

TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

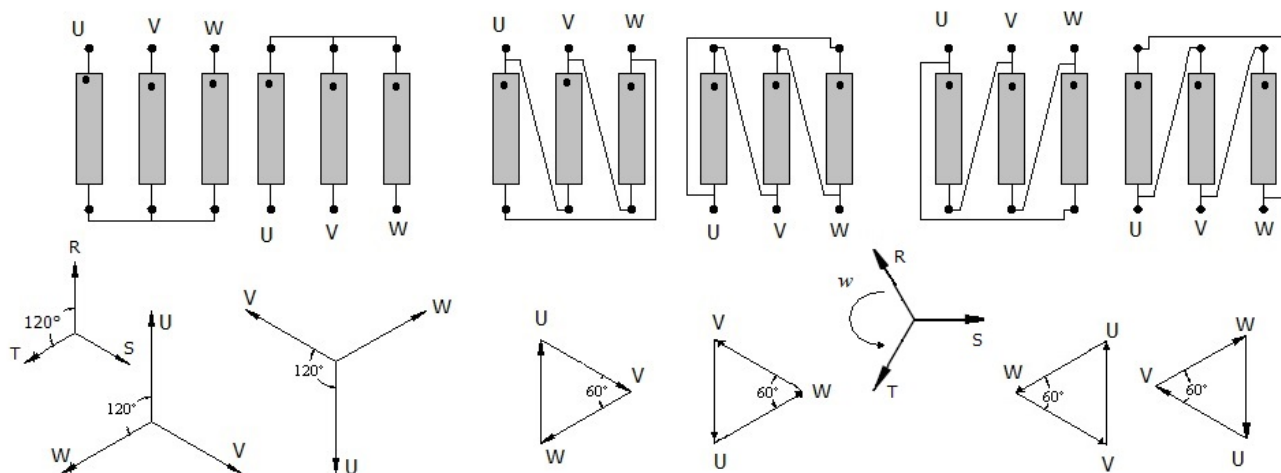
4.- Desfase entre sistemas

Los devanados de las tres columnas de un transformador trifásico se pueden unir entre sí, formando tres sistemas de conexión principales: triángulo, estrella y zig-zag.

Además tenemos dos juegos de devanados trifásicos, uno primario y otro secundario, que pueden tener cada uno un sistema de conexión.

Las polaridades y desfases, por este hecho, están ya definidas. Pueden resultar alteradas de acuerdo a como se conecten entre si los devanados de cada columna. Porque, así, las conexiones triángulo y zig-zag admiten cuatro formas de realizarse y la conexión estrella, dos (Figura 37).

Esquema: en la Figura los puntos de la polaridad están arriba de cada bobina y el diagrama fasorial de la red es RST conectado a U, V y W, para todos los ejemplos (observar la Figura en la conexión estrella). Para el triángulo es el RST girado 30° en sentido anti horario, (como se muestra) y para el Zig Zag es el mismo que para la conexión estrella.-



Dos posibilidades para la Conexión Estrella y cuatro alternativas para la conexión Triángulo con sus Diagramas

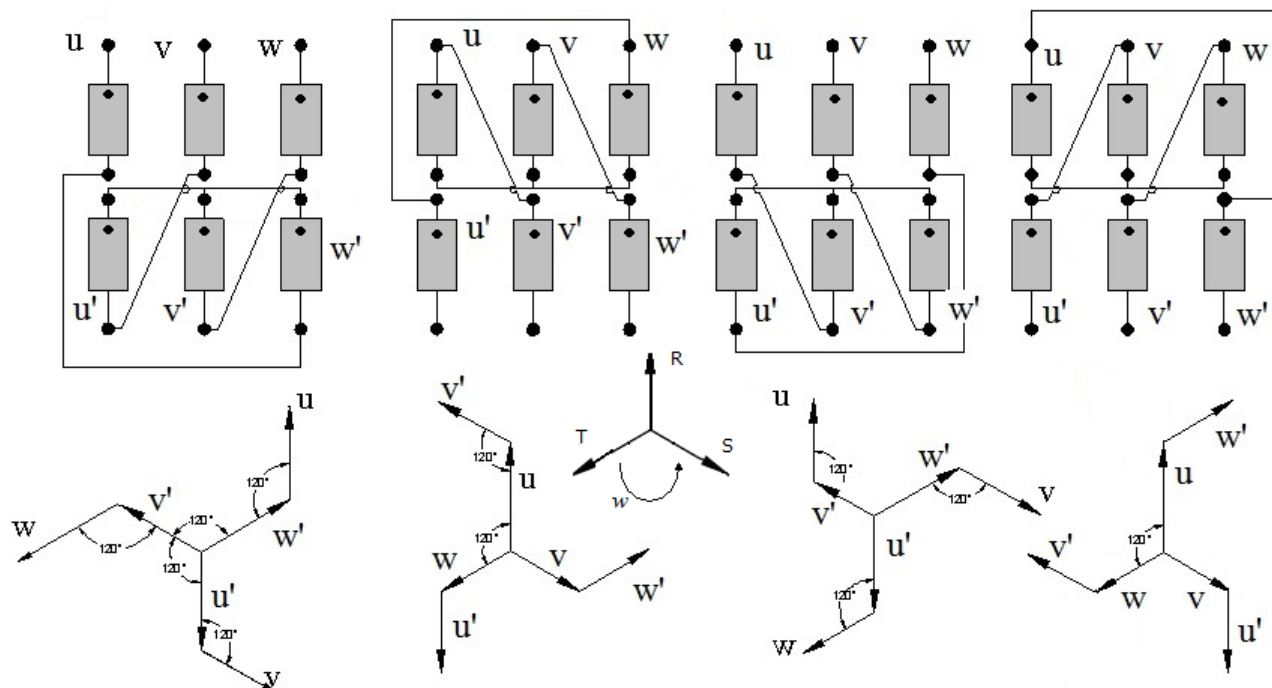


Figura 37 - Cuatro posibilidades o alternativas de conexión para el Zig Zag y sus diagramas Fasoriales

Estas posibilidades, aplicadas al primario y secundario, originan una polaridad y desfase determinados, entre ellos.

TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

Para designar la conexión se usa una letra mayúscula para el primario (lado de Alta Tensión) y minúscula para el secundario (lado de B.T.), empleando las letras D y d respectivamente para el triángulo, Y e y para la estrella; Z y z para el zig-zag. El ángulo de desfase entre primario y secundario se representa por un número que, en la designación C.E.I., coincide con el de la hora exacta en un reloj. El ángulo de desfase corresponde al ángulo que forman las agujas a esa hora (Figura 38).

Queda así designado, con dos letras y un número, el "grupo" al cual pertenece el transformador. Por ejemplo, un transformador conectado en triángulo en el primario, y estrella en el secundario y desfase de -30° pertenece al grupo: Dy11.

INDICE	POSICIÓN AGUJAS	ANGULO
0		0°
6		180°
5		150°
11		330°
Figura 38		

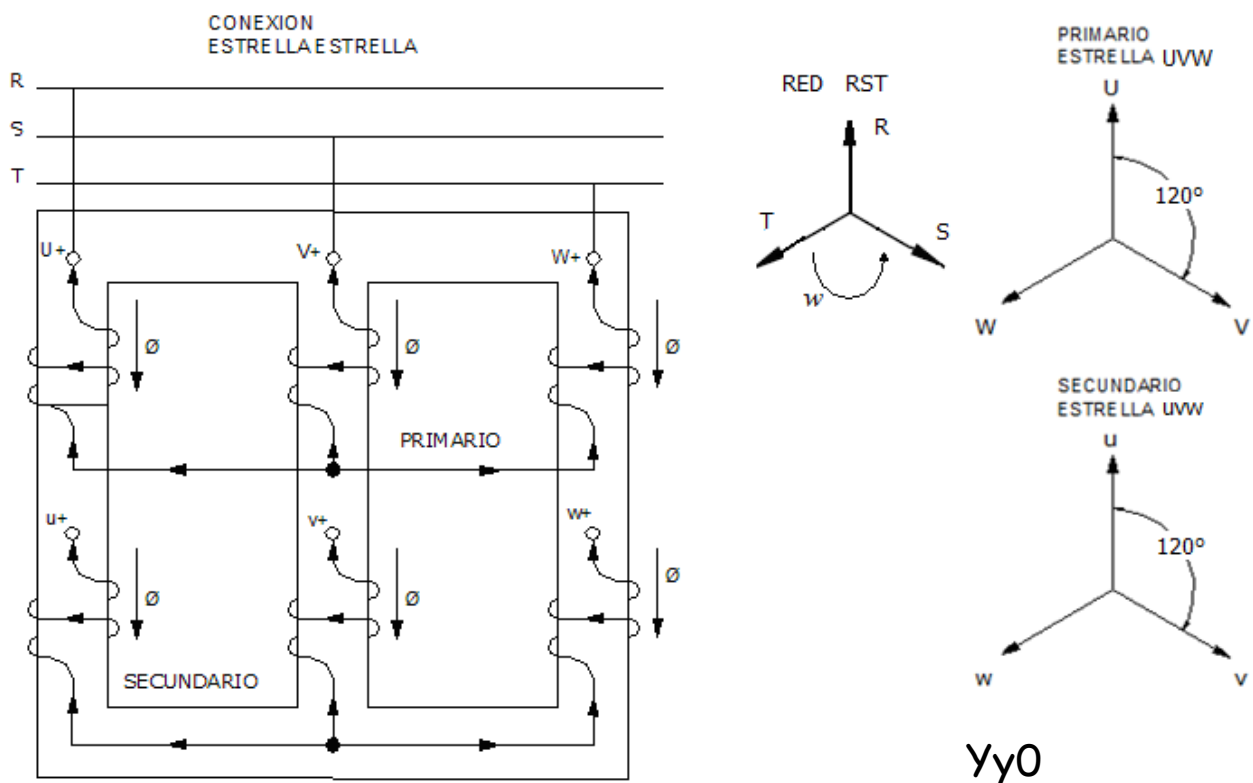
Es de interés destacar que:

En un transformador ya construido, **si se cambia la alimentación** de un lado al otro, es decir alimentado por el primario se pasa a alimentarlo por el secundario o viceversa, **cambia el desfase** de la máquina.

Ejemplo: Un transformador Dy11 pasa a ser Yd1.

Ejemplos:

Ejemplo A) Dada una conexión estrella-estrella (Figura 39), determinar el grupo al cual pertenece y su diagrama vectorial:



TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

Figura 39

b) Diagrama Vectorial

a) Disposición práctica

- 1º) Elegimos arbitrariamente la polaridad del sistema de terminales primarios, conviniendo el siguiente sentido como positivo: $\circ \leftarrow +$
- 2º) Queda determinado el sentido (+) también para el flujo Φ .
- 3º) Se determina la polaridad de los bornes secundarios.
- 4º) Se traza el diagrama vectorial primario, en posición arbitraria, puesto que lo que define el desfase es la posición relativa entre los sistemas primario y secundario.
- 5º) La dirección en el devanado u es la misma que en el U por estar concatenados por el mismo flujo, y en el sentido coincidente por idéntica polaridad de los terminales o sea terminales homólogos (flechas de polaridad en el esquema). Por tanto se traza el vector U_{ou} paralelo al vector U_{ou} y en el mismo sentido. Se procede igual para las otras columnas.
- 6.) El ángulo entre U_{ou} y U_{ou} es 0° , luego el grupo es $Yy0$.

Ejemplo B) Determinar el grupo y diagrama vectorial para la conexión de la Figura 40.

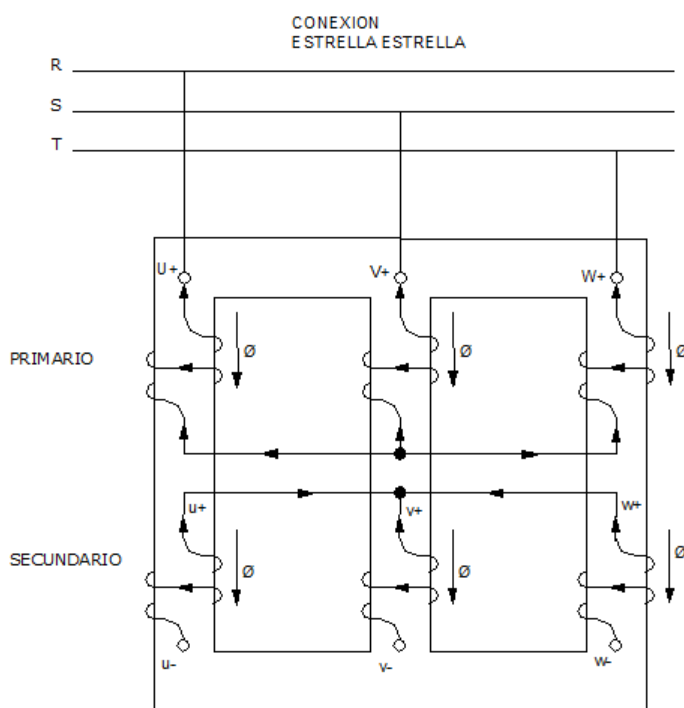
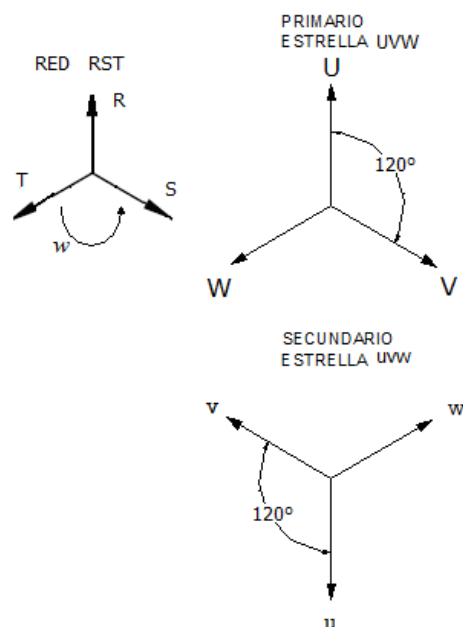


Figura 40

a) Disposición práctica



Yy6

b) diagrama vectorial

Se procede siguiendo los mismos pasos que en el ejemplo anterior.

Las polaridades de los terminales del secundario son contrarias a las del primario, por consiguiente se traza el vector U_{ou} paralelo y de sentido contrario al U_{ou} .

El ángulo entre U_{ou} y U_{ou} es de 180° , luego el grupo es: **Yy6**.

En resumen: Adoptando el convenio derivado de la regla de Maxwell (Figura 39a y 40a), **cuando las polaridades de los terminales de línea son inversos el desfase es de 180°** , (Figura 40b) y **si son iguales, será de 0°** (Figura 39b).

Ejemplo C) El mismo problema para la conexión de la Figura 41.

En la columna U la polaridad va de V a U, en la columna V va de W a V y en la W, de U a W.

En el secundario en la columna u la polaridad se dirige de o a u, entonces se traza paralelo a UV y en el mismo sentido, porque las polaridades de los terminales de línea son iguales. El mismo criterio se usa para las demás columnas.

TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

El ángulo que forma U_{0U} en el triángulo, con 0_{0U} en la estrella, es de -30° ; luego el grupo es Dy11.

En los ejemplos planteados se observa que en las conexiones estrellas las flechas de polaridades convergen o divergen del centro y en las conexiones triángulo giran en un sentido u otro dependiendo de la polaridad que se adopte para los terminales.

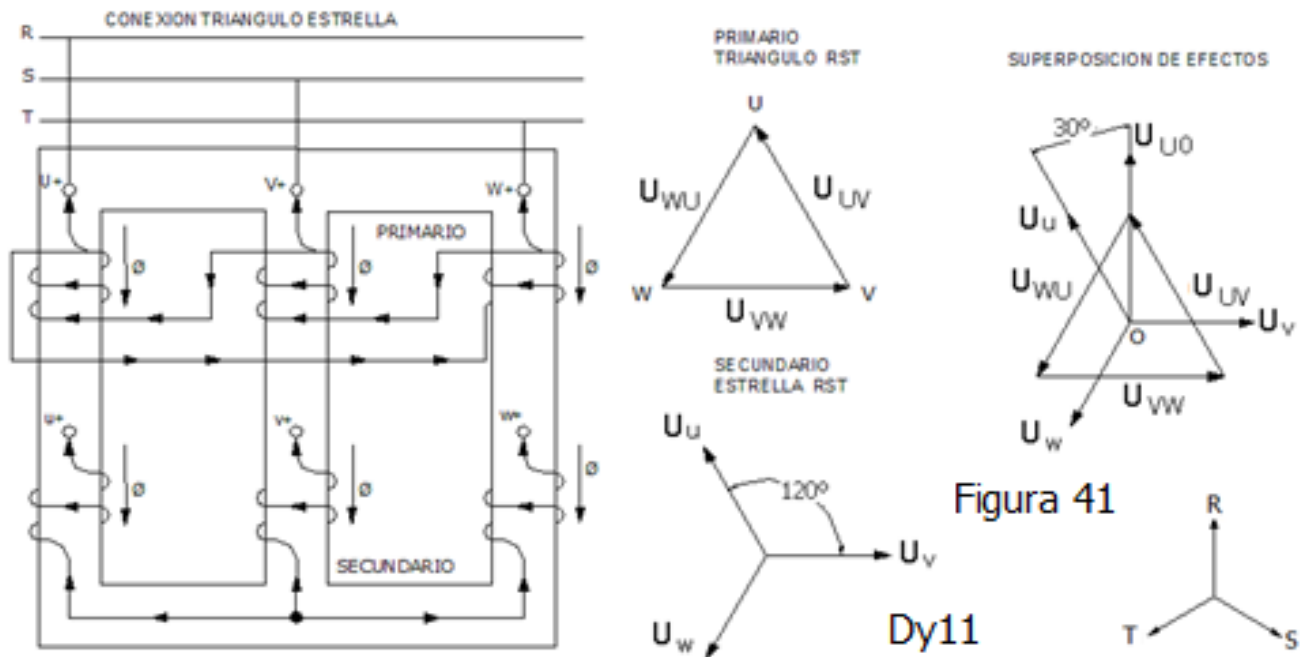


Figura 41

5.- Secuencia de fases

También llamado orden de rotación de los vectores.

Es la sucesión en el tiempo u orden de paso frente a un observador fijo, de los máximos de los parámetros eléctricos tensión o intensidad, en las tres fases de un sistema. A ella corresponde un orden en la rotación anti horario del diagrama vectorial (Figura . 42).

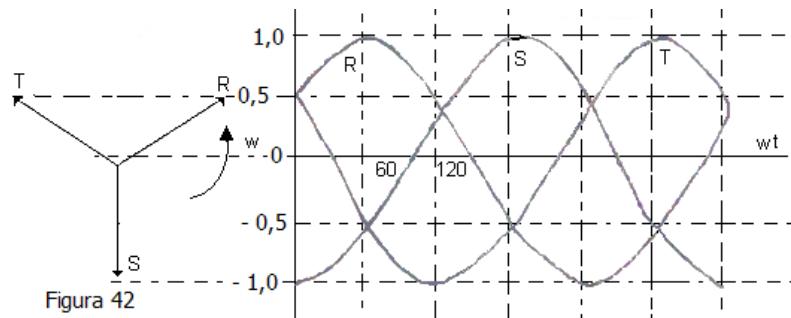


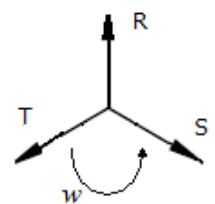
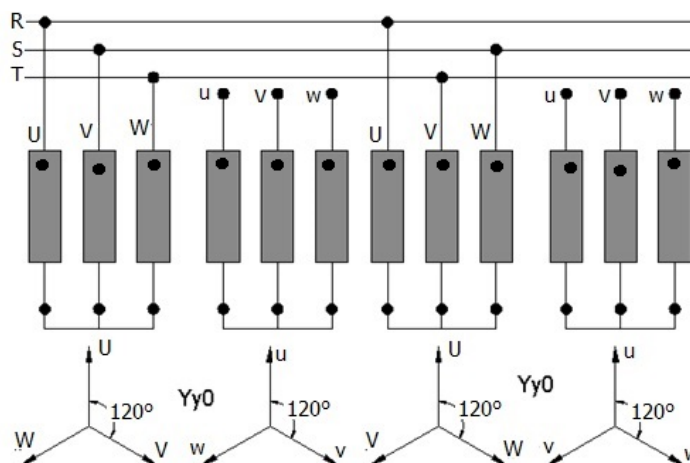
Figura 42

El orden de rotación viene impuesto por la manera de conectar sus terminales a la red, invirtiendo dos de ellos se invierte la secuencia

La **secuencia** puede ser **coincidente** u **opuesta**, entre los sistemas primarios y secundarios.

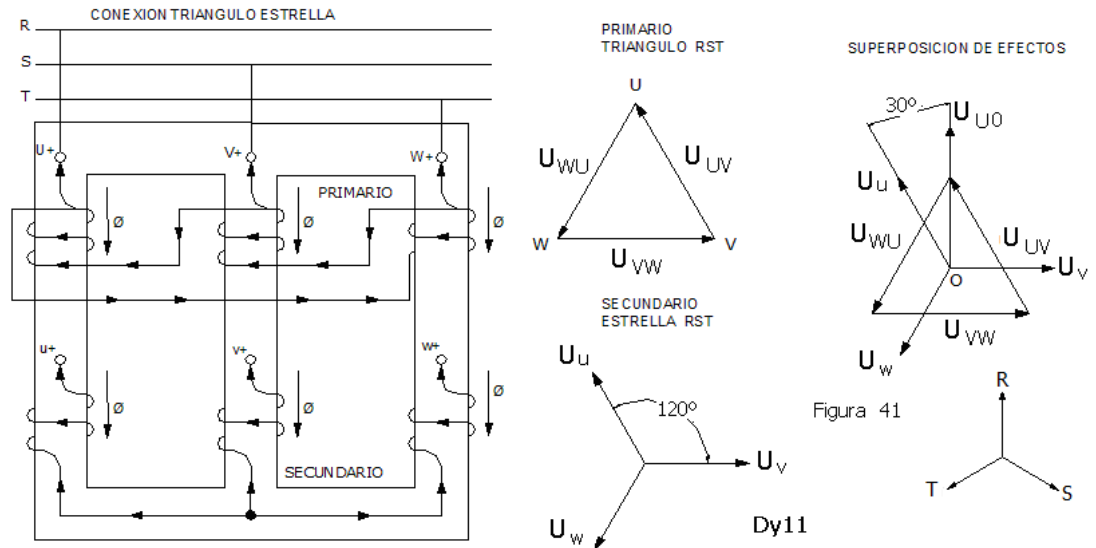
La **inversión del orden de rotación** altera los desfases de las fem. secundarias respecto a las primarias, cuando la conexión de ambos sistemas es **distinta**, y no se altera cuando son iguales.

Ejemplos:



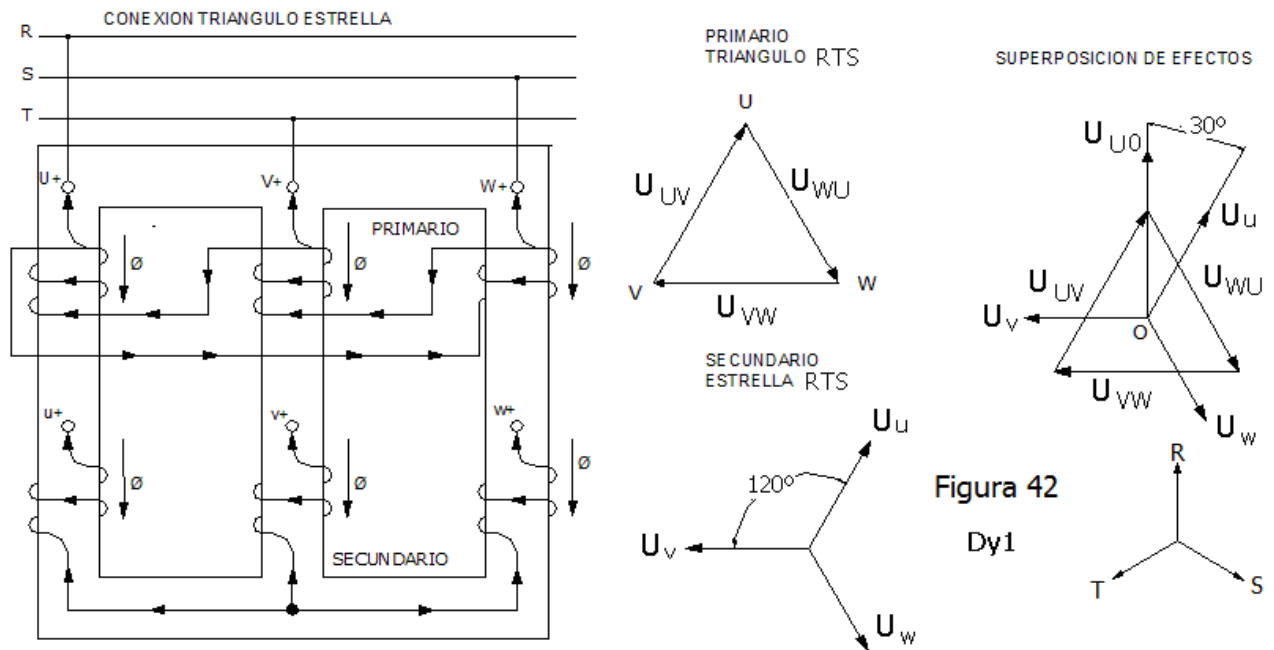
TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE



Para el 1º caso: En el primario la fase VU está conectada a los bornes SR de la línea; se traza VU//SR; la fase WV está conectada a los bornes TS de la línea, luego: WV//TS y por último, UW conecta a RT, luego UW//RT. Así se obtiene el sentido de giro anti horario.

En el secundario la fase Nu está en fase con VU, se traza Nu//VU y así sucesivamente.- Se observa que Nu está a -30° de lo que sería NU del triángulo.- Por consiguiente el grupo es Dy11.-



Con el mismo criterio se analiza el segundo caso en el que se cambiaron las conexiones primarias y se deduce que cambia el grupo y la secuencia.

Ejemplo: Como permutando las fases de un Yd11 puede transformarlo en un Yd1, pero cuyo diagrama fasorial coincide con el Yd5 y se puede conectar en paralelo con las posiciones relativas de las conexiones indicadas.

TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

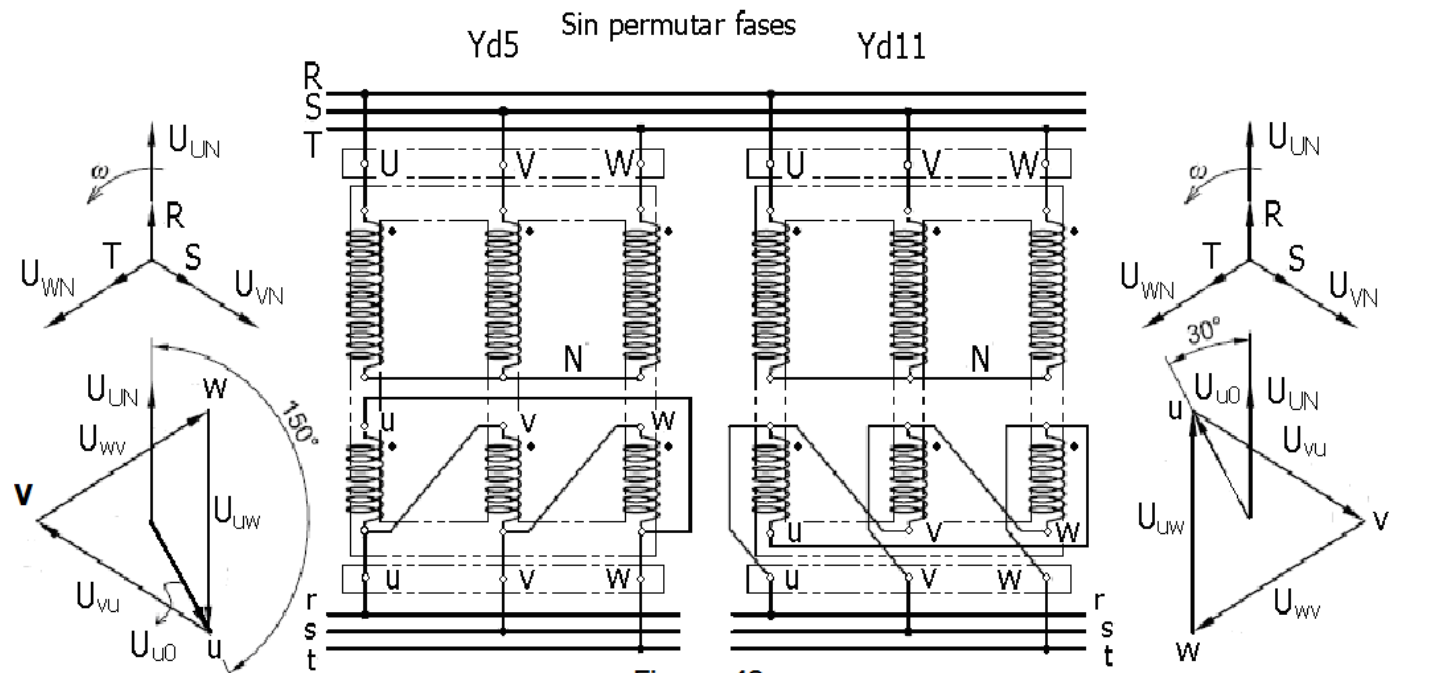
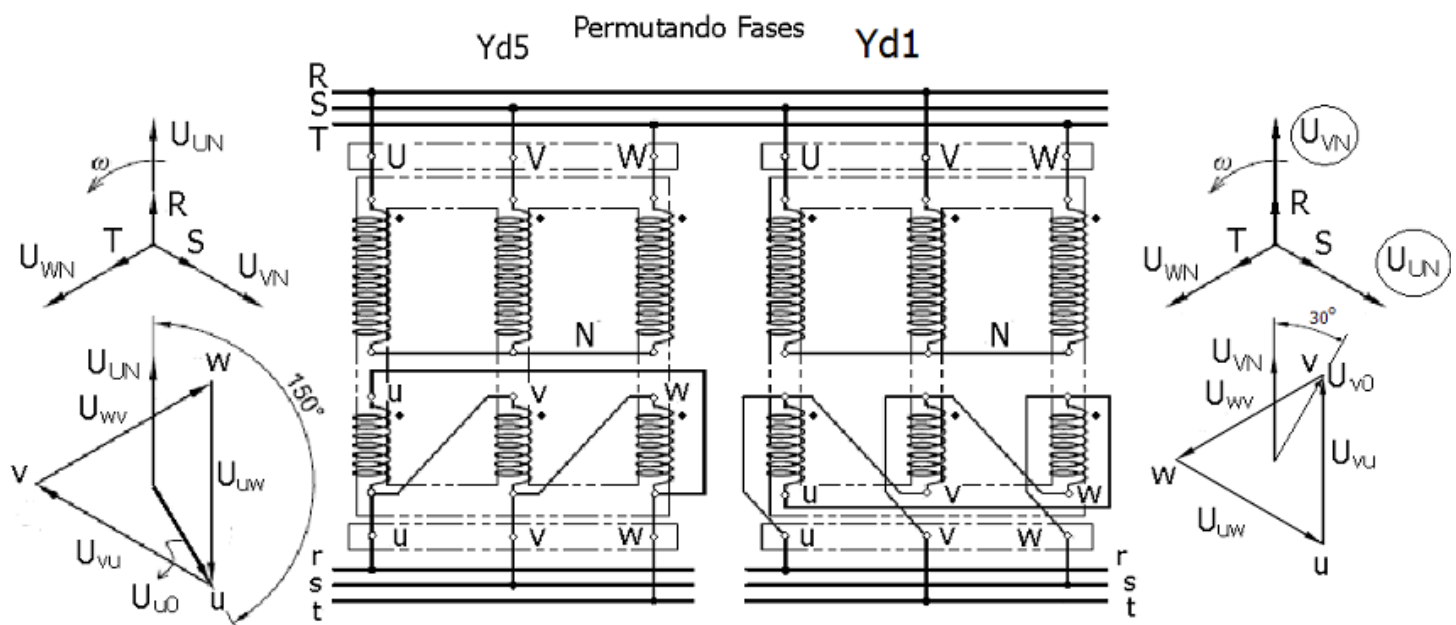


Figura 42



TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

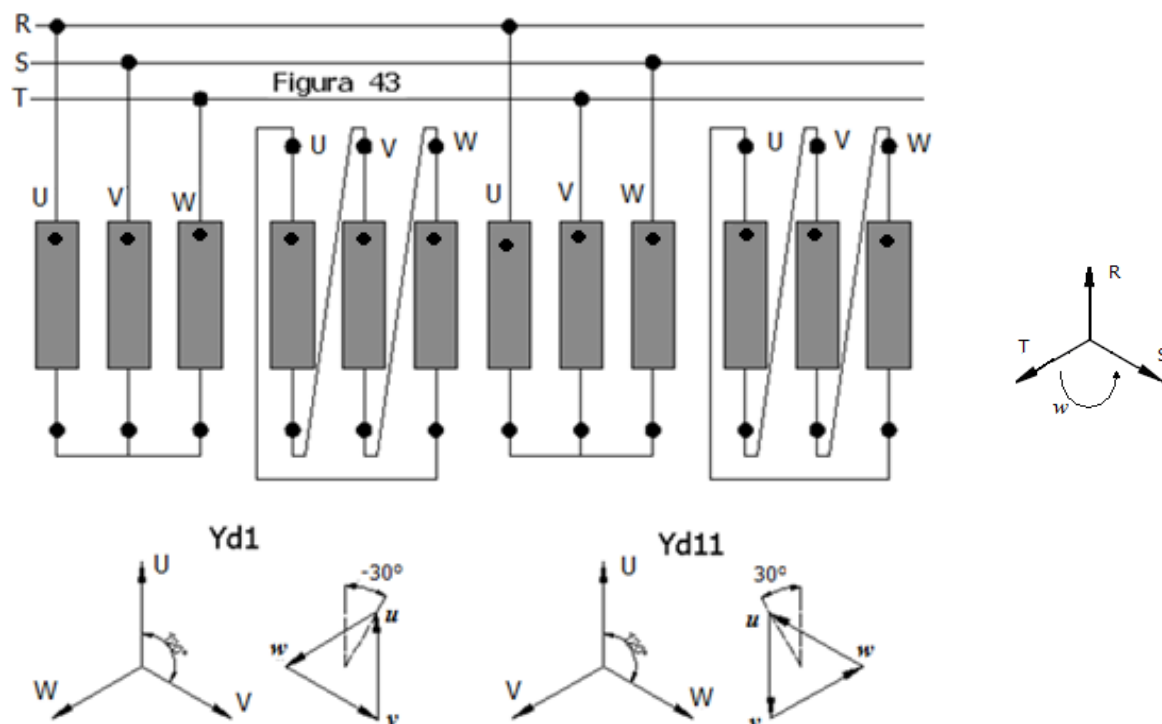


Figura 44

Método de Ensayo

Un transformador queda perfectamente definido cuando se indica, como en el siguiente ejemplo:

-Polaridad	sustractiva
-desfase	-30°
-secuencia	coincidente
-conexión	ΔY
-grupo	Dy 11

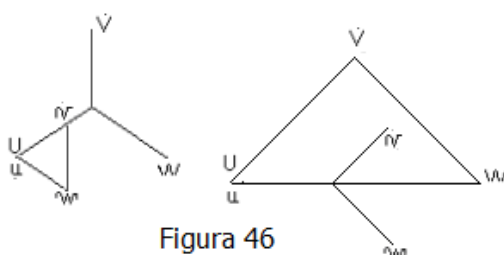
Es de notar que en la designación del grupo queda implícita la conexión y el desfase.

Existe un método denominado "Método del diagrama vectorial" (Norma IRAM N° 2104) que mediante simples lecturas de tensión se puede determinar la polaridad, desfase y secuencia de un transformador.

El procedimiento de ensayo consiste en lo siguiente: Se conecta un borne de un arrollamiento con el correspondiente del otro, (por ejemplo U con u, Figura 45). Se aplica a uno de los arrollamientos una tensión alterna de valor adecuado al voltímetro a usar, se miden las tensiones entre bornes, con el análisis de los valores obtenidos comparados con los datos similares en la norma se deducen las características buscadas.

Ejemplo:

Grupo Yd11 o Dy11; trifásico 30°; sustractivo; coincidente (Figura 46)



CA. TRIFASICA

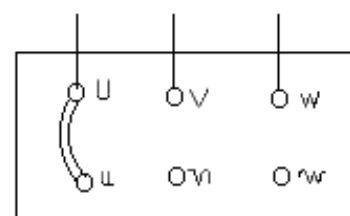


Figura 45

Este caso queda

determinado por las condiciones siguientes:

- desplazamiento angular 30°: $Ww = Vv$
- polaridad sustractiva: $Vv < Uw$
- secuencia coincidente: $Vv < Vw$
- además debe verificarse: $Vv = Ww$; $Vw > Wv$

TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

Otros Ejemplos prácticos:

A) Dado un núcleo a dos columnas, con un devanado en cada una de ellas:

A.1.) Uniendo fin con fin de cada devanado, se obtiene un desfase de 0°

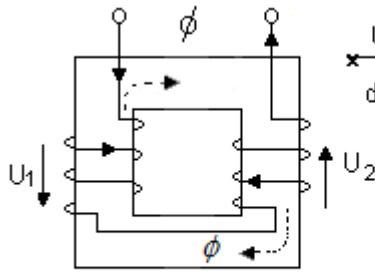


Figura 46

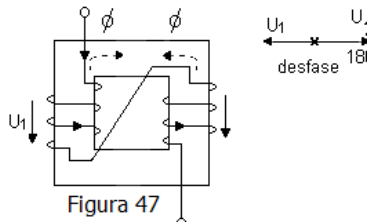


Figura 47

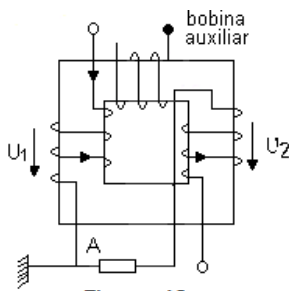


Figura 48

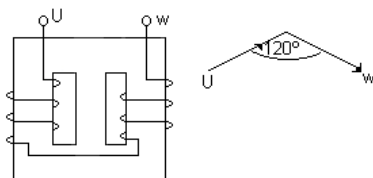


Figura 49

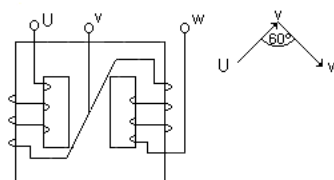


Figura 50

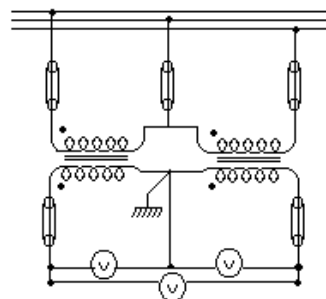


Figura 51

Aplicación: Es el caso de los transformadores monofásicos a columnas en que tanto el 1º como el 2º tienen la mitad del devanado en cada columna (Figura 46).

A.2.) Uniendo el fin de un devanado con el principio del otro, se obtiene un desfase de 180° (Figura 47)

Aplicación: Es el caso del transformador diferencial (Figura 48). Cuando se aplica tensión a los bornes y en caso de carga equilibrada, no hay flujo, por consiguiente no aparece tensión en la bobina auxiliar. Cuando se produce un desequilibrio, por ejemplo un contacto a tierra del punto A, predomina el flujo en una bobina, que al concatenar a la bobina auxiliar induce en ella un fem que puede alimentar un interruptor y desconectar la alimentación.

B) Dado un núcleo a tres columnas, con dos devanados, uno en cada extremo:

B.1.) Uniendo fin con fin de cada devanado, se obtiene un desfase de 120° .

Aplicación: Conversión trifásico-monofásico.-

El transformador posee un 1º trifásico normal y el 2º monofásico en V abierta (Figura 49).

B.2.) Uniendo el fin de un devanado con el principio del otro, se obtiene un desfase de 60° .

Aplicación: Transformadores o auto transformadores para arranque de motores eléctricos.

Son máquinas trifásicas con dos devanados y con tensiones equilibradas, denominadas conexión en V (Figura 50) o triángulo abierto.

C) Dos transformadores monofásicos, montaje en V, para formar un sistema trifásico de medición, para alimentación de voltímetros, vatímetros, contadores, etc. según la disposición de figura 51. Los devanados deben estar a 60° .

Ejercicio: Determinación de los parámetros del circuito equivalente

Normalmente los datos que se tiene de un transformador son los siguientes:

- Potencia: S [kVA]
- Tensión primaria: U_1 [V]

TRANSFORMADORES

POLARIDAD Y DESFASE DE TRANSFORMADORES - 2ª PARTE

- Tensión secundaria en vacío: U_{20} [V]
- Perdidas en cortocircuito P_{cc} [W] a 75° C
- Tensión de cortocircuito %: $u_{cc}\%$
- Conexión o grupo

Con estos, datos se pueden obtener las impedancias y sus componentes ya sean referidas al primario o secundario y las componentes de la U_{cc} , todas ellas por fase.-

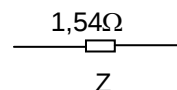
$$\begin{aligned} \text{Tensión de cortocircuito} & \dots\dots\dots U_{cc} = \frac{U_1 \cdot u_{cc} \%}{100} \\ \text{Corriente primaria por fase} & \dots\dots\dots I_1 = \frac{S \cdot 1000}{3 U_1} \\ \text{Impedancia equivalente referida al 1°, en modulo.} & \dots\dots\dots Z = \frac{U_{cc}}{I_1} \\ \text{o bien verificar por} & \dots\dots\dots Z = \frac{u_{cc} \% \cdot U_1}{I_1 \cdot 100} \\ \text{Resistencia equivalente referida al 1°, en modulo} & \dots\dots\dots R = \frac{P_{cc}}{3 I_1^2} \\ \text{Reactancia equivalente referida al 1°, en modulo} & \dots\dots\dots X = \sqrt{Z^2 - R^2} \\ \text{Impedancia compleja referida a primario} & \dots\dots\dots Z = R + jX \\ \text{Impedancia referida al 1°, en forma polar} & \dots\dots\dots Z = Z / \varphi \\ \text{Relación de transformación.} & \dots\dots\dots n = \frac{U_1}{U_{20}} \\ \text{Impedancia referida al 2°, en forma compleja} & \dots\dots\dots Z_{12} = \frac{Z}{n^2} = R_{12} + j X_{12} \\ \text{Impedancia referida al 2°, en forma polar} & \dots\dots\dots Z_{12} = Z_{12} / \varphi \\ \text{Caída óhmica porcentual} & \dots\dots\dots u_r \% = \frac{RI_1}{U_1} 100 \\ \text{o bien verificarla por} & \dots\dots\dots u_x \% = \frac{P_{cc}}{S} 100 \\ \text{Caída, reactiva porcentual} & \dots\dots\dots u_x \% = \frac{XI_1}{U_1} 100 \\ \text{o bien verificarla por} & \dots\dots\dots u_x \% = \sqrt{u_{cc}^2 \% - u_r^2 \%} \end{aligned}$$

Ejemplo:

Calcular los parámetros del circuito equivalente, además las caídas ohmicas, reactivas y de tensión, del siguiente transformador: $S = 1.000$ kVA; $U_1 = 6000$ V; $U_{20} = 231$ V; conexión YY; $P_{cc} = 14.910$ W a 75°C; $u_{cc}\% = 4,27$.-

$$\begin{aligned} U_{cc} &= \frac{U_1 \cdot u_{cc} \%}{100} = \frac{6000 \cdot 4,27}{100} = 256,20 \text{ V} \quad \text{En línea} \\ I_1 &= \frac{S \cdot 1000}{3 U_1} = \frac{1000000}{3 \cdot 6000 / \sqrt{3}} = 96,2 \text{ A} \quad ; \quad Z = \frac{U_{cc}}{I_1} = \frac{256,2 / \sqrt{3}}{96,2} = 1,54 \Omega \text{ por fase} \end{aligned}$$

Por tanto, el transformador como impedancia en una línea será:



$$\text{O también: } Z = \frac{u_{cc} \% \cdot U_1}{I_1 \cdot 100} = \frac{4,27 \cdot 6000 / \sqrt{3}}{96,2 \cdot 100} = 1,54 \Omega$$