

## Comparación entre las distintas posibilidades para conectar los bobinados en transformadores trifásicos.

### 1. Material para las bobinas.

Supongamos se proyecta un transformador trifásico para el cual se tiene definido el flujo máximo al que trabajara el circuito magnético y se desea estudiar para cada una de las posibilidades de conexión, de las bobinas del transformador, la sección de conductor a utilizar tomando como dato adicional del diseño la densidad de corriente máxima.

Observar que si como dato del diseño se toma el flujo máximo entonces dada una tensión para el transformador (no la bobina pues la tensión sobre las bobinas depende de la conexión) el parámetro a ajustar es el número de vueltas de la misma pues  $U = N \cdot \Phi$ .

De igual forma si el dato del diseño es la densidad de corriente máxima entonces dada la corriente del transformador (no de la bobina pues esta depende de la conexión) entonces el parámetro de ajuste es la sección del conductor que forma la bobina pues  $I = J \cdot S$

- Conexión en estrella (Y).

Si para la conexión en estrella circula una corriente I (dato) lo cual implica utilizar conductor para las bobinas de sección  $S_{cond}$  entonces se requiere N espiras de material de sección  $S_{cond}$ .

- Conexión en triángulo (D).

Para la conexión en triángulo, si se pretende que la corriente del equipo sea la misma que en el caso estrella entonces por cada bobina circulara una corriente  $I/\sqrt{3}$  lo cual demandara la utilización de una sección de conductor  $S_{cond}/\sqrt{3}$  para tener la misma densidad de corriente que en el caso de conexión en estrella.

Por otra parte cada bobina estará sometida a la tensión de línea,  $\sqrt{3}$  más grande que lo que está sometida cada bobina en la conexión en estrella para dar la misma tensión de línea; esto implica que para el mismo flujo que en el caso estrella se necesitan  $N\sqrt{3}$  espiras para lograr esta tensión.

Se concluye que se necesitan  $N\sqrt{3}$  espiras de alambre de sección  $S_{cond}/\sqrt{3}$  para construir las bobinas lo cual da el mismo volumen de material que para el caso estrella.

- Conexión en Z.

Para esta conexión circulará la misma corriente que en el caso estrella, lo cual implica una sección para el conductor de las bobinas igual a  $S_{cond}$ .

Las bobinas de cada fase estarán sometidas a una tensión  $V_Z = \frac{\sqrt{3}}{2} w \cdot N_Z \cdot \Phi$  mientras que en el caso estrella están a  $V_E = w \cdot N_E \cdot \Phi$  por lo cual se logra la misma tensión si  $N_Z =$

$\frac{2}{\sqrt{3}}N_E$ ; por lo tanto se necesitan  $\frac{2}{\sqrt{3}}$  espiras más que en el caso estrella para dar la tensión a partir del mismo flujo que en el caso de referencia.

Para este caso se concluye que se necesitan  $\frac{2}{\sqrt{3}}N$  espiras de conductor de sección  $S_{cond}$  para construir las bobinas; o sea es necesario un 15% más de volumen de material que en los casos anteriores ( $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$ ) para construir las bobinas del transformador equivalente.

### Resumen.

Para una misma potencia, mismas tensiones de línea e iguales flujos y densidades de corrientes se tiene:

	<u>Estrella</u>	<u>Triángulo</u>	<u>Zigzag</u>
Tensión compuesta	$U$	$U$	$U$
Intensidad de línea	$I$	$I$	$I$
Intensidad por arrollamiento	$I$	$\frac{I}{\sqrt{3}}$	$I$
Sección de arrollamiento (con igual densidad de corriente)	$s$	$\frac{s}{\sqrt{3}}$	$s$
Número de espiras	$N$	$\sqrt{3} N$	$\frac{2}{\sqrt{3}} N$
Peso de conductor	100	100	115,5

## 2. Requerimientos impuestos por la red.

Se realizará ahora una análisis sin las restricciones de tener fijado el flujo y la densidad de corriente, como se realizó en (1).

Ahora se sacaran conclusiones de las ventajas y desventajas de cada conexión pero tomando como parámetros de entrada para el análisis la tensión a la que se conectará el transformador y la corriente nominal.

Supongamos una red de tensión  $U$  y que la corriente nominal necesaria sea  $I$ .

- Conexión en estrella (Y).

En este caso cada bobina estará a tensión  $U/\sqrt{3}$  y por cada bobina circulará una corriente igual a  $I$ .

- Conexión en triángulo (D).

En este caso cada bobina estará sometida a tensión  $U$  y por cada bobina circulará una corriente igual a  $I/\sqrt{3}$ .

- Conexión en Z.

Cada bobina estará a tensión  $\frac{\sqrt{3}}{2}U$  y la corriente que circulará por cada bobina será  $I$ .

#### Conclusiones:

- Para la conexión en triángulo cada bobina estará a un 73% más de tensión que en el caso estrella. Esto implica ahorro en material aislante en la conexión estrella.
- Para la conexión triángulo la corriente va ser 58% de la corriente que para la conexión estrella. Desde esta óptica la sección de conductor para las bobinas en el caso triángulo puede ser menor que para el caso estrella, pero si se tiene en cuenta que para determinar la sección del conductor también se debe considerar que las bobinas deben soportar los grandes esfuerzos producto de los cortocircuitos y que esto puede ser lo que fije la sección de los conductores entonces el llevar menor corriente en régimen no resulta en un ahorro de material.
- De los dos puntos anteriores se concluye que los bobinados en estrella son más adecuados para tensiones elevadas que los bobinados en triángulo.
- En la conexión en zigzag se debe bobinar un 15% más de espiras que en el caso estrella, si se desea igual tensión; la corriente que circula por las bobinas es la misma en los dos casos. Esto muestra que la conexión Z es de mayor costo que la estrella pues si se desea tener la misma tensión entonces la opción Z demanda un 15% más de conductor que la opción estrella.
- Se concluye que la conexión estrella es la más adecuada para altas tensiones; generalmente el lado de mayor tensión de un transformador se conecta en estrella.
- Los bobinados en triángulo son más adecuados para el lado de baja tensión por ser la tensión menor y la corriente mayor. No se dispone de neutro.
- Los bobinados en Z son adecuados para baja tensión cuando se requiere un neutro en baja.

### 3. Análisis de los grupos de conexión.

#### Conexión Yy.

Conexión adecuada para enlazar redes de tensiones altas.

No desfasa las tensiones primarias respecto de las secundarias y brinda la posibilidad de disponer de neutro en ambos niveles de tensión.

No se comporta adecuadamente con cargas desequilibradas fase – neutro; no es aconsejable utilizarlo para desequilibrios mayores al 10%.

Presenta terceros armónicos en las tensiones o en las corrientes.

#### Conexión Yz.

Utilizado casi exclusivamente en redes de distribución para transformadores de baja potencia.

El lado en Y es adecuado para ser conectado a tensiones elevadas y se prefiere que el lado en Z sea para corrientes no muy altas.

Da la posibilidad de tener un neutro del lado de baja tensión

Se comporta adecuadamente frente a desequilibrios y no presenta terceras armónicas en las tensiones ni corrientes pero es una opción de mayor costo que la Yy.

#### Conexión Yd.

Generalmente utilizado en redes como transformador reductor, quedando el lado de alta tensión y menor corriente para la conexión en Y; es adecuado cuando no se requiere neutro en el secundario.

Se comporta adecuadamente ante desequilibrios de las cargas y no hay problemas de terceros armónicos.

#### Conexión Dy.

Utilizado como transformador elevador, por ejemplo en centrales de generación.

También es utilizado como transformador de distribución con la ventaja de disponer de neutro del lado de baja tensión y por tanto distribuir dos tensiones.

Se comporta adecuadamente frente desequilibrios y no presenta terceras armónicas.

Es de menor costo que la alternativa de un bobinado en z para el lado de baja tensión por es de mayor costo que la opción Yz