TEMA 37

ACOPLAMIENTO DE TRANSFORMADORES

37.1. ACOPLAMIENTO EN PARALELO DE TRANSFORMADORES [1].

Se dice que dos o más transformadores están conectados en paralelo cuando sus arrollamientos en el primario están conectados a una sola red y los del secundario a otra, que también tiene que ser única.

Este tipo de acoplamiento se realiza cuando se necesita incrementar la potencia suministrada a una red de distribución.

En la práctica, en vez de un transformador que suministre toda la potencia, se instalan varios transformadores, de forma que la suma de sus potencias sea igual a la potencia requerida por los receptores a los que se pretende alimentar. De esta forma, se podrán desconectar los que no sean precisos en cada momento, además de facilitar las labores de reparación y verificación.

37.2. ACOPLAMIENTO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS.

Para que se puedan acoplar en paralelo dos o más transformadores monofásicos, se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

1º.- Idéntica relación de transformación.

2º.- Conexión de la misma polaridad.

3º.- Mismos índices de carga.

A continuación se van a justificar cada una de estas condiciones.

---

[1] Los transformadores pueden estar eléctricamente inmediatos o eléctricamente distanciados. En el primer caso las impedancias que los separan son despreciables, pero en el segundo no.

En el estudio que se hace en este capítulo se refiere a transformadores eléctricamente inmediatos. En consecuencia en barras del primario y del secundario, las impedancias se van a considerar despreciables.

1º.- Idéntica relación de transformación.

En el acoplamiento en paralelo, los primarios y los secundarios de los transformadores están unidos a dos líneas eléctricas independientes. Por tanto si la tensión genérica en el lado de alta es $\mathbf{U}_1$, está será la que alimente ambos transformadores. Si la relación de transformación en ambos transformadores no fuese igual, se produciría una diferencia de potencial entre secundarios, y por tanto se establecería una malla cerrada entre ambos. Debido a la baja impedancia de los arrollamientos secundarios, la corriente de circulación sería elevada, lo que imposibilitaría la conexión en paralelo de estos transformadores.

En la Fig.37.1, se indica la situación que se produciría en el supuesto de que ambos transformadores no tuviesen la misma relación de transformación. En estas circunstancias, se establecería una corriente en los circuitos secundarios, tal como se señala en la figura.

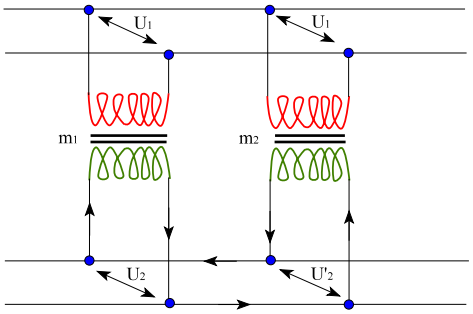


Fig.37.1

2º.- Conexión de la misma polaridad.

Como se ha indicado en la condición primera, es preciso que los transformadores que se vayan a acoplar en paralelo tengan la misma relación de transformación ($m_1 = m_2$), por tanto las tensiones en el secundario tienen que ser iguales.

La Fig.37.2 indica la situación que se produciría si los dos transformadores no tuviesen los secundarios conectados con la misma polaridad. En este caso, como en el anterior, también se produciría una corriente de circulación en los secundarios, tal como se señala en la figura. La tensión que aparecería en la malla que forma el circuito secundario de los dos transformadores, sería el doble de la que tuviese cada uno de ellos. La corriente de circulación en la citada malla imposibilitaría este tipo de conexión.

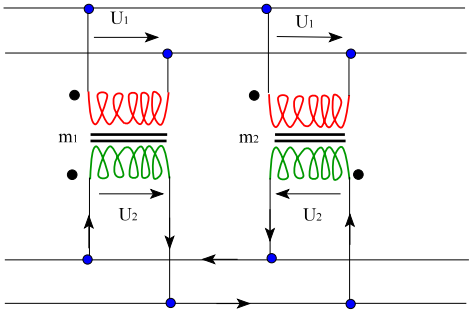


Fig.37.2

3º.- Mismos índices de carga.

Teniendo en cuenta que se deben cumplir las dos condiciones anteriores, se verifica que para cualquier régimen de carga, la caída de tensión en ambos transformadores tiene que ser igual.

La carga que suministran dos transformadores acoplados en paralelo se reparte entre ambos, con la condición de que la hipotenusa del triángulo, en el diagrama de Kapp, sea la misma.

Llamando $\mathbf{I_1}$ e $\mathbf{I^*_1}$, las intensidades en los transformadores **1** y **2**, respectivamente, se tiene que cumplir en todo momento:

$$Z_{eq1} \cdot I_1 = Z^*_{eq1} \cdot I^*_1 \qquad (37.1)$$

Donde:

Z_{eq1} : Impedancia equivalente del primer transformador, referida al primario.

I_1 : Intensidad del primer transformador, referida al primario.

Z^*_{eq1} : Impedancia equivalente del segundo transformador, referida al primario.

I^*_1: Intensidad del segundo transformador, referida al primario.

Si se denominan $\mathbf{I_{1n}}$ e $\mathbf{I^*_{1n}}$, las intensidades nominales en ambos transformadores, se puede expresar, a partir de (37.1):

$$\frac{I_1}{I_{1n}} \cdot \frac{Z_{eq1} I_{1n}}{U_1} = \frac{I^*_1}{I^*_{1n}} \cdot \frac{Z_{eq1} I^*_{1n}}{U_1} \qquad (37.2)$$

Es decir:

$$\left(\frac{I_1}{I_{1n}}\right) \cdot Z_{pu} = \left(\frac{I^*_1}{I^*_{1n}}\right) \cdot Z^*_{pu} \qquad (37.3)$$

O bien:

$$C_1 \cdot Z_{pu1} = C_1^* \cdot Z^*_{pu1} \qquad (37.4)$$

Donde $\mathbf{C_1}$ y $\mathbf{C_1^*}$ son los índices de carga de los dos transformadores.

Como las impedancias por unidad en ambos transformadores son iguales, los índices de carga también lo serán. Con lo que se cumple la tercera condición para que se puedan conectar dos transformadores monofásicos en paralelo[2].

[2] Si los transformadores están eléctricamente distanciados, no es preciso ser tan estricto en las condiciones para que trabajen en paralelo. En este supuesto, las corrientes de circulación disminuyen sensiblemente debido a las reactancias equivalentes de las líneas que unen primarios y secundarios, cosa que se ha supuesto despreciable

37.3. ACOPLAMIENTO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

En el caso del acoplamiento en paralelo de transformadores trifásicos, además de tenerse que cumplir las tres condiciones de los monofásicos, se tiene que cumplir una cuarta condición, consistente en tener el mismo índice horario[3].

En efecto, si se conectasen al mismo sistema trifásico de tensiones en el primario, transformadores trifásicos con índice horario diferente, los sistemas trifásicos de tensiones en el secundario estarían desfasados, y por lo tanto darían lugar a tensiones entre ellos, lo que finalmente se traduciría en corrientes de circulación entre secundarios, que haría la conexión inadmisible.

En definitiva, solo son compatibles para la conexión en paralelo los transformadores trifásicos que cumplan los siguientes requisitos:

1º.- Idéntica relación de transformación.

2º.- Conexión de la misma polaridad.

3º.- Mismos índices de carga.

4º.- Mismos índices horarios.

37.4. CARGAS DESEQUILIBRADAS EN LOS TIPOS DE ACOPLAMIENTOS DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

Es necesario estudiar el comportamiento de transformadores trifásicos cuando se les conectan cargas desequilibras. En la práctica, hay que evitar este tipo de cargas, ya que su presencia se traduce en una mala utilización del transformador, puesto que de esta forma no pueden trabajar todas las fases a plena carga.

---

en los conectados eléctricamente inmediatos.

[3]En el caso de acoplarse transformadores del mismo índice horario, nos bastará conectar a cada hilo de la línea trifásica los bornes de los transformadores que tengan la misma letra, es decir los bornes correspondientes. De hecho, así se procede en la práctica. Evitando tener transformadores de distinto índice horario.

No obstante lo que se acaba de decir, en algunos casos, se pueden utilizar transformadores que trabajen en paralelo con distinto índice horario. Para ello es preciso no conectar a los hilos de la línea los bornes correspondientes. Así, un transformador de índice horario 1 y 5 puede funcionar en paralelo con otro de índice 7 y 11, pero para ello es preciso que se invierta el orden de sucesión de fases de un respecto a otro.

37.4.1. DESEQUILIBRIO FASE-FASE.

Las conclusiones en este caso son:

1ª.- Los acoplamientos se comportan bien ante este tipo de desequilibrio. En cada columna se produce un equilibrio de fuerzas magnetomotrices. En consecuencia, no se producen flujos adicionales indeseables. Por tanto no se producen desequilibrio de tensiones.

2ª.- En los índices horarios 0 y 6, la carga desequilibrada en el secundario repercute en el primario en carga, en dos conductores de la línea de alimentación del transformador. En los grupos 5 y 11, la carga repercute sobre los tres conductores de la línea de alimentación del transformador, pero en este caso de forma desequilibrada.

37.4.2. DESEQUILIBRIO FASE-NEUTRO.

Se pueden considerar los siguientes casos:

Estrella-estrella. En el este caso se produce un comportamiento malo al producirse flujos homopolares en las columnas del transformador, como consecuencia se producen inconvenientes.

Triángulo-estrella. Este es un tipo de conexión adecuado.

Estrella-zigzag. Este es un tipo de conexión adecuado.

Como consecuencia se puede decir que solamente el tipo de conexión estrella-estrella es inadecuado para este tipo de desequilibrio.