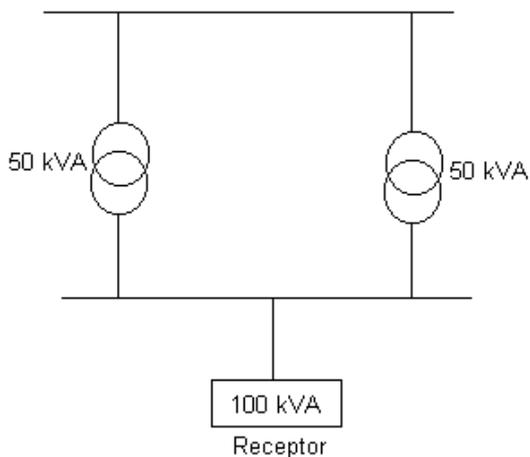


## PARALELO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS



Quando temos por exemplo um transformador ligado a um barramento que alimenta um receptor de 50 KVA, se este receptor aumentar a procura de potência para 100KVA, necessitaremos de instalar outro transformador de 50 KVA para fazer face à nova procura. Este ligar-se-á em paralelo com o anterior e a potência será novamente suficiente para alimentar o receptor. Unem-se os primários às barras de alimentação, e unem-se os secundários às barras de distribuição ou saída. Mas, para se poder fazer esta ligação em paralelo têm de se cumprir certas condições:

1. Igualdade de tensões e relação de transformação.
2. Igualdade de defasamento dos diagramas vectoriais (do secundário em relação ao primário).
3. Igualdade de sequência.
4. Igualdade de tensões de curto-circuito.
5. Uma relação de potência compatível.

Então, se se cumprirem estas cinco condições, pode-se efectuar o paralelo de dois ou mais transformadores.

### *Análise de cada uma das condições*

#### 1. Igualdade de Tensões e relação de transformação:

Por estarem unidos os primários e os secundários torna-se lógico que as tensões primárias e secundárias devam ser iguais, pois se assim não fosse um transformador alimentaria o outro. Não basta que a relação de transformação seja igual, devem também ser iguais as respectivas tensões.

Por exemplo: um transformador de 1000V/100V e outro de 100V/10V  
Têm igual relação mas não é possível ligar um primário de 1000V com outro de 100V.

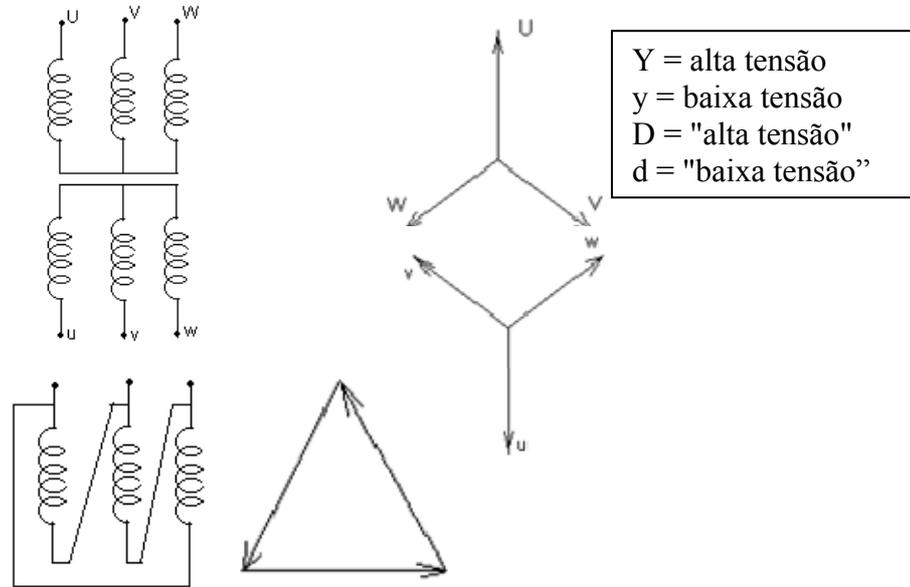
Igualdade de tensões primária e secundária implica igual relação de transformação mas igual relação não implica iguais tensões primárias e secundárias.

Se não se cumprir esta condição aparecem, logo em vazio, elevadas correntes de circulação entre os transformadores. Não é conveniente que estas correntes atinjam mais do que 10% das correntes nominais. A corrente de circulação dá origem a uma potência circulante, também chamada potência de compensação, cujo principal efeito, é o de aumentar a carga no transformador de maior tensão secundária, podendo sobrecarregá-lo.

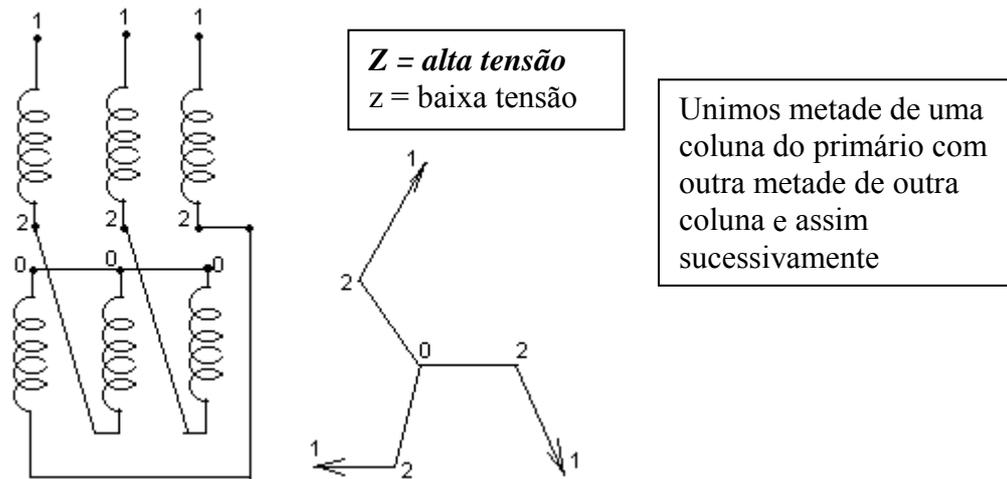
2. Igual desfasamento de diagramas vectoriais (do secundário em relação ao primário)

A condição fundamental para que os transformadores possam trabalhar em paralelo, é que os terminais a juntar entre si se encontrem em todos os instantes ao mesmo potencial.

Já conhecemos a ligação em triângulo e em estrela, vejamos agora a ligação em Zig-Zag mas antes interpretemos as ligações e os diagramas vectoriais correspondentes.



Se dividirmos o enrolamento em duas partes podemos efectuar a ligação em Zig-Zag



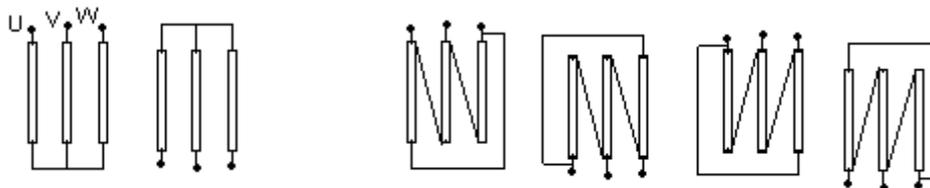
Estes esquemas representam apenas um lado do transformador, e são as principais formas de ligar o enrolamento primário e/ou o secundário. Assim um transformador pode ter ligação em Y/ $\Delta$ , Y/Y,  $\Delta/\Delta$ , Y/Z, etc., sendo várias as combinações possíveis e existindo ainda outras mais; como sejam o enrolamento hexafásico, que consta de um triângulo duplo.

A forma como é efectuada a ligação do neutro numa estrela, determina o respectivo diagrama vectorial, dado que a ligação em estrela apenas admite duas formas de realização, já as ligações em triângulo e em Zig-Zag admitem quatro formas de ligação cada uma.

Cada uma destas possibilidades, quando aplicadas ao primário e ao secundário, origina uma determinada polaridade e um determinado desfaseamento.

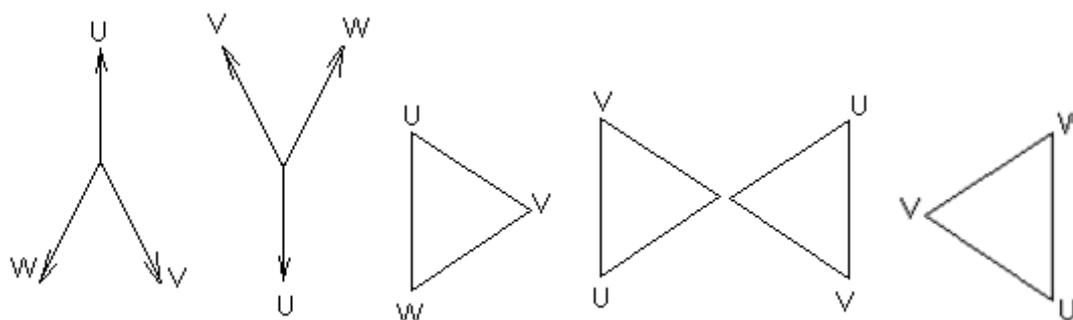
Para designar o tipo de ligação usa-se uma letra maiúscula para a tensão mais elevada e uma letra minúscula para a tensão mais baixa.

O ângulo de desfaseamento corresponde ao ângulo que formam o ponteiro da horas e o ponteiro dos minutos de um relógio, a determinada hora. Tomando como referência as 12 horas como  $0^\circ$ . Fica assim designado com duas letras e um número, o "grupo" ao qual pertence o transformador. Por exemplo, um transformador ligado em triângulo no primário e estrela no secundário com desfaseamento de  $-30^\circ$  (ou  $330^\circ$ ), pertence ao índice Dy11.



Esquemas de ligação em estrela

Esquemas ligação em triângulo



Diagramas Vectoriais

Importante:

Num transformador já construído, se se trocar a alimentação de um lado para outro, troca o desfaseamento da máquina. Exemplo: Dy11 (reduzidor) passa a Dy1 (elevador) (a alimentação passa do triângulo para a estrela e da estrela para o triângulo)

respectivamente com um desfasamento de + 30°), ou seja... ao comparar-mos as fases, **U** com **u**, se o secundário estava “desfasado” de -30°, ao passar para “primário”, passou a ser a referência e o “novo” secundário passou a estar “adiantado” +30° relativamente à referência.

Os tipos de ligação usados são 12, que são os que mais se utilizam e figuram na placa da máquina. Os índices horários mais usuais são quatro 0; 6; 5 e 11.

Para determinar o índice sobrepõem-se os respectivos diagramas vectoriais. Não se pode conectar um transformador de índice 0 com um de índice 6. Exemplo Yy0 com Yy6. No primário não há problema pois as fases **U** e **U** estão iguais sobrepondo-se os diagramas, mas no secundário, quando sobreponho os diagramas vectoriais e uno os bornes **u** ao barramento de saída, teremos o dobro do potencial da fase, por exemplo se cada uma tem 220V, estamos a unir pontos que diferem em 440V, quer dizer, mal se faça a união produz-se o curto-circuito.

Poderemos pois ligar um Yy0 com um Dd0 ou até com um Dz0, mas desde que o índice seja sempre 0, para que os bornes estejam em “iguais condições”.

São quatro grupos e três conexões por grupo, como segue.

### QUADRO DE LIGAÇÕES NORMAIS

DESFASE (ang. de Bt. en Tétraso)	DESIGNACION		DIAG. VECTORIAL		ESQUEMA CONEXIONES		
	n°	L.E.C	V.D.E	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. Sequência ou sentido de rotação das fases secundárias

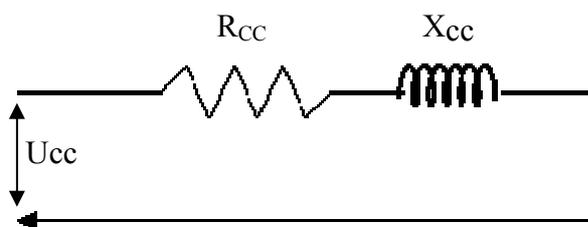
Chama-se sequência de fases à ordem de rotação dos vectores. É a sucessão no tempo, dos máximos dos parâmetros eléctricos tensão ou intensidade, nas três fases de um sistema, correspondendo-lhe um sentido de rotação do diagrama vectorial.

Os transformadores cuja sequência de fases seja oposta (ou seja: os respectivos diagramas vectoriais têm um sentido de rotação inverso), não se podem ligar em paralelo. De facto, num determinado instante os vectores de tensão secundária vão coincidir mas, no instante seguinte os vectores começam a deslocar-se e aparecem diferenças de potencial entre as fases homólogas. Então, **para se poderem pôr em paralelo, os transformadores devem ter os respectivos diagramas vectoriais a rodar no mesmo sentido (ou a todo o instante sobreponíveis).**

Tudo depende das ligações internas do transformador. Observemos um motor eléctrico trifásico, segundo a ordem de ligações às linhas ABC ou RST. Este é o sentido de rotação normal (indicado por uma seta na máquina – sentido dos ponteiros do relógio), se permutarmos duas fases a rotação será em sentido contrário.

Se na sala de aula tivéssemos que ligar em paralelo dois transformadores e não tivéssemos o instrumento adequado para comparar as respectivas sequências (sequenciómetro), poderíamos utilizar um motor assíncrono comum. Liga-se o motor no secundário de ambos os transformadores, exactamente da mesma forma, fazendo com que o motor rode em determinado sentido. Seguindo exactamente a ligação para o segundo transformador, as fases RST no motor estão ligadas em ambos os casos a UVW, na mesma correspondência. Se o motor girar em sentido contrário, as sequências são opostas e não se podem colocar os transformadores em paralelo. Neste caso é necessário trocar dois terminais quaisquer do primário, mas tendo em conta que **a inversão do sentido de rotação (sequência) altera o desfasamento (índice) do secundário em relação ao primário quando os tipos de ligação dos enrolamentos primário e secundário são distintos.**

### 4. Igualdade de tensões de curto-circuito:



Quando vimos o circuito equivalente simplificado e reduzido ao primário, vimos que a tensão de curto-circuito serve entre outras coisas para determinar a impedância da máquina, já que  $Z_{CC} = U_{CC} / I_n$

Onde:  $R_{cc}$  = Resistência total referida ao primário

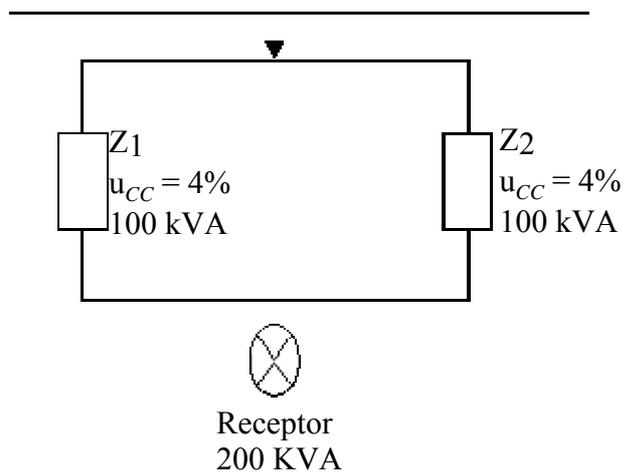
$X_{cc}$  = Reactância total referida ao primário

$Z_{CC} = U_{CC} / I_n$  = Impedância “longitudinal” da máquina.

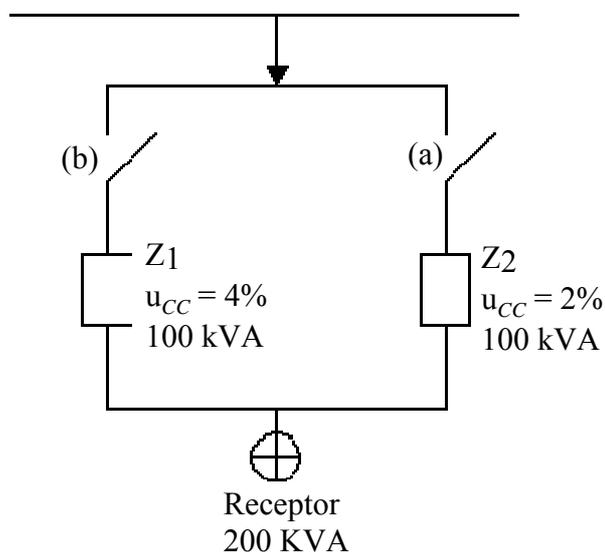
A  $I_n$  e a  $U_{CC}$  figuram na placa de características da máquina, logo  $Z_{cc}$  é um valor conhecido

Dois transformadores em paralelo em esquema unifilar comportam-se como duas impedâncias em paralelo em relação à carga. A corrente que o receptor solicita distribui-se segundo os valores das impedâncias internas dos transformadores, que se forem iguais, faz com que cada transformador contribua com a mesma potência de 100 KVA para

a carga do receptor em exemplo



Mas se forem distintas, passará mais corrente pela mais pequena, no exemplo (em baixo) será a que tem  $u_{CC} = 2\%$ , disparando as protecções (a) ficando apenas um transformador de 100 KVA a alimentar sozinho uma carga de 200 kVA, logo também disparam as protecções (b) ficando as duas máquinas fora de serviço.



Quer dizer, temos suficiente potência instalada nos transformadores para abastecer o receptor e não podemos alimentá-lo por que saltam as protecções devido à sobrecarga que sofre a máquina de menor impedância. Isto impõe logo uma condição para a colocação em paralelo, ou seja: **é necessário que as tensões de curto-circuito sejam o mais parecido possível**. Admite-se uma variação de até 10% de diferença.

5. Uma relação de potência compatível:

Condição intimamente ligada a anterior, dado que a máquina de maior potência deve ser a de menor  $u_{cc}\%$ , para o paralelo funcionar melhor, uma vez que em caso de sobrecarga esta verificar-se-á na máquina que melhor a suporta – a de maior potência. Uma regra prática é que a relação de potência não ultrapasse 1:3. Quer dizer que se queremos alimentar 200 kVA poderemos pôr no limite em paralelo um transformador de 50 kVA e outro de 150 kVA, e de modo que as  $u_{cc}\%$  não difiram em mais de 10% entre si.