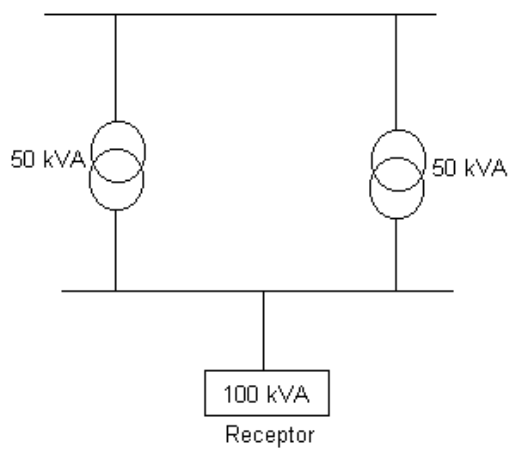


ELECTROTECNIA
PARALELO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS



Cuando tenemos un transformador conectado a barras, alimentando un cierto receptor , por ejemplo de 50 KVA, y la demanda de este receptor aumenta a 100KVA, necesitamos instalar otro trafo de 50 KVA. Este se conecta en paralelo con el anterior y ahora la potencia es suficiente para alimentar esa demanda del receptor
Se unen primarios a las barras de alimentación, y se unen secundarios a las barras de distribución o salida, pero, para poder hacer esta conexión en paralelo se deben cumplir ciertas condiciones:

- 1. Igualdad de tensiones y relación de transformación.
- 2. Igualdad de desfase de los diagramas vectoriales (secundario respecto al primario).
- 3. Igualdad de secuencia.*
- 4. Igualdad de tensiones de cortocircuito.
- 5. Una cierta relación de potencia. .

Entonces, cumpliéndose estas cinco condiciones, se pueden conectar en paralelo dos o más transformadores.

Análisis de cada condición

1. Igualdad de Tensiones y relación de transformación:

Por estar unidos primarios y secundarios es lógico que las tensiones primarias y secundarias deben ser iguales, pues sino un trafo le enviaría corriente al otro. No basta con que la relación sea igual, deben ser también iguales las tensiones.

Por ejemplo: 1000/100 y 100/10

Tengo igual relación pero no puedo conectar un primario de 1000V con otro de 100V.

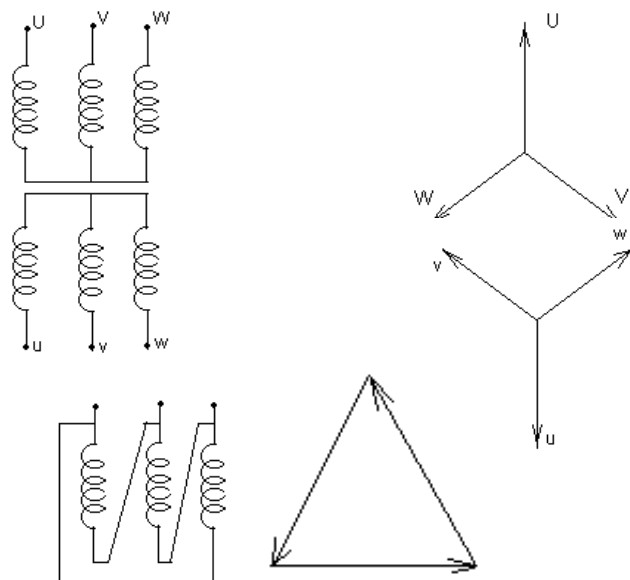
Igualdad de tensiones primarias y secundarias implica igual relación pero igual relación no implica iguales tensiones primarias y secundarias.

De no cumplirse esta condición aparecen corrientes circulantes entre las máquinas, ya en vacío. No es conveniente que estas superen el 10% de las nominales. La corriente circulante da origen a una potencia circulante, también llamada potencia de compensación, cuyo principal efecto, es la de aumentar la carga en el transformador de mayor tensión secundaria, pudiendo llegar a sobrecargar el mismo

2. Igual desfase de diagramas vectoriales (secundario respecto del primario)

La condición fundamental para que puedan funcionar los trafos en paralelo, es que los terminales a empalmar entre si se hallen en todo momento al mismo potencial.

Hemos visto conexión triángulo, estrella y veamos la Zig-Zag pero antes interpretemos las conexiones y sus diagramas vectoriales correspondientes.



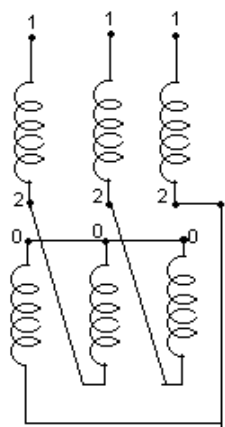
Y = alta tensión

y = baja tensión

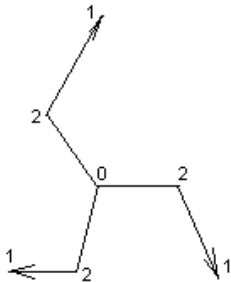
Representamos las columnas en forma trifásica.
D = "alta tensión"

d = "baja tensión"

Si a este último bobinado, lo dividimos en dos partes tenemos la conexión Zig-Zag



Z = alta tensión
z = baja tensión



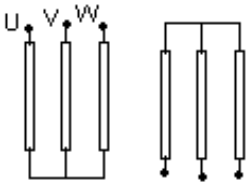
La mitad de una columna del primario la unimos con la mitad de la otra columna y así siguiendo.

Este es un solo lado del trafo primario o secundario.

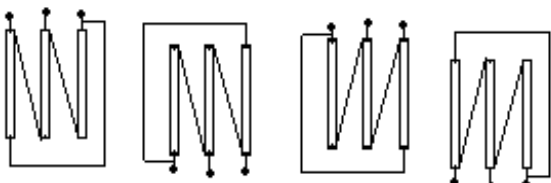
Estas son las principales formas de conectar el bobinado primario y/o el secundario. Así un trafo puede tener conexión Y/Δ , Y/Y , Δ/Δ , Y/Z , etc., son varias las combinaciones y existen otras más; como el exafásico, que consta de un triángulo doble. Según donde hago el neutro en una estrella, tenemos el diagrama vectorial. Entonces ya vemos de que desfase vectorial hablamos. La conexión estrella admite dos formas de realizarse, en cambio, las conexiones triángulo y Zig-Zag admiten cuatro cada una. Estas posibilidades, aplicadas al primario y secundario, originan una polaridad y desfase determinados, entre ellos.

Para designar el tipo de conexión se usa una letra mayúscula para el primario y minúscula para el secundario.

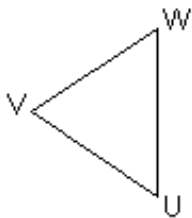
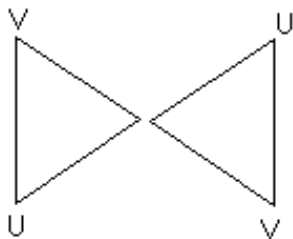
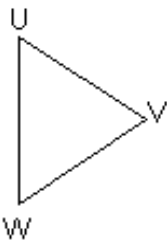
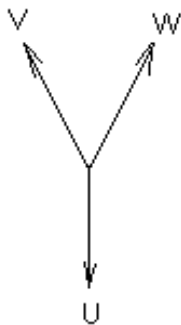
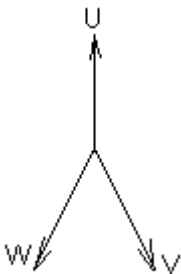
El ángulo de desfase corresponde al ángulo que forman la aguja de la hora y la aguja de los minutos de un reloj, a una hora determinada. Tomando como referencia las 12 como 0°. Queda así designado con dos letras y un número, el "grupo" al cual pertenece el transformador. Por ejemplo, un trafo conectado en triángulo en el primario y estrella en el secundario y desfase de -30°, pertenece al grupo Dy11.



Esquema conexión estrella



Esquema conexión triángulo



Diagramas Vectoriales

Importante:

En un transformador ya construido, si se cambia la alimentación de un lado a otro, cambia el desfase de la máquina. Ejemplo: Dy11 pasa a Yd1 (de triángulo a estrella y de estrella a triángulo respectivamente con un desfase de + 30°).

Se comparan fases, la U con la u.

Los tipos de conexiones usados son 12, que son las que más se utilizan y figuran en la placa de la máquina. Los grupos más usuales son cuatro 0; 6; 5 y 11.

Para determinar el grupo se superponen los diagramas vectoriales. No se pueden conectar un grupo 0 con un grupo 6. Ejemplo Yy0 con Yy6. En alta no hay problema pues las fases U y U están

iguales superponiendo los diagramas, pero en baja, cuando encima los diagramas vectoriales y uno los bornes u a las barras de salida, tendremos el doble del potencial de la fase, por ejemplo si cada una tiene 220V, estamos uniendo puntos que difieren en 440V, es decir, apenas los unamos se produce el cortocircuito.

Entonces, podremos unir un Yy0 con un Dd0 o con un Dz0, pero siempre que sea 0, para que estén los bornes iguales.

Son cuatro grupos y tres conexiones por grupo, como sigue.

CUADRO DE CONEXIONES NORMALES

DESFASE (ang. de Bt. en Retraso	DESIGNACION		DIAG. VECTORIAL		ESQUEMA CONEXIONES	
	n'	L.E.C	V.D.E	ALTA TENSION BAJA TENSION	ALTA TENSION BAJA TENSION	ALTA TENSION BAJA TENSION
0°		Dd 0	A1			
		Yy 0	A2			
		Dz 0	A3			
180°		Dd 6	B1			
		Yy 6	B2			
		Dz 6	B3			
150°		Dy 5	C1			
		Yd 5	C2			
		Yz 5	C3			
-30°		Dy 11	D1			
		Yd 11	D2			
		Yz 11	D3			

3. Secuencia o sentido de rotación de las fases secundarias

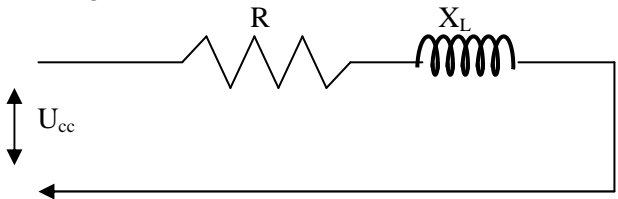
La secuencia de fases se llama al orden de rotación de los vectores. Es la sucesión en el tiempo, de los máximos de los parámetros eléctricos tensión o intensidad, en las tres fases de un sistema. A ella corresponde un sentido de rotación del diagrama vectorial.

Los transformadores cuya secuencia sea opuesta, es decir tengan sentido de giro de los diagramas vectoriales opuesto no pueden conectarse en paralelo, por que en un determinado instante van a coincidir los vectores de tensión secundaria pero, aun siendo del mismo grupo de conexión, en el instante siguiente los vectores comienzan a desplazarse y aparecen diferencias de potencial entre las fases homólogas. Entonces, para poner en paralelo, los transformadores deben tener diagramas vectoriales que giren en igual sentido.

Todo depende de las conexiones internas del transformador. Observemos un motor eléctrico trifásico, según el orden de conexiones a las líneas ABC o RST en nuestro país es el sentido de giro, si permutamos dos fases el giro es en sentido contrario.

Si en la campaña tuviéramos que conectar en paralelo dos transformadores y no tenemos el instrumento adecuado para comparar las secuencias de ambos (secuencímetro), podemos utilizar un motor asíncrono común. Se conecta en el mismo orden en el secundario de ambos transformadores haciendo que el motor gire en un cierto sentido. Siguiendo prolijamente la conexión, las fases RST del motor están conectadas en ambos casos a UVW, en la misma correspondencia. Si el motor gira en sentido contrario, las secuencias son opuestas y no se deben poner en paralelo ambos transformadores. En este caso se deben permutar dos terminales cualesquiera del primario, pero teniendo en cuenta que la inversión del sentido de rotación altera el desfase secundario respecto al primario cuando son distintos los tipos de conexión de los arrollamientos indicados.

4. Igualdad de tensiones de cortocircuito:



Cuando vimos circuito equivalente simplificado y reducido al primario, vimos que la tensión de cortocircuito sirve entre otras cosas para determinar la impedancia de la máquina, ya que $Z_{cc} = U_{cc} / I_{cc}$

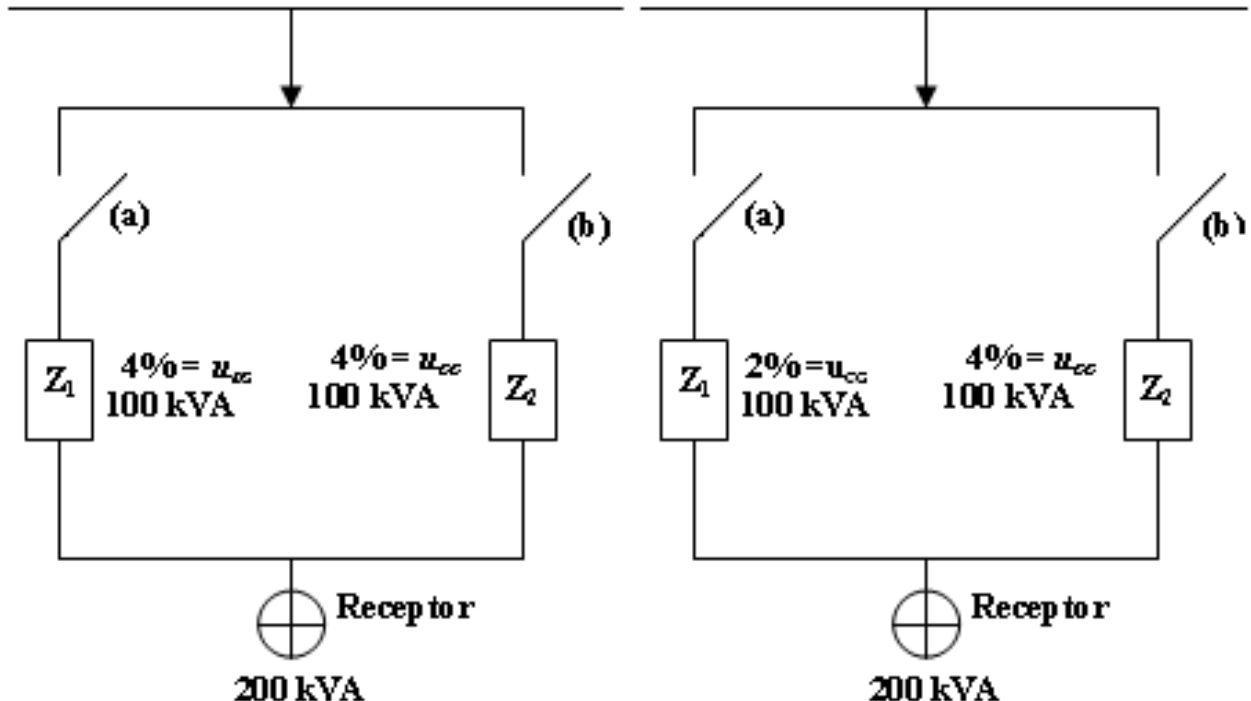
Donde: R = Resistencia total referida

X_L = reactancia total referida

$$Z_{CC} = U_{CC} / I_n$$

La I_n se obtiene de la máquina y la U_{CC} figura en placa, luego se conoce la impedancia de la máquina.

Dos transformadores en paralelo en esquema unifilar serían como dos impedancias en paralelo respecto de la carga. La corriente que viene de la red y que pide el receptor se distribuye según los valores de las impedancias internas, si son iguales, cada transformador aporta la misma potencia de 100 KVA cada uno que pide la carga.



Pero si son distintas, pasará más corriente por la más chica, en el ejemplo (abajo), la de 2%, saltan los fusibles protectores (a) y al quedar solo con un transformador de 100 kVA y la carga pidiendo 200 kVA, también saltan las protecciones (b) y quedan las dos máquinas fuera de servicio.-

Es decir, tenemos suficiente potencia instalada en los transformadores para abastecer el receptor y no podemos alimentarlo por que nos saltan las protecciones debido a la sobrecarga que sufre la máquina de menor impedancia. Luego como condición para la puesta en paralelo, es necesario que las tensiones de cortocircuito sean lo más parecidas posible. Se admite como variación hasta un 10% de diferencia.

5. Cierta relación de potencia:

Condición íntimamente ligada a la anterior. Resulta que según la potencia de la máquina es la $u_{cc}\%$ que tiene, a mayor potencia mayor $u_{cc}\%$, pues tiene mas resistencia (mas alambre), es mas grande, mayor dimensión física, por consiguiente, más L, luego aumenta Z, aumenta u_{cc} , es decir, la $u_{cc}\% = f(P)$ y $u_{cc}\% \propto Pot$. Si graficáramos $u_{cc}\% = f(pot)$ es una curva creciente. Luego podré poner en paralelo máquinas cuyas $u_{cc}\%$ difieran sólo en un 10 % y no más. En una gama de potencias, una regla práctica es que la relación de potencia sea 1:3. Es decir si debo alimentar 200 kVA podré poner en paralelo uno de 50 kVA y en la condición límite otro de 150 kVA, en servicio transitorio.