

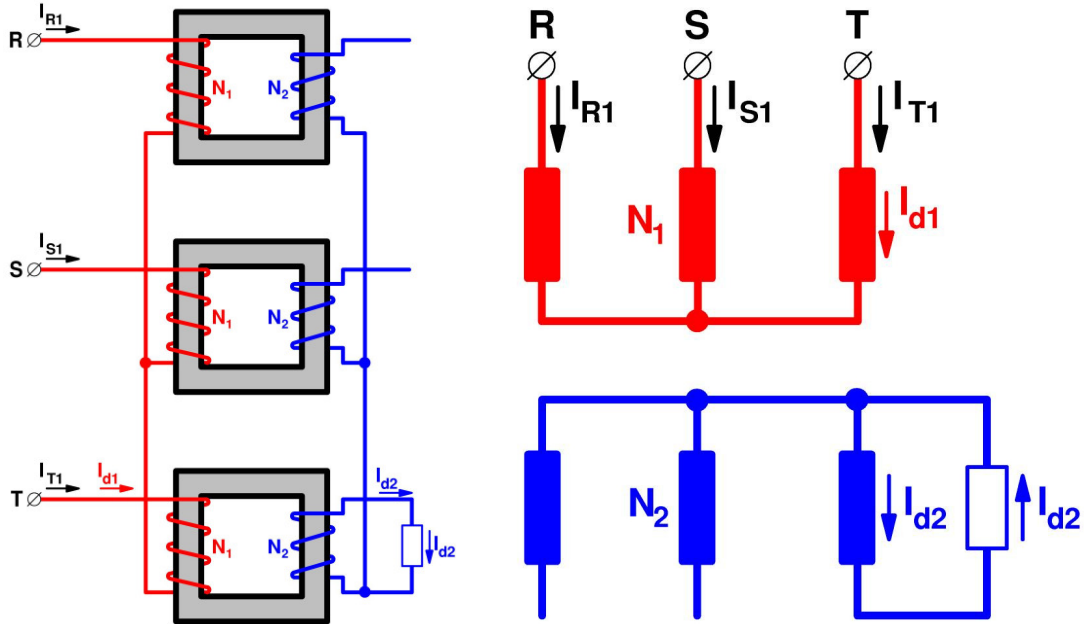
## TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS CON CARGAS MONOFÁSICAS

Miguel Angel Rodríguez Pozueta

### Conexión estrella-estrella con carga monofásica entre fase y neutro

#### Banco de 3 transformadores monofásicos o transformador trifásico de 5 columnas

Consideremos un banco de tres transformadores monofásicos conectados en estrella-estrella y que tenga en su secundario conectada una carga monofásica entre la fase T y el neutro (Fig. 1).



*Fig. 1: Banco de 3 transformadores monofásicos Yy con una carga monofásica fase-neutro*

El neutro del primario está aislado, luego se cumple que

$$\bar{I}_{R1} + \bar{I}_{S1} + \bar{I}_{T1} = 0$$

La carga monofásica da lugar a la circulación de una corriente  $I_{d2}$  por el secundario del transformador conectado en la fase T. Esta corriente  $I_{d2}$  obliga a que por el primario de este transformador circule la corriente  $I_{d1}$ . Así se consigue que el flujo en esta fase,  $\Phi_T$ , no aumente excesivamente, puesto que se verifica lo siguiente

$$N_1 \bar{I}_{d1} - N_2 \bar{I}_{d2} = \mathcal{R} \bar{\Phi}_T \approx 0 \rightarrow \bar{I}_{d1} \approx \bar{I}_{d2} / m$$

Como el neutro de la estrella del primario no está conectado a la red, esta corriente  $I_{d1}$  se cierra a través de las otras fases, de tal manera que

$$\bar{I}_{R1} + \bar{I}_{S1} + \bar{I}_{T1} = 0 \rightarrow \bar{I}_{R1} + \bar{I}_{S1} = -\bar{I}_{T1} = -\bar{I}_{d1}$$

Ahora bien, si el transformador de la fase R funcionara con una marcha industrial sucedería que

$$N_1 \bar{I}_{R1} - N_2 \bar{I}_{R2} = N_1 \bar{I}_{R0} = \mathcal{R} \bar{\Phi}_R$$

Pero ahora se tiene que

$$\bar{I}_{R1} \gg \bar{I}_{R0} ; \quad \bar{I}_{R2} = 0$$

Luego, dado que por la fase R circula una corriente que puede ser mucho más grande que su corriente de vacío su flujo es mayor que en marcha industrial:

$$\bar{\Phi}'_R = \frac{N_1 \bar{I}_{R1}}{\mathcal{R}'} \gg \frac{N_1 \bar{I}_{R0}}{\mathcal{R}} = \bar{\Phi}_R \quad \rightarrow \quad \bar{\Phi}'_R \gg \bar{\Phi}_R$$

Al ser el flujo del transformador de la fase R mucho mayor que el flujo en marcha industrial (es decir, mayor que el flujo nominal), en los devanados de este transformador aparecerán unas f.e.m.s inducidas muy grandes. Esto origina unas sobretensiones en los devanados de la fase R. Lo mismo sucede en el transformador de la fase S.

En resumen, las f.e.m.s de fase están desequilibradas, tanto en el primario como en el secundario: las f.e.m.s primaria y secundaria de la fase cargada (la fase T en la Fig. 1) disminuyen con respecto al funcionamiento con cargas equilibradas y las f.e.m.s de las otras dos fases (las fases R y S en la Fig. 1) aumentan y producen sobretensiones en los devanados de estas fases. Sin embargo, no aumenta el valor de ninguna de las tensiones compuestas (entre fases) pues siguen estando equilibradas al estar fijadas las tensiones compuestas del primario por la red a la que están conectadas.

Este funcionamiento es incorrecto: un banco de tres transformadores monofásicos con conexión Yy no debe tener cargas desequilibradas fase-neutro.

Si en lugar de tratarse de un banco de tres transformadores monofásicos, se trata de un transformador trifásico de cinco columnas se producen los mismos fenómenos.

### **Transformador trifásico de 3 columnas**

Si se trata de un transformador trifásico de tres columnas conectado en estrella-estrella, el fenómeno es algo diferente.

En efecto, las corrientes representadas en la Fig. 1 dan lugar a tres flujos no equilibrados. Es decir,

$$\bar{\Phi}_R + \bar{\Phi}_S + \bar{\Phi}_T = \bar{\Phi}_{\text{Total}} \neq 0$$

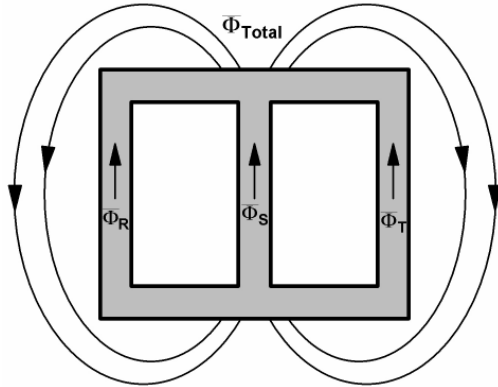
En el banco de tres transformadores monofásicos, los flujos  $\Phi_R$ ,  $\Phi_S$  y  $\Phi_T$  circulan por circuitos magnéticos independientes. En el transformador trifásico de 5 columnas, las columnas laterales permiten una fácil circulación del flujo total  $\Phi_{\text{Total}}$ .

Sin embargo, en un transformador de tres columnas no hay ningún camino de hierro que permita que el flujo  $\Phi_{\text{Total}}$  circule fácilmente. Por lo tanto, este flujo tiene que circular a través del aire y de la cuba del transformador, es decir, a través de un circuito de alta reluctancia (Fig. 2). Luego, ahora se tiene que:

$$\bar{\Phi}'_R = \frac{N_1 \bar{I}_{R1}}{\mathcal{R}'} \quad \text{con } \mathcal{R}' \gg \mathcal{R}$$

Por lo tanto, ahora se tiene un flujo  $\Phi'_R$  que no es tan grande como en el banco de tres transformadores monofásicos y las sobretensiones son menores.

Se permiten cargas fase-neutro en los transformadores Yy de 3 columnas, siempre que no originen corrientes superiores al 10% de la nominal.

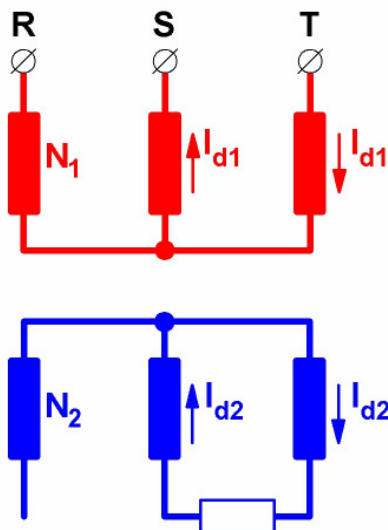


*Fig. 2: Flujos desequilibrados en un transformador de 3 columnas*

Estos problemas se resolverían conectando el neutro del primario al de la red. Sin embargo, esto no se suele hacer para que no exista la posibilidad de circulación de terceros armónicos de corriente por el primario y así evitar la producción de interferencias sobre líneas telefónicas próximas (ver más adelante el apartado de armónicos en las corrientes de vacío).

### Conexión estrella-estrella con carga monofásica fase-fase

En el caso de que un banco de tres transformadores monofásicos o un transformador trifásico de 3 ó 5 columnas tenga conectada una carga desequilibrada entre dos fases no aparecen sobretensiones. Por lo tanto, en estos transformadores se admiten este tipo de cargas.



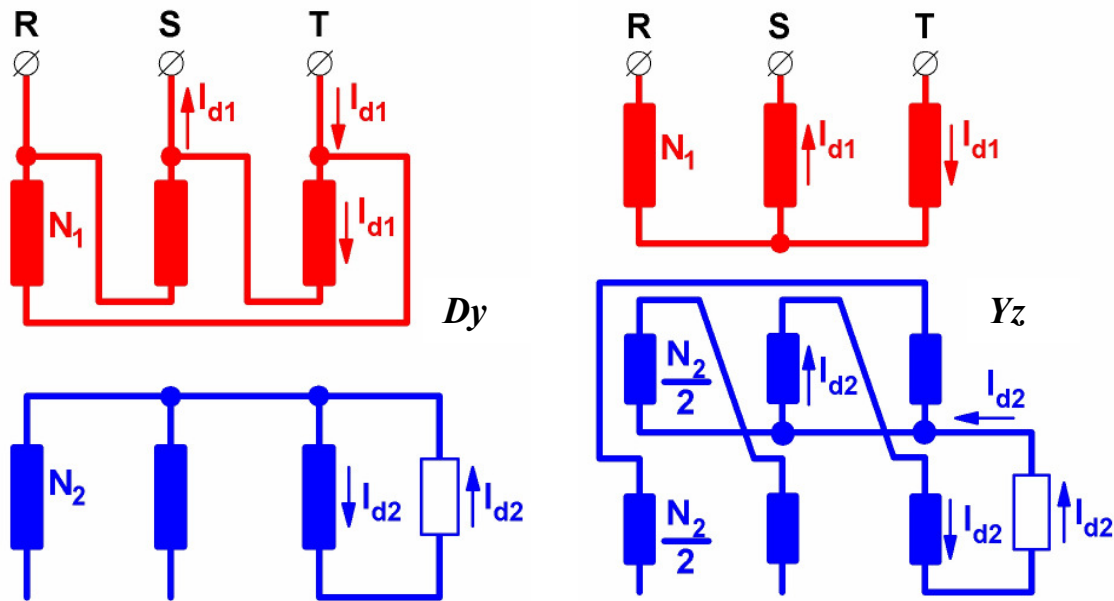
En efecto, como se aprecia en la figura 3, en este caso no existe ninguna fase con una corriente en el primario que no esté contrarrestada por otra en el secundario.

*Fig. 3: Transformador Yy con carga monofásica entre fases*

### Otras conexiones (Yd, Dy, Dd, Yz)

Aparte de la conexión Yy, todas las demás admiten sin problemas la existencia de cargas desequilibradas fase-neutro o fase-fase.

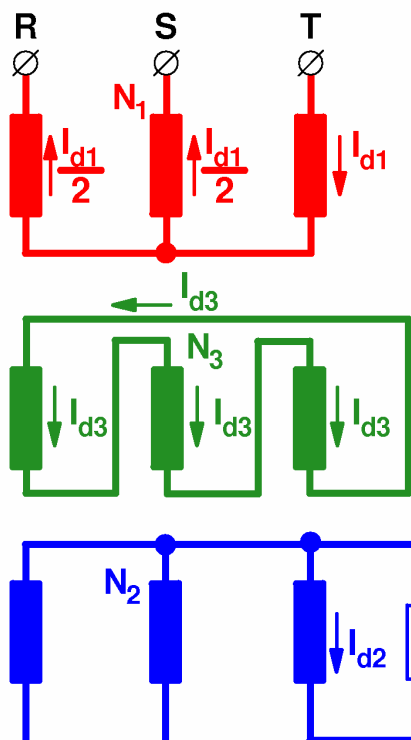
Así, en las figuras 4 y 5 se puede apreciar que en las conexiones Dy e Yz con carga fase-neutro no existen fases con una corriente en el primario que no esté contrarrestada por otra en el secundario. Por lo tanto, con estas conexiones no aparecen sobretensiones, cualquiera que sea el tipo de transformador utilizado.



*Figs. 4 y 5: Conexiones Dy e Yz con cargas monofásicas fase-neutro*

**Arrollamientos terciarios o de compensación**

Colocando un tercer arrollamiento en cada fase de un transformador Yy y conectando estos arrollamientos en triángulo desaparecen los inconvenientes debidos a las cargas desequilibradas entre fase y neutro (Fig. 6). Estos arrollamientos se denominan terciarios o de compensación.



En la fases del transformador de la Fig. 6 se verifica que

$$\begin{cases} \bar{I}_{d1} N_1 - \bar{I}_{d2} N_2 + \bar{I}_{d3} N_3 = \mathcal{R} \bar{\Phi} & (\text{Fase T}) \\ -\frac{\bar{I}_{d1}}{2} N_1 + \bar{I}_{d3} N_3 = \mathcal{R} \bar{\Phi} & (\text{Fases R y S}) \end{cases}$$

Para cualquier corriente monofásica Id2 aparecerán las corrientes Id1 e Id3 que cumplan el sistema anterior. Por lo tanto, el flujo es el nominal en todas las fases y no aparecen sobretensiones.

*Fig. 6: Transformador Yy con devanado terciario o de compensación*