

EJEMPLO DE ÍNDICE HORARIO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Miguel Angel Rodríguez Pozueta

En el transformador trifásico de la figura adjunta:

- Determine el índice horario.
- Indique la forma de conexión según la nomenclatura normalizada.
- Calcule la relación entre las relaciones de transformación de tensiones m_T y la relación de transformación m (suponga que el primario es el lado de A.T.).

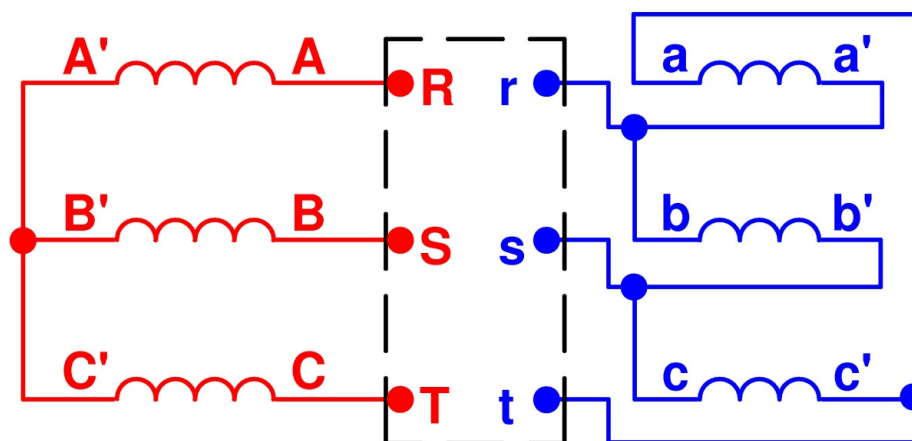


Fig. 1: Esquema de conexiones del transformador

Resolución:

- Recuérdese que la designación normalizada de los terminales de un transformador trifásico es así:
 - * Se denominan con letras mayúsculas (A, B, C, A', B', C') los terminales del devanado de alta tensión (A.T.) y con minúsculas (a, b, c, a', b', c') los del de baja tensión (B.T.).
 - * Los dos extremos de la misma fase están designados con la misma letra, aunque en uno de ellos dicha letra llevará apóstrofe (a y a', A y A', b y b', ...).
 - * Una fase del primario y otra del secundario bobinadas sobre la misma columna del circuito magnético del transformador tienen sus tensiones prácticamente en fase y la designación de sus terminales son con las mismas letras (en mayúsculas en el lado A.T. y en minúsculas en el lado de B.T.). De esta forma las tensiones $V_{AA'}$ y $V_{aa'}$ están en fase y lo mismo sucede con $V_{BB'}$ y $V_{bb'}$ y con $V_{CC'}$ y $V_{cc'}$.

Es sabido que en un sistema trifásico las tensiones de línea forman un triángulo equilátero, cuyos vértices se corresponden con las tres fases de la red (Fig. 2). El centro de este triángulo representa el neutro. De esta forma las tensiones fase-neutro van desde el centro de este triángulo hasta sus vértices (Fig. 2).

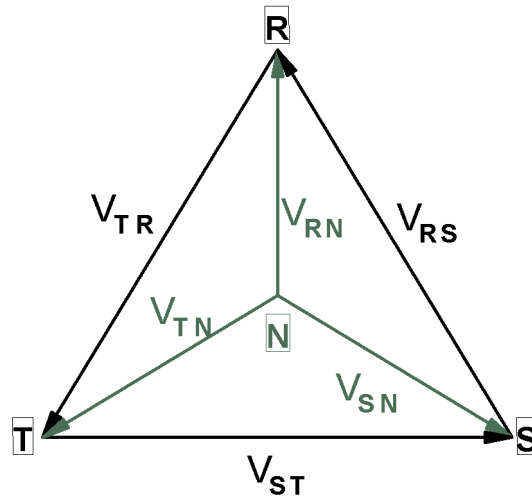


Fig. 2: Diagrama fasorial de tensiones de un sistema trifásico equilibrado

En el caso del transformador que nos ocupa, el devanado de A.T. está conectado en estrella, por lo que las tensiones de fase son iguales las tensiones fase-neutro de la red a la que está conectado. Tal como están realizadas las conexiones del transformador (Fig. 1) se tiene que los terminales A', B' y C' están a la tensión del neutro de la red de A.T. y los terminales A, B y C están conectados a las fases de esta red. Por lo tanto, de la Fig. 2 se deduce el diagrama fasorial del bobinado de A.T. representado en la Fig. 3a.

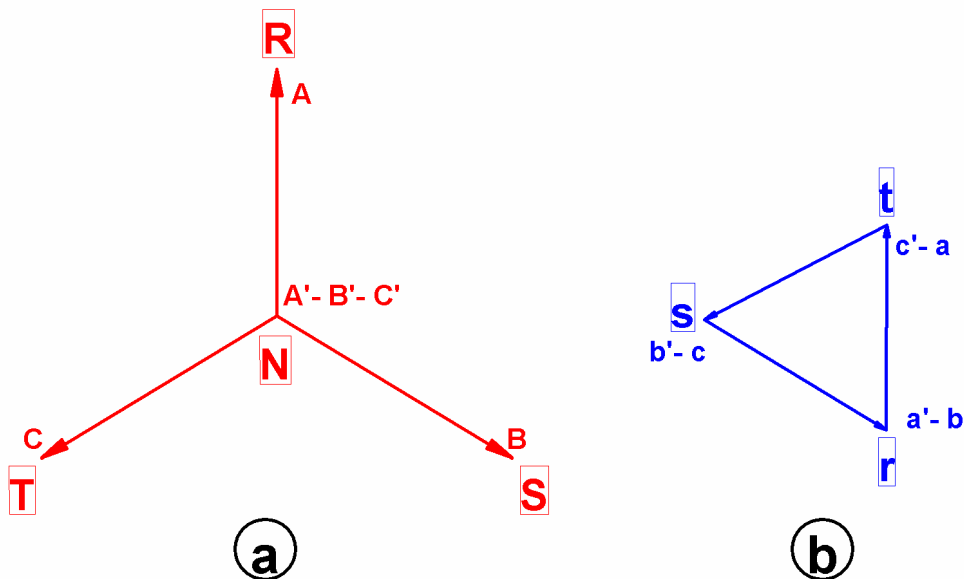


Fig. 3: Diagramas fasoriales de los devanados de A.T. (a) y de B.T. (b) del transformador

A continuación se dibuja el diagrama fasorial del arrollamiento de B.T. teniendo en cuenta que las tensiones $V_{aa'}$, $V_{bb'}$ y $V_{cc'}$ están en fase, respectivamente, con $V_{AA'}$, $V_{BB'}$ y $V_{CC'}$ y que, dada la conexión triángulo de este devanado, estas tensiones son de línea y forman, por lo tanto, un triángulo equilátero. Además, según se aprecia en la Fig. 1, los terminales a y c' están a igual tensión y lo mismo sucede con los terminales b y a' y con c y b'. También se tiene que, según la Fig. 1, las fases r, s y t de la red del lado de B.T. se corresponden, respectivamente, con los terminales a', b' y c' del transformador. Con todo ello se obtiene el diagrama fasorial del bobinado de B.T. representado en la Fig. 3b.

Si se dibujan superpuestos los diagramas fasoriales del devanado de A.T. (Fig. 3a) y del devanado de B.T. (Fig. 3b) de forma que los centros de ambos diagramas coincidan se obtiene el diagrama fasorial de la Fig. 4.

Teniendo en cuenta que la tensión fase-neutro V_m del lado de B.T. es igual a la tensión entre el terminal a' (a la tensión de la fase r de la red) y el neutro de la red de B.T. (centro del triángulo de tensiones de línea del lado de B.T.), se observa en la Fig. 4 que el desfase entre las tensiones homólogas fase-neutro V_{RN} del lado de A.T. y V_m del lado de B.T. (ángulo de desfase medido desde la tensión de A.T. a la de B.T. siguiendo el sentido de las agujas del reloj) es de 150° . Dividiendo este ángulo entre 30° , se obtiene que el índice horario de este transformador es 5.

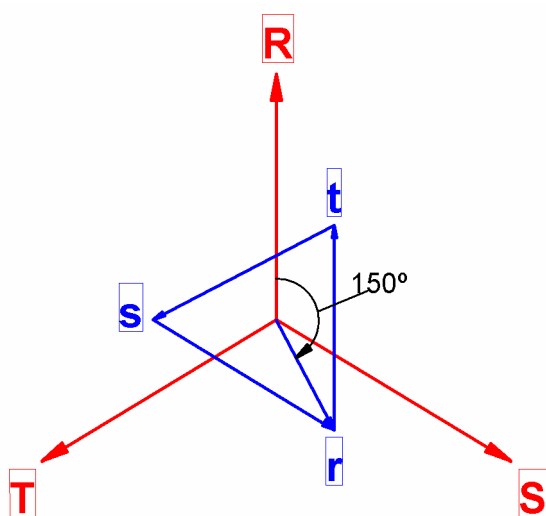


Fig. 4: Diagrama fasorial conjunto de ambos devanados del transformador

Otra forma de obtener el índice horario a partir de la Fig. 4 es asimilar los fasores que representan a las tensiones V_{RN} y V_m como las agujas de un reloj. La aguja larga es la correspondiente a la tensión de A.T. y la corta es la que se corresponde con la tensión de B.T. La hora que indican entonces estas agujas es el índice horario del transformador.

El índice horario de este transformador es 5.

- b)** La designación normalizada de la forma de conexión de un transformador se realiza por medio de dos letras y un número (por ejemplo: Yy0, Dy11, Dd6, ...). La primera letra es mayúscula e indica la forma de conexión del devanado de A.T., la segunda letra es minúscula e indica la forma de conexión del bobinado de B.T. y el número indica el índice horario.

Las letras que representan la forma de conexión son:

Estrella:	Y y
Triángulo:	D d
Zig-zag:	Z z

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

En este caso el devanado de A.T. está conectado en estrella, el de B.T. en triángulo y el índice horario es 5. Luego, la designación normalizada de este transformador es Yd5.

La designación normalizada de la forma de conexión de este transformador es Yd5.

- c) La relación de transformación de tensiones m_T se obtiene por cociente entre las tensiones de línea del primario V_{1L} y del secundario V_{2L} , mientras que la relación de transformación m se obtiene por cociente entre las tensiones de fase del primario V_1 y del secundario V_2 ; es decir, por cociente entre el número de espiras del primario N_1 y del secundario N_2 del transformador.

Al tratarse de un transformador con la conexión Yd y estar alimentado por el lado de A.T., el primario está conectado en estrella y el secundario en triángulo. Por consiguiente se cumplirá que:

$$\text{Primario (Estrella): } V_{1L} = \sqrt{3} \cdot V_1 \qquad \text{Secundario (Triángulo): } V_2 = V_{2L}$$

Luego, se tiene que:

$$m_T = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3} V_1}{V_2} = \sqrt{3} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{3} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{3} \cdot m$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot m_T$$

La relación de transformación m de este transformador se obtiene dividiendo la relación de transformación de tensiones m_T entre $\sqrt{3}$.