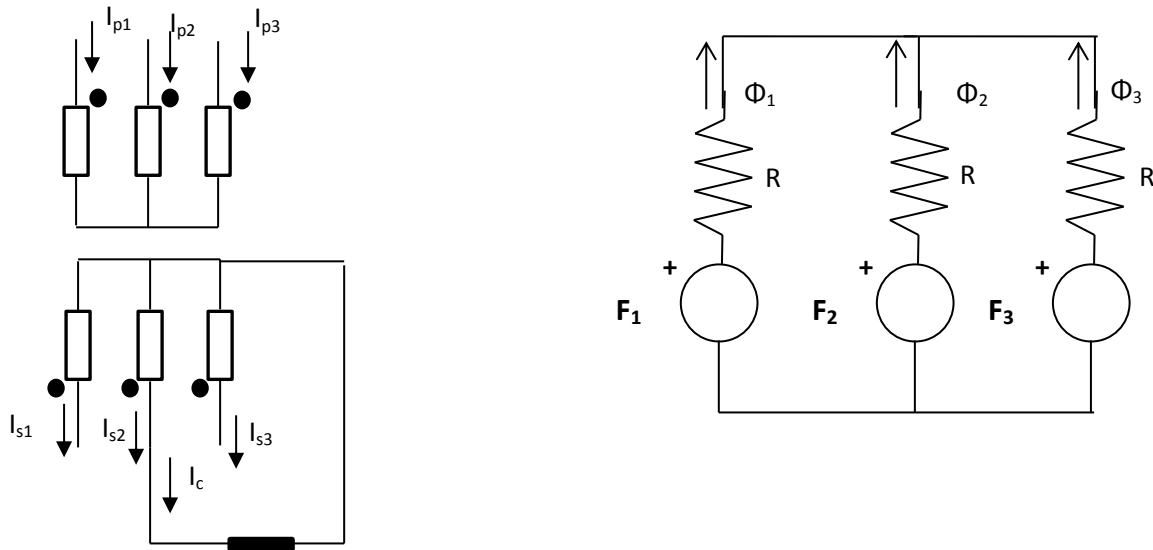


Transformadores Trifásicos en Régimen Desequilibrado.

1. Transformador de núcleo plano de tres columnas Yy con carga fase neutro.

Consideremos un transformador trifásico de tres columnas de núcleo plano con una carga conectada en su secundario entre fase y neutro y las restantes fases en vacío.



El primario se encuentra alimentado por una fuente trifásica perfecta de secuencia directa.

No se consideran flujos de fuga, resistencia de los arrollamientos ni pérdidas de vacío.

Se considera despreciable la reluctancia del circuito magnético $\mathcal{R} \cong 0$

Las Fmm son por definición:

$$F_1 = N_p i_{p1} - N_s i_{s1} = N_p i_{p1} \quad \text{Corriente secundaria de la fase 1 igual a cero.}$$

$$F_2 = N_p i_{p2} - N_s i_{s2} = N_p i_{p2} - N_s i_c$$

$$F_3 = N_p i_{p3} - N_s i_{s3} = N_p i_{p3} \quad \text{Corriente secundaria de la fase 3 igual a cero.}$$

Del circuito magnético se deduce:

$$F_1 - F_2 = \mathcal{R}(\phi_1 - \phi_2) \cong 0$$

$$F_2 - F_3 = \mathcal{R}(\phi_2 - \phi_3) \cong 0$$

De las últimas dos igualdades se deduce:

$$F_1 = F_2 = F_3$$

Entonces:

$$i_{p1} = i_{p3} = i_{p2} - \frac{N_s}{N_p} i_c$$

Además en el primario se debe cumplir Kirchhoff:

$$i_{p1} + i_{p2} + i_{p3} = 0$$

Entonces:

$$2 \cdot i_{p2} - 2 \cdot \frac{N_s}{N_p} i_c + i_{p2} = 0$$

$$i_{p2} = \frac{2 \cdot N_s}{3 \cdot N_p} i_c$$

Despejando las otras corrientes primarias:

$$i_{p1} = i_{p3} = -\frac{N_s}{3 \cdot N_p} i_c$$

Si se calculan las Fmm se tiene: $F_1 = F_2 = F_3 = -\frac{N_s}{3} i_c$

Se tienen tres Fmm de igual valor y en fase que producirán flujos de iguales características, o sea flujos homopolares de igual frecuencia que la red.

Estos flujos homopolares circularán por el aire, el aceite y la cuba del transformador (produciendo calentamiento de la misma).

En este análisis no se consideraron los flujos de magnetización de cada columna los cuales no son homopolares sino un sistema directo pues son originados por un sistema de tensiones de secuencia directa.

Estos flujos valen (en las hipótesis consideradas)

$$\bar{\Phi}_1 = \frac{\bar{V}_1}{j\omega}$$

$$\bar{\Phi}_2 = \frac{\bar{V}_2}{j\omega}$$

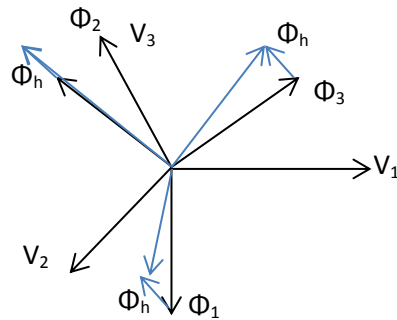
$$\bar{\Phi}_3 = \frac{\bar{V}_3}{j\omega}$$

Superpuesto a esto se tiene un flujo homopolar de valor:

$$\bar{\Phi}_h = -\frac{N_s}{\mathcal{R}_f} \bar{I}_c$$

Dependiendo de la naturaleza de la carga se fija la dirección del flujo homopolar.

Las tensiones son la derivada del flujo por lo cual en cada fase aparece una tensión homopolar derivada del flujo homopolar que hace que los neutros se desplacen; esto es el neutro de la fuente ya no se encuentra a la misma tensión que el neutro de la fuente.



Del diagrama *fasorial* se observa claramente que se producen importantes desequilibrios en las tensiones que pueden llevar el transformador a la saturación.

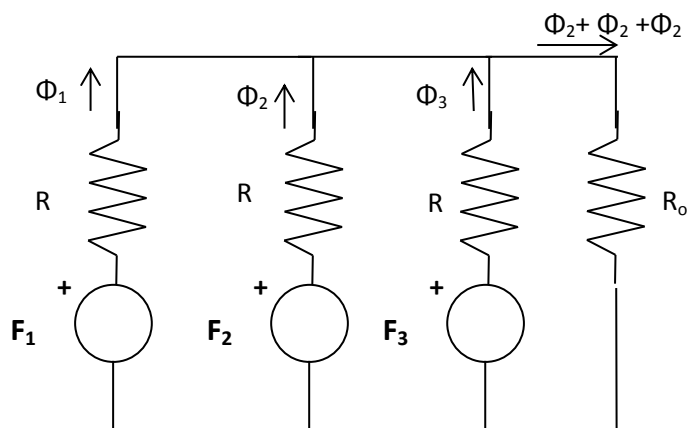
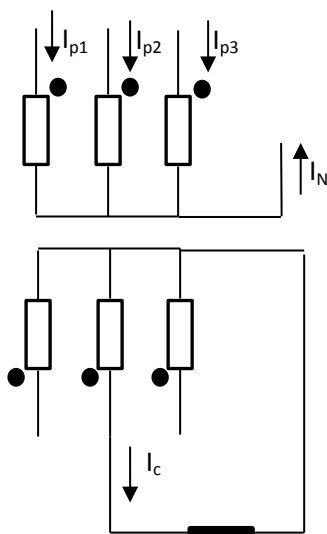
Este tipo de conexión no es adecuado para cargas que impliquen desequilibrios entre fase y neutro. Se recomienda no introducir desequilibrios mayores al 10% entre fase y neutro.

2. Transformador de núcleo de 5 o 4 columnas conectado Yy con carga fase neutro.

Este tipo de núcleos brindan un camino por el hierro a los flujos homopolares que se producen debido a la carga entre fase y neutro por lo cual la magnitud del flujo y por tanto de las tensiones inducidas por estos serán mucho más importante que para el caso de núcleo plano de tres columnas.

Con este tipo de núcleos queda claro que el problema se agrava; no se recomienda utilizar el transformador de esta manera.

3. Transformador Yy de tres columnas con carga fase neutro y el neutro primario conectado.



$$F_1 = \mathcal{R}\phi_1 + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \cong \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$F_2 = \mathcal{R}\phi_2 + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \cong \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$F_3 = \mathcal{R}\phi_3 + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \cong \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$\mathcal{R} \ll \mathcal{R}_o; \mathcal{R} \cong 0$$

$$F_1 = N_p i_{p1} - N_s i_{s1} = N_p i_{p1}$$

$$F_2 = N_p i_{p2} - N_s i_{s2} = N_p i_{p2} - N_s i_c$$

$$F_3 = N_p i_{p3} - N_s i_{s3} = N_p i_{p3}$$

Entonces:

$$N_p i_{p1} = \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$N_p i_{p2} - N_s i_c = \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$N_p i_{p3} = \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$i_{p1} + i_{p2} + i_{p3} = i_N$$

Se deduce que:

$$i_{p1} = i_{p3}$$

$$N_p i_{p2} = N_s i_c + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

En la cuarta ecuación se tiene:

$$2. i_{p1} + i_{p2} = i_N$$

$$N_p i_N = N_s i_c + 3. \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

Observar que: $\phi_h = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3$ es el flujo homopolar el cual se anula si la corriente por el neutro es:

$$i_N = \frac{N_s}{N_p} i_c$$

En esta situación las corrientes primarias por las fases uno y tres son nulas y la corriente de la fase dos circula por el neutro. De esta forma la fuerza magneto motriz neta de cada columna es nula.

4. Transformador Yyd de tres columnas con carga fase neutro .

Otra alternativa para anular las fuerzas magneto motrices homopolares es que el transformador disponga de un terciario en triangulo por donde circularan corrientes homopolares que anulan el flujo homopolar creado por la corriente de carga.

Este transformador en triangulo opera en vacío.

$$F_1 = \mathcal{R}\phi_1 + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \cong \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$F_2 = \mathcal{R}\phi_2 + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \cong \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$F_3 = \mathcal{R}\phi_3 + \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \cong \mathcal{R}_o(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$\mathcal{R} \ll \mathcal{R}_o; \mathcal{R} \cong 0$$

$$F_1 = N_p i_{p1} - N_s i_{s1} + N_T i_T = N_p i_{p1} + N_T i_T$$

$$F_2 = N_p i_{p2} - N_s i_{s2} + N_T i_T = N_p i_{p2} - N_s i_c + N_T i_T$$

$$F_3 = N_p i_{p3} - N_s i_{s3} + N_T i_T = N_p i_{p3} + N_T i_T$$

Entonces:

$$N_p i_{p1} + N_T i_T = \mathcal{R}_o \phi_h \quad (1)$$

$$N_p i_{p2} - N_s i_c + N_T i_T = \mathcal{R}_o \phi_h \quad (2)$$

$$N_p i_{p3} + N_T i_T = \mathcal{R}_o \phi_h \quad (3)$$

$$i_{p1} + i_{p2} + i_{p3} = 0 \quad (4)$$

Restando (1) menos (3):

$$i_{p1} = i_{p3}$$

Sustituyendo en (4): $2 \cdot i_{p1} + i_{p2} = 0$

Restando (2) menos (3):

$$i_{p2} = \frac{2 \cdot N_s}{3 \cdot N_p} i_c$$

$$i_{p1} = i_{p3} = -\frac{N_s}{3 \cdot N_p} i_c$$

Calculo de la corriente por el terciario:

$$N_T i_T = N_s \frac{i_c}{3} + \mathcal{R}_o \phi_h$$

Otra vez se observa que el flujo homopolar es nulo cuando la corriente por el terciario

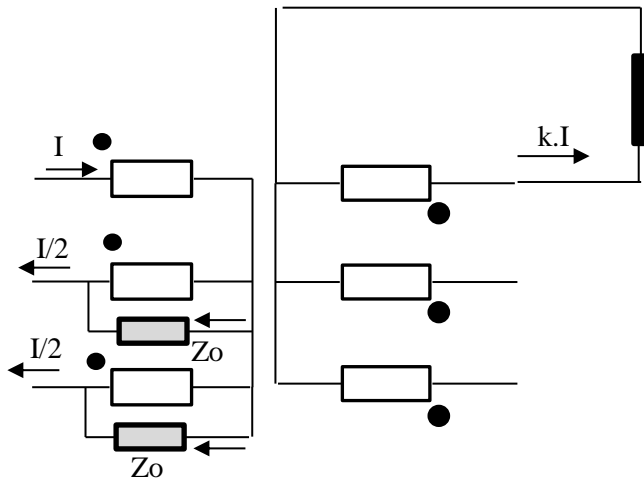
adquiere un valor de: $i_T = \frac{N_s i_c}{N_T 3}$

De esta forma la fuerza magneto motriz neta en cada columna es cero.

5. Banco de transformadores conectados Yy con carga fase neutro.

Si bien el transformador de núcleo plano de tres columnas no es adecuado para conectarle cargas que impliquen desequilibrios entre fase y neutro el caso de tres transformadores monofásicos conectados Yy se comporta aún peor.

La observación anterior se fundamenta en que ahora los flujos homopolares producidos por la carga entre fase y neutro tienen un camino por el hierro por lo cual tendrán una magnitud importante aún para corrientes de carga bajas.



El análisis de la situación a partir del modelo de cada situación se observa en la figura.

En la fase superior la corriente por la impedancia de vacío se puede despreciar dado que esta en paralelo con la impedancia de carga pasada al primario pero en la fase central e inferior la corriente será toda magnetizante dado que los secundarios están en vacío.

Si se asume que la corriente la fase uno se reparte en partes iguales en las otras dos fases se puede realizar el siguiente cálculo:

$$\bar{I} = \frac{U}{k^2 \bar{Z} + \frac{\bar{Z}_0}{2}} \cong \frac{2 \cdot U}{\bar{Z}_0}$$

Siendo U la tensión de línea y Z la impedancia de carga.

Luego se tiene que la fase central e inferior están a una tensión igual a:

$$\bar{Z}_0 \frac{\bar{I}}{2} \cong U$$

De esta forma queda claro que transformadores que están diseñados para trabajar a tensión de fase estarán sometidos casi a la tensión de línea por lo cual estarán francamente saturados.

Se concluye que el caso de tres transformadores monofásicos conectados Yy con desequilibrios fase neutro no puede funcionar adecuadamente.

No se recomienda su utilización.