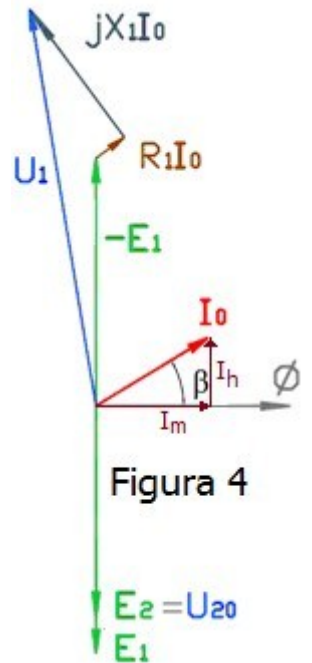


Figura 4

Como en transformadores, dibujamos en fase con la corriente de vacío la caída en R_1 a continuación de $-E_1$ y en cuadratura, adelantado 90° el vector que representa la caída en la reactancia de dispersión X_1 tal que sumando las dos caídas, o sea el triángulo de caídas, se tiene la tensión aplicada U_1 como se observa en la Figura 4. Con esto queda completo el diagrama vectorial de funcionamiento en vacío del autotransformador, y llegamos a la conclusión de que, al no utilizarse el borne intermedio B, el conjunto no es mas que un bobinado con núcleo de hierro.-

Vale entonces la misma ecuación de equilibrio para el primario en vacío:
$$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + R_1 \vec{I}_0 + jX_1 \vec{I}_0 \quad (8)$$

Para que esta bobina con núcleo de hierro, pueda ser llamado autotransformador, hay que conectar una carga entre los puntos B y D pues recién entonces tendremos un funcionamiento que cumplirá las condiciones que se estudian a continuación.

Autotransformador con carga:

Si se conecta una impedancia Z entre los puntos B y D, tal como muestra la Figura 5, sin entrar en consideraciones sobre el carácter de Z , por ahora, se producirá una variación en las condiciones de funcionamiento. Z puede tener carácter óhmico, inductivo ó capacitivo. Al conectarla entre dos puntos que acusan una diferencia de potencial, circulará una corriente, que llamaremos I_2 con subíndice correspondiente al secundario desfasada el ángulo de la impedancia de carga de la tensión que la alimenta U_2 . -

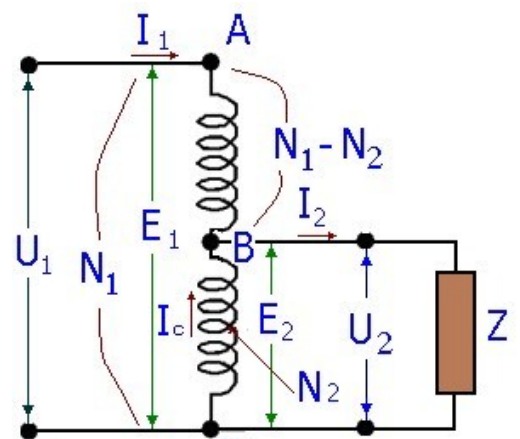


Figura 5

Para determinar el sentido instantáneo de esta corriente secundaria hagamos el siguiente razonamiento: en un dado instante, la Fem. inducida es tal que el punto A tiene mayor potencial que el D, los vectores de las ff.ee.mm. E_1 y E_2 podemos imaginarlos dibujados con la flecha hacia arriba. La tensión primaria debe vencer a la Fem.

primaria, luego en ese instante la corriente primaria circula con sentido contrario al que correspondería a la Fem. primaria, es decir de A hacia D. En el secundario, en cambio, la tensión en los bornes y la Fem. tiene el mismo sentido, luego la corriente circula hacia arriba, es decir de D hacia B. ¿Qué sucede en el tramo BD donde tenemos dos corrientes encontradas?

AUTOTRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN SECO

Que solo circulará la diferencia entre ambas, es decir, que en el tramo secundario del bobinado circula una corriente: $I_{BD} = I_2 - I_1$ (9) Con la aclaración de que esta diferencia tiene carácter vectorial ya que surge de la 1a. Ley de Kirchhoff: $\sum \vec{I} = 0 \Rightarrow \vec{I}_1 + \vec{I}_{BD} - \vec{I}_2 = 0$.

Ya se comienza a palpar una de las ventajas del autotrafo: en una de las secciones, la común, solo circula la diferencia entre la corriente primaria y secundaria. Quiere decir que en el tramo AB tenemos la corriente I_1 , en el BD la diferencia ($I_2 - I_1$) y en el circuito de carga tenemos I_2 .

En estas consideraciones estamos prescindiendo de la corriente de vacío, porque sabemos que es muy pequeña comparada con la primaria de carga. Procediendo así, se pueden hacer simplificaciones importantes.

Haciendo abstracción de la I_m , por su pequeñez, sabemos que los amperios-vueltas primarios deben ser igual a los amperios-vueltas secundarios. Luego por lo estudiado para transformadores, podemos escribir $N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$ (10) Aclarando que esta expresión es algebraica y no vectorial y surge de despreciar la I_0 .

Despejando se tiene $\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = n$ (11) Relación similar a la del trafo, llamada relación práctica de corrientes, inversa a la relación de tensiones.-

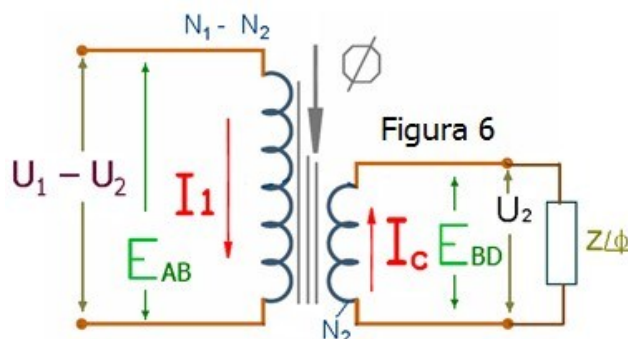
Si queremos conocer la relación entre las corrientes circulantes en la sección superior e inferior del bobinado, podemos proceder así: en primer lugar sabemos que: $I_{BD} = I_2 - I_1$ (12) Y si dividimos esta ecuación por la corriente primaria, es decir por la corriente que circula entre A y B, se tiene:

$$\Rightarrow \frac{I_{BD}}{I_{AB}} = \frac{I_2}{I_{AB}} - \frac{I_1}{I_{AB}} \quad (13)$$

Ahora analicemos lo que ha resultado; el primer término es el cociente entre las corrientes que queríamos obtener; el segundo término es la relación de transformación, pues el denominador es la corriente I_1 , y el tercer término es la unidad. Luego se tiene: $\Rightarrow \frac{I_{BD}}{I_{AB}} = n - 1$ (14) relación cuyo primer miembro es inverso al similar

que se obtuvo para las tensiones y el segundo miembro es igual al de la expresión que daba la relación entre de las secciones superior e inferior. (6) $\Rightarrow \frac{E_{AB}}{E_{BD}} = n - 1 \Rightarrow \frac{I_C}{I_1} = n - 1 = \frac{I_{BD}}{I_{AB}}$ (14)

Considerando aisladamente estas dos expresiones de relaciones directas entre Fem de dos secciones e inversa de corrientes circulantes en esas mismas secciones con un segundo miembro igual a $\Rightarrow (n - 1)$, podemos suponer al autotransformador, en lo que respecta a la potencia transferida por inducción electromagnética, es decir, al efecto transformador, como equivalente a un transformador que en lugar de n tenga la relación de transformación $(n - 1)$ y cuyo primario sea la sección superior AB y cuyo secundario sea la sección BD.-



Esto es importante en lo que respecta a la transferencia de energía desde la red al circuito de carga del 2do., pues en ese aspecto, parte de la energía se transfiere por vía electromagnética, como en los transformadores y parte por vía eléctrica directa (conducción) como en un circuito cerrado simple de corriente alternada.-

La parte que transfiere energía por vía electromagnética es la AB, que obra como *primario ficticio*, y la parte que la recibe transferida por el flujo de campo variable es la BD, *secundario ficticio*. En la Figura 6 observamos como sería este transformador ficticio.