

Boletín 134

TODO SOBRE GRUPOS DE CONEXION EN TRANSFORMADORES TRIFASICOS

Boletín técnico N°134
PARTE 1
Ing. Gregor Rojas

TODO SOBRE GRUPOS DE CONEXION EN TRANSFORMADORES TRIFASICOS

PARTE 1

Por:

Ing. Gregor Rojas
GERENTE NACIONAL
MERCADEO Y VENTAS
División materiales eléctricos

1. General.

Primero debemos partir que un transformador es un componente eléctrico diseñado para cambiar el nivel del voltaje y de la corriente, de acuerdo con necesidades específicas. Está conformado por dos bobinas enrolladas alrededor de un núcleo.

El grupo de conexión es el método de la Comisión Electrotécnica Internacional cuyas siglas son IEC para categorizar las diferentes configuraciones de conexiones de los bobinados de un transformador trifásico tanto del lado de alto voltaje como el de bajo voltaje.

El grupo de conexión muestra la configuración de los bobinados del transformador y la diferencia en ángulo de fase existente entre ellos. Para ilustrar con un ejemplo, imaginemos un transformador trifásico conformado por un bobinado de alta tensión en estrella y un bobinado de baja tensión en delta, adelantado 330 grados, esto se expresa como Yd11.

Las fases de un transformador polifásico se pueden conectar internamente de maneras diversas, dependiendo de las características requeridas del transformador.

En un sistema trifásico, puede ser necesario conectar un sistema de tres cables a un sistema de cuatro cables, o viceversa. Debido a esto, los transformadores se fabrican con una variedad de configuraciones de bobinados para conseguir estos requisitos. Si se conectan los bobinados de

forma diferente, se producirán diferentes ángulos de fase entre los voltajes de los bobinados.

Para conectar varios transformadores en paralelo, todos deben tener el mismo grupo de conexión, en caso contrario se producirán corrientes circulantes y otras perturbaciones en el sistema.

2. Conexión de transformadores

Es importante resaltar que generalmente un transformador trifásico es fabricado de una sola pieza, también podría ser conformado por tres transformadores monofásicos, estando separados conformando un banco trifásico o sobre un mismo núcleo.

2.1 Conexión estrella

En la conexión estrella se unen en un mismo punto los tres extremos de los devanados que poseen la misma polaridad, existiendo dos formas básicas según se unan, en las tomas U, V, W o bien sea en las tomas U', V', W'. En la figura 1 podemos apreciar como sería esta conexión en el lado primario del transformador, siendo de igual forma posible realizarlo en el lado secundario.

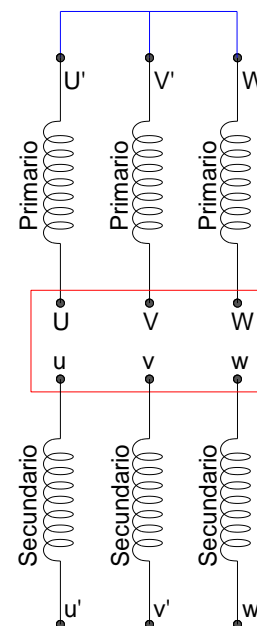


Figura1. Conexión en estrella

2.2 Conexión delta

En la conexión en delta se unen sucesivamente los extremos de polaridad opuesta de cada dos devanados hasta cerrar el circuito. Según sea el orden de sucesión se obtienen dos configuraciones.

En la figura 2 podemos apreciar como sería esta conexión en el lado primario del transformador, siendo de igual forma posible realizarlo en el lado secundario.

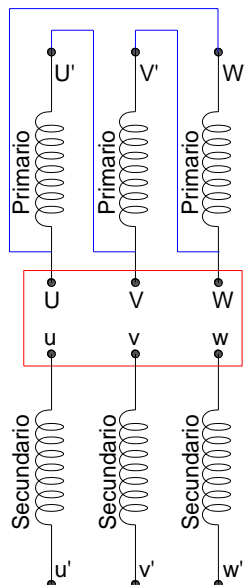


Figura 2. Conexión en delta

2.3 Conexión zig-zag

La conexión zig-zag en la práctica sólo se emplea en el lado de baja tensión, es decir en el secundario. Para esta aplicación generalmente los transformadores tienen subdivididos en dos partes iguales los devanados del secundario, de las cuales una de sus partes es conecta en conexión estrella como vimos anterior y posteriormente cada rama se empalma en serie con las bobinas invertidas de las fases adyacentes, siguiendo un determinado orden cíclico.

En la figura 3 podemos apreciar como sería esta conexión en el lado secundario del transformador

donde como mencionamos antes aplica frecuentemente, siendo de igual forma posible realizarlo en el lado primario.

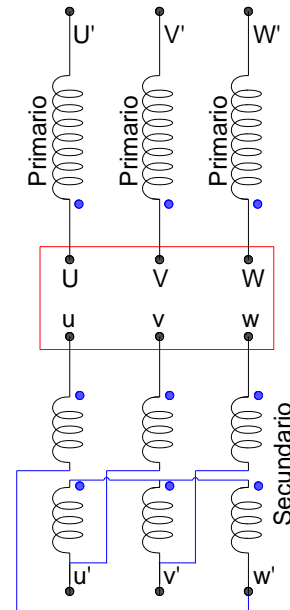


Figura 3. Conexión en zig-zag

4. Grupo vectorial de transformadores

Los devanados trifásicos del transformador se pueden conectar de varias maneras. Sobre la base de la conexión de los devanados, se determina el grupo vectorial del transformador.

El grupo de vectorial del transformador se indica en la placa de características del transformador colocada sobre el mismo por cada fabricante. El grupo vectorial indica la diferencia de fase entre los lados primario y secundario, introducida debido a esa configuración particular de la conexión de los devanados del transformador.

Tenga siempre presente determinar el grupo vectorial del transformador antes de realizar la conexión de dos o más transformadores en paralelo.

Si dos transformadores de diferentes grupos de vectoriales son conectados en paralelo, se producirá una diferencia de fase entre el

secundario de los transformadores y grandes flujos de corriente circulante entre los dos transformadores, lo que es muy perjudicial.

En la figura 4 se puede observar la placa de un fabricante donde se aprecia claramente el grupo vectorial del transformador.

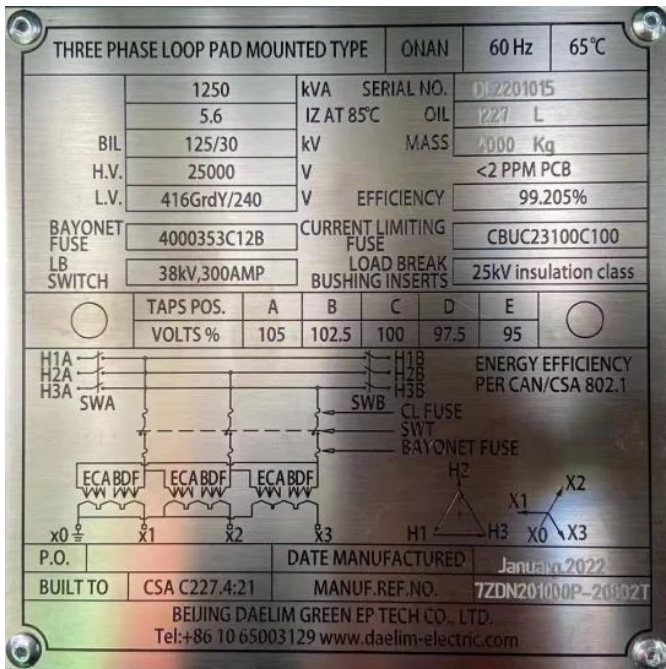


Figura 4. Placa de características transformador

5. Grupo de conexión del transformador

El grupo de conexión del transformador está representado por letras mayúsculas que indican el modo de conexión en el bobinado de alta tensión o lado primario del transformador. La letra minúscula indica el modo de conexión en el bobinado de baja tensión o del lado secundario.

Los grupos de conexión constituyen 26 tipos posibles, para transformadores trifásicos de dos devanados por fase. Todas las bobinas de cada lado del transformador trifásico (B.T. o A.T.) pueden ser conectadas en Y (estrella), Δ (delta) o en Z (conexión z).

D (o d) es cableado triangular. Se utiliza para indicar la relación de fase entre los voltajes de línea del lado primario y secundario.

El fasor de voltaje del lado primario actúa como la manecilla de los minutos y el fasor de voltaje de la línea del lado secundario actúa como la manecilla de las horas.

Cuando el fasor de voltaje del lado primario actúa como el minutero y apunta a la posición de las 12 en punto del reloj, el fasor de voltaje de la línea del lado secundario está en la posición de las 11 en punto del reloj.

El grupo de conexión del devanado del transformador es diferente del modo de conexión de los devanados trifásicos primario y secundario del transformador. La relación de fase de cada voltaje de línea correspondiente entre los lados primario y secundario es diferente.

Cuando la planta de energía necesita usar dos voltajes diferentes para suministrar energía al sistema de energía o a los usuarios, o cuando la subestación necesita conectar varios niveles de sistemas de energía con diferentes voltajes, generalmente se usan transformadores de tres devanados.

6. Denominaciones de conexión de bobinado

Las denominaciones o designaciones de conexión se realizan mediante letras y números de acuerdo con las siguientes nomenclaturas:

6.1 Primer símbolo.

Para el bobinado de alto voltaje o primario del transformador se empleen letras mayúsculas como sigue.

- D = Delta,
- S = Estrella
- Z = Estrella interconectada
- N = Neutro

6.2 Segundo símbolo.

Para el bobinado de baja tensión o secundario del transformador empleando letras minúsculas como sigue:

d = Delta
s = Estrella
z = Estrella interconectada
n = Neutro

6.3 Tercer Símbolo.

El desfase entre los voltajes compuestos se mide con el denominado índice horario.

Este índice horario muestra los desfases en múltiplos de 30° de tal forma que:

$30^\circ = 1$
 $60^\circ = 2$
 $90^\circ = 3$
 $120^\circ = 4$
 $150^\circ = 5$
 $180^\circ = 6$
 $210^\circ = 7$
 $240^\circ = 8$
 $270^\circ = 9$
 $300^\circ = 10$
 $330^\circ = 11$

Tenga presente, que para 360° no hay desfase, ya que es el mismo es el mismo ángulo que 0°

7. Determinación del índice horario.

Dependiendo de los tipos de conexión existentes entre los devanados de un transformador, pueden surgir diferencias de fase entre los voltajes compuestos del primario y el secundario.

Para que esta diferencia de fase quede sin variación determinada se presumirá que el transformador se alimenta a través de un sistema equilibrado de tensiones de sentido directo, es decir, RST, UVW o ABC, según la notación aplicada. Esto implica que serán ángulos positivos

los de retraso del lado de baja tensión respecto al devanado de alta tensión.

Como comentamos anteriormente, los ángulos se miden en múltiplos de 30° , asignando 1 a 30° , 2 a 60° , 3 a 90° , y así sucesivamente. Lo anterior permite establecer una equivalencia entre los ángulos y las horas en del uso horario.

7.1 Pasos para determinar el índice horario:

A continuación, veremos cómo proceder para obtener el grupo vectorial de un transformador.

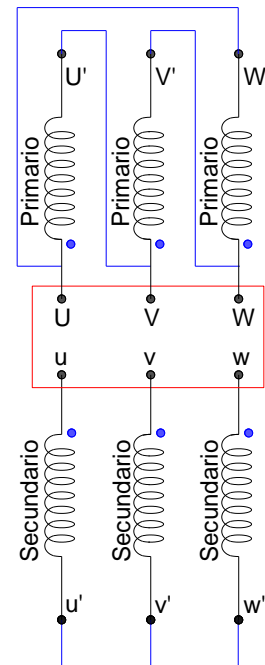


Figura 5. Índice horario

- Se representan las FEM. simples del devanado primario, de tal forma que el terminal U se sitúa en la parte superior del diagrama de manera que coincida con las 12.00 del reloj.
- Representamos las FEM secundarias simples. Para ello debe tenerse en cuenta que los devanados primario y secundario situados en la misma columna del núcleo producen FEM que están en fase, para los

pares homólogos y en contrafase para pares no equivalentes.

- Terminados los puntos anteriores, se superponen ambos diagramas. El ángulo horario es el que forman dos vectores, uno que pasa por el punto U, y el otro el que pasa por u y ese mismo centro. Este ángulo coincide con el que forman las tensiones compuestas. De aquí se deduce el índice horario.

Para ilustrar este procedimiento hagamos un ejemplo, imaginemos que disponemos de un transformador trifásico donde su primario está conectado en delta y su secundario en estrella como se aprecia en la figura 6.

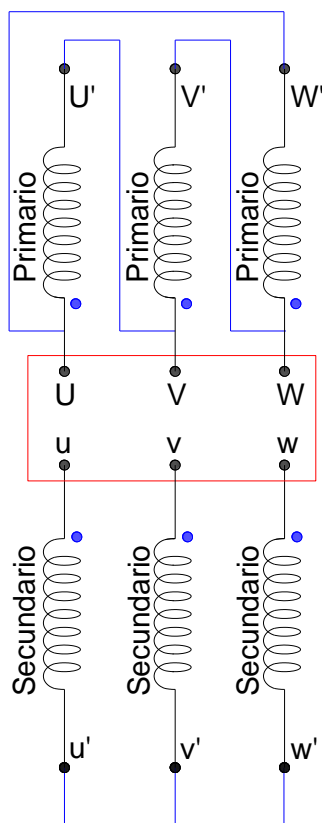


Figura 6. Índice horario

Iniciaremos representando las bobinas de las mismas columnas enfrentadas entre sí, a través de lo que sería la bornera de conexiones.

Partimos de un sistema de voltajes directo y se dibujan las FEM simples del primario del transformador, colocando el terminal U de forma que coincida con las 12.00 horas del reloj.

El resto de las FEM simples se van dibujando, posicionándonos en U y siguiendo las bobinas en el orden U, V, W. Es decir, desde U pasamos por U' y llegamos a V, posteriormente desde V pasamos a V' y llegamos a W y por último desde W pasamos por W' hasta que llegamos a U, tal como se puede apreciar en la figura 7.

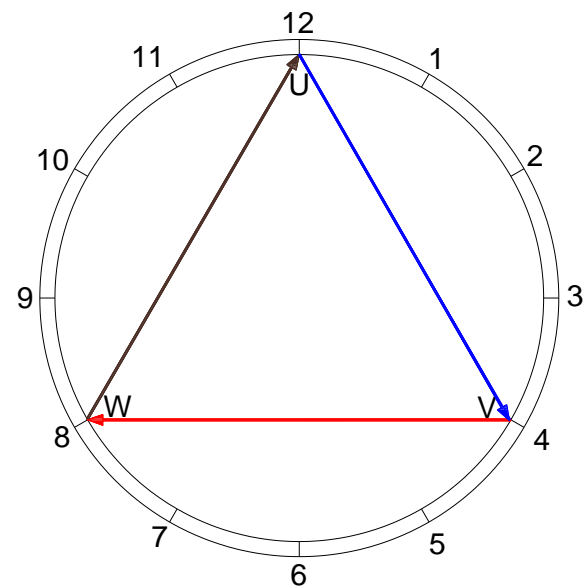


Figura 7. Índice horario del primario

En forma análoga a la anterior, para dibujar las FEM secundarias comprobamos si los puntos de la caja de bornes son equivalentes. Para este ejemplo asumimos que lo son, puesto que tenemos U, V, W y u, v, w.

Para bornes homólogos, los devanados de una misma columna del núcleo U y u por ejemplo están en fase, lo que indica que sus voltajes

compuestos y simples también están o tienen la misma fase.

Lo anterior implica que los vectores de U-U' es paralelo al vector u-u', igualmente el vector V-V' lo es con el vector v-v', y por último el vector W-W' lo es con el vector w-w'.

Recuerde que para este ejemplo hemos establecido que el secundario del transformador está conectado en estrella, por tal motivo, comenzamos señalando el punto u' = v' = w' en el centro del reloj, posteriormente, desde ese punto marcamos el vector u-u' que es paralelo al vector U-U' y lo mismo hacemos con el vector v-v', y terminamos con el vector w-w'. Tal como se aprecia en la figura 8.

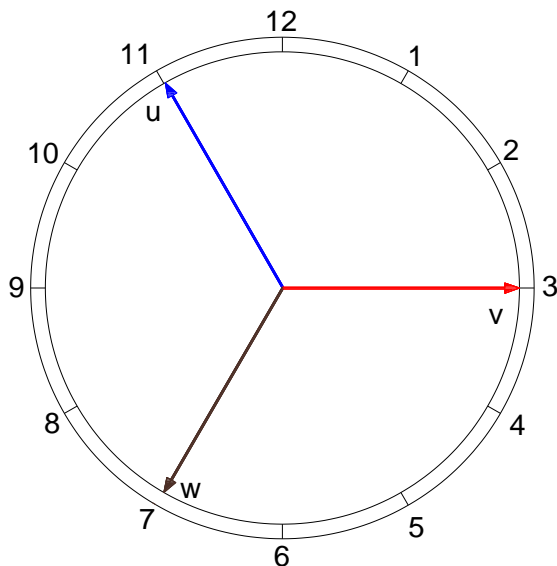


Figura 8. Índice horario del secundario

Para concluir con el ejemplo, realizamos la superponemos de la gráfica del índice horario del primario representada en la figura 7 y la gráfica del índice horario del secundario representada en la figura 8.

De esta superposición, la cual se puede apreciar en la figura 9 se obtiene como resultado un ángulo de 330° . Al seguir el sentido horario a partir de las

12.00 este equivale a un índice horario de 11. En la figura 9 se aprecia la superposición y el ángulo resultante.

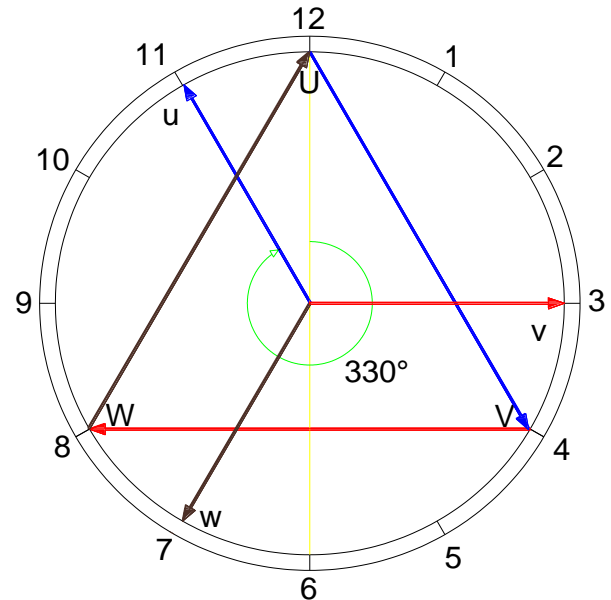


Figura 9. Grupo vectorial Dy11

8. Polaridad bobinas del transformador

Como es del conocimiento de todos, un voltaje de corriente alterna aplicado a una bobina inducirá un voltaje en una segunda bobina donde las dos bobinas están interconectadas por una ruta magnética, en nuestro caso el núcleo.

La relación de fase que existe entre los dos voltajes depende de la manera en que estén conectadas las bobinas.

Los voltajes estarán en fase o desplazados en 180 grados. En la figura 10 podemos apreciar el sentido de las bobinas de un transformador, este sentido revela si es un transformador que está en fase o en desfase.

Los bobinados de los transformadores trifásicos cuando el primario y el secundario están en fase se presentan una serie de opciones. Los voltajes de la bobina pueden estar en fase o desplazados

como se dijo anteriormente bien sea con las bobinas conectadas en estrella o delta.

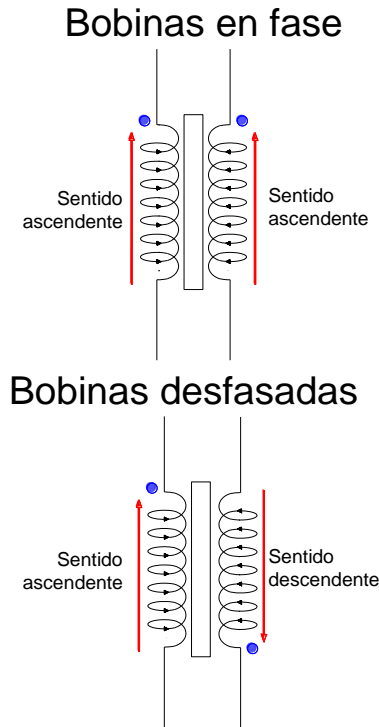


Figura 10. Polaridad del transformador.

Para el caso de un devanado en estrella, se puede tener el punto central de la estrella (neutro) llevado a un terminal externo o no.

8.1 Polaridad aditiva.

La figura 11 presenta un transformador con bobinas en fase, por lo tanto, es de polaridad aditiva.

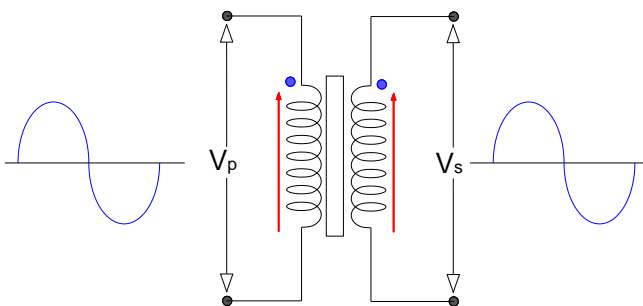


Figura 11. Polaridad aditiva del transformador.

Cuando la bobina del primario del transformador tiene la misma dirección que el voltaje inducido en la bobina del secundario, ambas bobinas están en la misma dirección de un extremo al otro, los voltajes V_p (voltaje del primario) y V_s (voltaje del secundario) están en fase. Bajo esta premisa se dice que la polaridad del transformador es aditiva.

8.2 Polaridad sustractiva.

La figura 12 presenta un transformador con bobinas en desfase.

Cuando la bobina del primario del transformador tiene diferente dirección que el voltaje inducido en la bobina del secundario, ambas bobinas no están en la misma dirección de un extremo al otro, los voltajes V_p y V_s están desfasados. Entonces decimos que la polaridad del transformador es sustractiva.

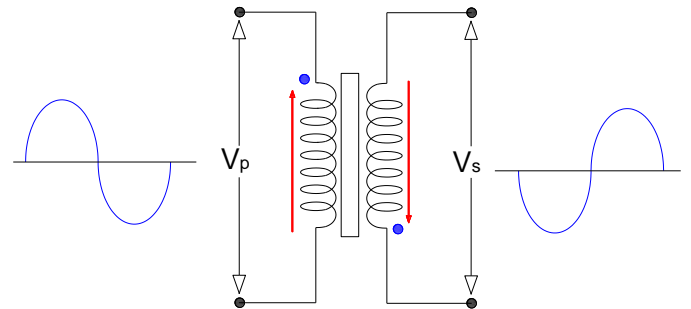


Figura 12. Polaridad sustractiva del transformador.

9. Ventajas y desventajas de los grupos de conexión en transformadores.

La norma internacional IEC 60076-1, indica en su capítulo 6 lo siguiente:

La conexión en estrella, triángulo o zig-zag de un conjunto de arrollamientos de fase de un transformador trifásico o de los arrollamientos de la misma tensión de transformadores monofásicos que constituyen un banco trifásico se indicarán con las letras mayúsculas Y, D o Z, para el arrollamiento de alta tensión (AT) y con letras

minúsculas y, d o z para los arrollamientos de tensión media y baja (BT).

Si está accesible un punto neutro de una conexión en estrella o zig-zag, la indicación será YN (yn) o ZN (zn), respectivamente.

En un transformador trifásico los arrollamientos independientes (que no están conectados entre sí dentro del transformador, sino que tienen ambos extremos de los arrollamientos de fase accesibles) se indicarán por III(AT) o iii (tensión media o baja).

Para un par de arrollamientos autoconectados, el símbolo del arrollamiento de menor tensión se indica por "auto" o "a", por ejemplo: "YNauto" o "YNa", o "YNa0", "ZNa11".

Los símbolos en letras para los distintos arrollamientos de un transformador se anotan en orden descendiente de tensión asignada. La letra de conexión de cualquier arrollamiento de tensión intermedia o baja estará seguida inmediatamente por el "índice horario" de su desfase (véase la definición 3.10.6).

A continuación, la definición de la sección 3.10.6 Desplazamiento de fase de un devanado trifásico.

En ella se indica que la diferencia angular entre los fasores que representan las tensiones entre el punto neutro (real o imaginario) y los terminales correspondientes de dos devanados, aplicándose a los terminales de alta tensión un sistema de tensión de secuencia positiva, uno tras otro en secuencia alfabética si están alfabéticos, o en secuencia numérica si están numerados. Se supone que los fasores giran en sentido antihorario [IEV 421-10-08, modificado]

NOTA. Se toma como referencia el fasor del devanado de alta tensión, y el desplazamiento de cualquier otro devanado se expresa convencionalmente mediante la 'notación de reloj', es decir, la hora indicada por el fasor del

devanado cuando el H.V. El fasor de bobinado está a las 12 en punto (los números ascendentes indican un desfase creciente).

Siguiendo con lo establecido en el capítulo 6 de la norma internacional IEC 60076-1, seguidamente nos muestra tres ejemplos, ilustrados en su figura 2 de la misma, que para nuestros fines está representada en la figura 13.

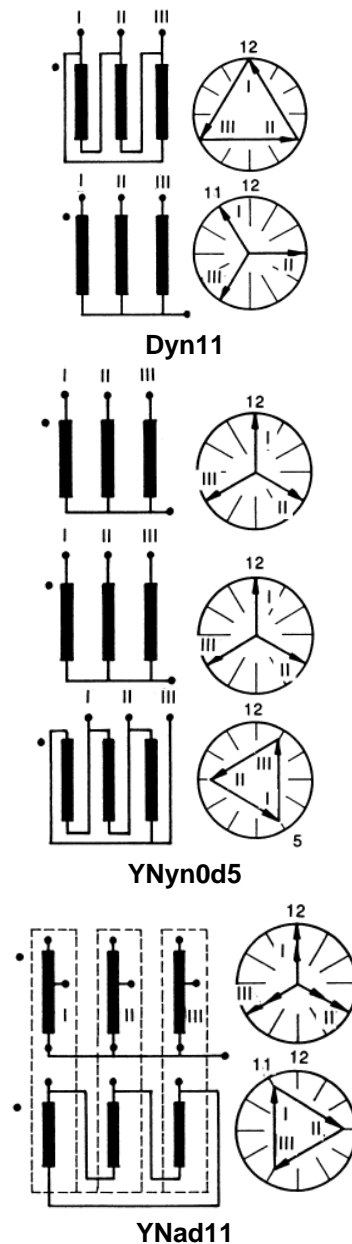


Figura 13. Corresponde a figura 2 de IEC 60076-1.

En la figura 13 tenemos la figura 2 de la norma que es la Ilustración de la notación de 'número de reloj' con tres ejemplos.

La existencia de un devanado estabilizador (un devanado conectado en delta, sin terminación para carga trifásica externa) se indica, después de los símbolos de devanados cargables, con el símbolo «+d».

Si se especifica un transformador con conexión de devanados intercambiable (serie-paralelo o Y-D), se anotarán ambas conexiones, junto con las tensiones nominales correspondientes, como se indica en los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1

Transformador de distribución con devanado de alta tensión de 20 kV, conectado en delta. El devanado de baja tensión de 400 voltios está conectado en estrella con neutro desconectado. El devanado de BT está atrasado 330° con respecto al devanado de AT.

Símbolo: Dyn11

Ejemplo 2

Transformador de tres devanados: 123 kV conectado en estrella con neutro desconectado. 36 kV en estrella con neutro desconectado, en fase con el devanado de AT, pero no autoconectado. 7,2 kV en delta, atrasado 150°.

Símbolo: YNyn0d5

Ejemplo 3

Grupo de tres autotransformadores monofásicos

$$\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} \text{ kV con devanados terciarios de 22 kV.}$$

Los devanados autoconectados están conectados en estrella, mientras que los terciarios están conectados en triángulo. Los fasores del devanado

delta se retrasan 330° con respecto a los fasores del devanado de alto voltaje.

Símbolo: YNautod11 o YNad11

Sería el mismo símbolo para un autotransformador trifásico con la misma conexión interna.

Si el devanado en delta no se conecta a tres terminales de línea, sino que solo se proporciona como devanado estabilizador, el símbolo lo indicaría con un signo más (+). En ese caso, no se aplicaría la notación de desplazamiento de fase para el devanado estabilizador.

Símbolo: YNauto+d.

En el próximo boletín técnico continuaremos con este interesante tema referido a todo sobre grupos de conexión en transformadores trifásicos.