PROHIBIDA SU PUBLICACIÓN

TEMA 36

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

36.1. DEFINICIÓN.

Un transformador trifásico es una máquina estática que transforma un sistema trifásico de tensiones y corrientes en el primario, en otro sistema trifásico de tensiones y corrientes en el secundario.

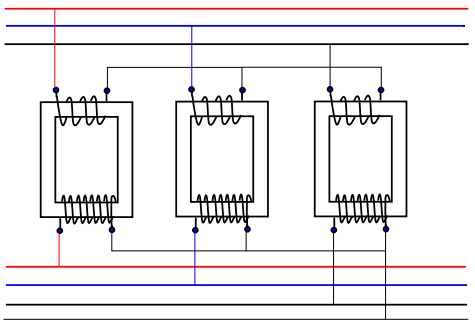


Fig. 36.1

Se puede concebir la máquina como un conjunto de transformadores monofásicos según se indica en la Fig.36.1. Estos transformadores se puede conectar en estrella (**Y**) o en triángulo (Δ), tanto el primario como el secundario. En este tipo de conexión los tres circuitos magnéticos son independientes.

En la Fig.36.1, se representa un transformador trifásico compuesto por tres monofásicos, cuya conexión es:

Primario en Estrella..... Y
Secundario en Estrella.... y

Para conectar los tres transformadores monofásicos, de forma que el conjunto actúe como un transformador trifásico, se conectan los arrollamientos primarios de los tres transformadores a una línea, y los secundarios a otra. Al lado del primario se le suele llamar *lado de alta*, y al del secundario *lado de baja.*

Sin embargo, en la práctica no se construyen así los transformadores trifásicos, ya que:

a) Los circuitos magnéticos independientes aumentan el coste de fabricación.

b) Se pierde mucha potencia en vacío.

Para resolver estos problemas se construyen transformadores trifásicos por yuxtaposición de los circuitos magnéticos, reduciendo el hierro del núcleo con respecto al caso anterior.

En la Fig.36.2 se representa un transformador trifásico, en el cual las bobinas primarias y secundarias de cada fase van arrolladas a una misma columna del núcleo. Estas bobinas se pueden conectar en estrella o en triángulo, de forma indistinta.

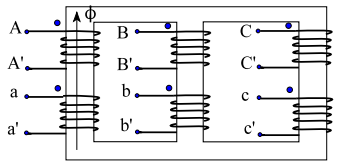


Fig.36.2

El estudio, desde el punto de vista eléctrico, es similar al de los transformadores monofásicos, pero realizado para cada fase.

Un asunto importante es estudiar los desfases entre magnitudes que definen las tensiones, y en consecuencia estudiar la polaridad de los arrollamientos.

Los arrollamientos que van conectados a una misma columna, que son los que corresponden a cada fase en primario y secundario, están atravesados por un flujo magnético común, Φ.

Se denominan *terminales homólogos,* aquellos por los que deben entra las corrientes en los dos arrollamientos correspondientes a una misma fase, de forma que los flujos en el núcleo sean del mismo sentido. En la Fig.36.2 los terminales homólogos son: **A** y **a** ; **B** y **b** ; **C** y **c**, y se señalan con un punto ●.

Como puede observarse las fuerzas electromotrices $\mathbf{E_1}$ y $\mathbf{E_2}$, en primario y secundario, **A-A'** y **a-a'** respectivamente, están en fase, lo mismo sucede con las fuerzas electromotrices de las otras dos fases.

En definitiva, están en fase las fuerzas electromotrices entre los terminales:

A - A' y a - a'

B - B' " b - b'

C - C' " c - c'

Si se conectan las tres bobinas del primario (A-A' ; B-B' y C-C') a un sistema trifásico equilibrado de tensiones, las fuerzas electromotrices del primario estarán desfasadas **120º** entre sí.

Si se conectan en estrella las bobinas de primario y secundario, la conexión del transformador se puede representar mediante la Fig.36.3.

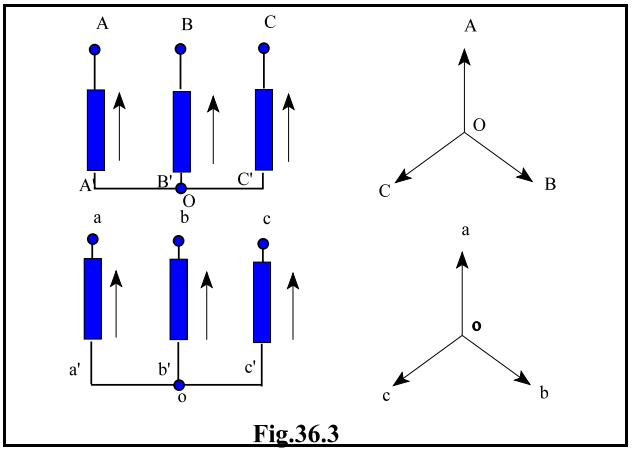


Fig.36.3

Las fuerzas electromotrices inducidas en las bobinas del primario están desfasadas **120º** entre sí, y además tendrán el mismo módulo, por ser dichas bobinas de idénticas características.

Si se unen los arrollamientos del secundario en estrella, con neutro formado por la unión de **a'-b'-c',** las fuerzas electromotrices inducidas en el secundario formarán también un sistema trifásico equilibrado, pero además como **OA** y **oa**; **OB** y **ob**; **OC** y **oc**, están es fase, se tendrán dos sistemas trifásicos; primario y secundario, en fase.

En la tapa del transformador aparecen los terminales **A**, **B**, **C**, **O,** y **a**, **b**, **c, o**, para el primario y secundario, respectivamente.

Se denomina *bornes correspondientes* a los designados por la misma letra, mayúscula y minúscula, tales como **A** y **a**, **B** y **b**, **C** y **c**. En el caso que se acaba de comentar, correspondiente a la Fig.36.3, estos terminales también son homólogos. En la práctica, no tienen porqué ser así, como por ejemplo en la Fig.36.4, donde los terminales homólogos son **A** y **a'**; **B** y **b'**; **C** y **c'**, mientras que los correspondientes son **A** y **a**; **B** y **b**; **C** y

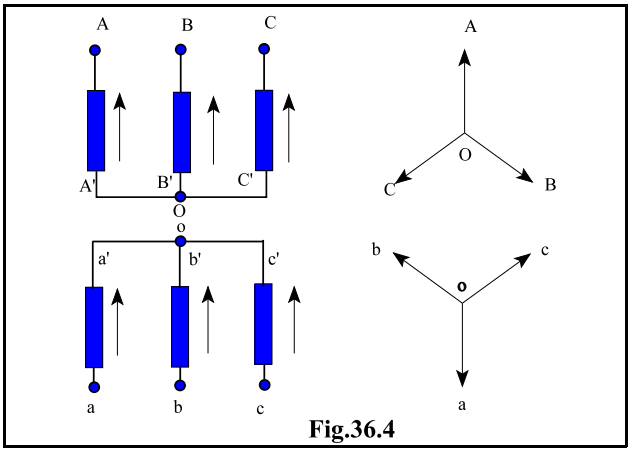


Fig.36.4

c.

Se desprende de la Fig.36.4, que las fuerzas electromotrices de primario y secundario están desfasadas **180º**, entre sí.

Supongamos ahora, que las bobinas del primario están conectadas en triángulo y las del secundario en estrella, según se indica en la Fig.36.5.

En este caso:

B-A está en fase con o-a.

C-B " " " " o-b.

A-C " " " " o-c.

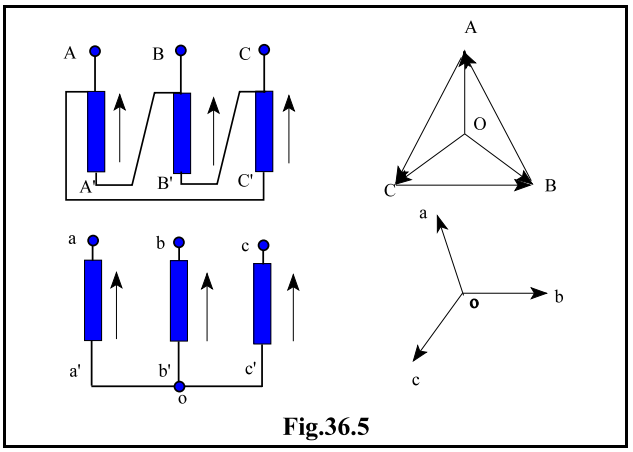


Fig.36.5

36.2. GRUPOS DE CONEXIONES.

Existen distintos grupos de conexiones en los transformadores trifásicos. Estas se obtienen combinando las del primario con las del secundario. Cada una de ellas dará lugar a distintos tipos de transformadores.

En la Tabla 36.1, se recogen todas las posibles combinaciones:

Tabla 36.1. Grupos de conexiones de los transformadores trifásicos

Secundario	Primario	
	Y	*D*
y	Yy	Dy
d	Yd	Dd
z	Yz	Dz

Donde:

Y : Estrella en el primario.
D : Triángulo en el primario.
y : Estrella en el secundario.
d : Triángulo en el secundario.
z : Zigzag en el secundario.

De todo lo expuesto se deduce que existen distintos grupos de conexiones en los transformadores trifásicos. Dichos grupos se obtienen atendiendo a los siguientes criterios:

1º) Tipos de conexiones en las bobinas del primario y secundario.
2º) Desfases que se producen entre las magnitudes correspondientes del primario y secundario.

Para la determinación del desfase se utiliza el llamado *índice horario*, con el siguiente convenio:

a) El vector **OA** se hace coincidir con la manecilla del minutero de un hipotético reloj.

b) El vector **oa** se hace coincidir con la manecilla del horario del hipotético reloj.

c) Se supone que la manecilla del minutero marca siempre las 12, en el hipotético reloj.

En consecuencia, el vector **oa** estará siempre desfasado respecto de **OA** un ángulo múltiplo de **30º**, y por tanto situado en la esfera del supuesto reloj coincidiendo con una de las horas.

36.3. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

La relación de transformación, en un transformador trifásico, está dada por la relación entre los valores de las fuerzas electromotrices entre dos terminales del primario, y las correspondientes del secundario.

El valor de la relación de transformación, **m'**, dependerá del grupo de conexión de que se trate. Para las distintas combinaciones se tendrá:

a) Estrella-Estrella.

$$m' = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}.U'_1}{\sqrt{3}.U'_2} = \frac{U'_1}{U'_2}$$

Por estar primario y secundario en estrella.

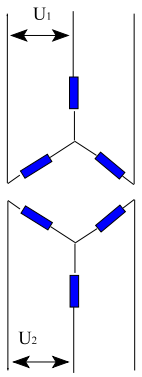


Fig.36.6

Pero la relación de cada monofásico es:

$$m = \frac{U'_1}{U'_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Luego: $m' = m$

Es decir, la relación del transformador trifásico coincide con la de cada monofásico que lo constituye.

b) Triángulo-Triángulo.

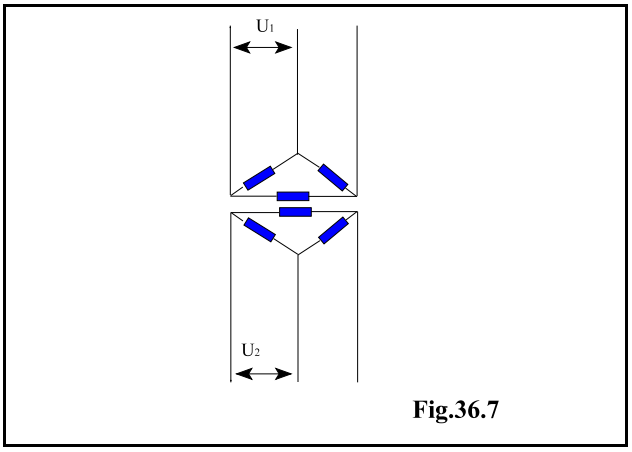


Fig.36.7

$$m' = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U'_1}{U'_2}$$

Por estar primario y secundario en triángulo.

Pero la relación de cada monofásico es:

$$m = \frac{U'_1}{U'_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Luego: $m' = m$

Es decir, la relación del transformador trifásico coincide con la de cada monofásico que lo constituye.

c) Estrella zigzag.

Como caso especial se va a estudiar la conexión, primario es estrella y secundario en zigzag.

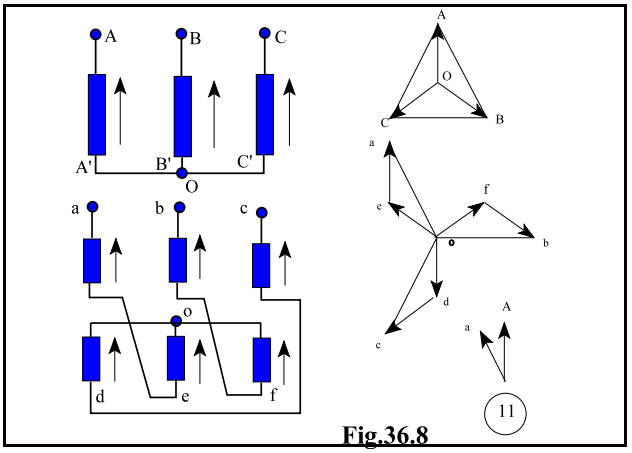


Fig.36.8

$$m' = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\overline{AB}}{\overline{ab}}$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{ab}} = \frac{\sqrt{3}.\overline{OA}}{\sqrt{3}.\overline{oa}} = \frac{\overline{OA}}{\sqrt{3}.\overline{oe}}$$

$$\frac{\overline{OA}}{\overline{oe}} = \frac{n_1}{\frac{n_2}{2}} = \frac{2.n_1}{n_2}$$

Por tanto:

$$m' = \frac{2}{\sqrt{3}}.m$$

36.4. GRUPOS DE CONEXIONES USUALES.

Los grupos de conexiones más usuales se van a definir a continuación, atendiendo a los siguientes criterios:

a) Acoplamiento de conexiones.
b) Índice horario.
c) Esquema de conexiones.
d) Relación de transformación.

1º.- Estrella- estrella (Y-y), Fig.36.9.

Índice horario: **0**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

$m' = m$

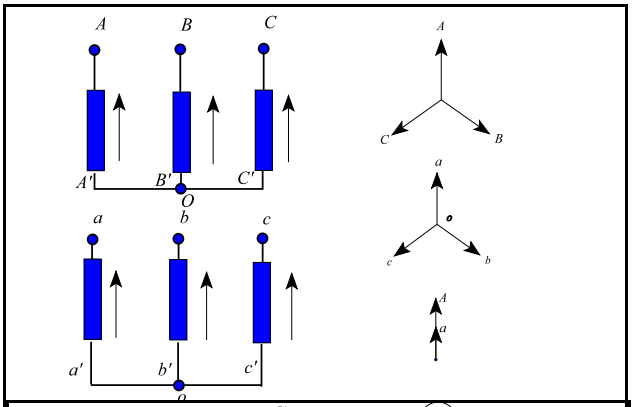


Fig.36.9

2º.- Estrella-Estrella (Y-y), Fig.36.10.

Índice horario: **6**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

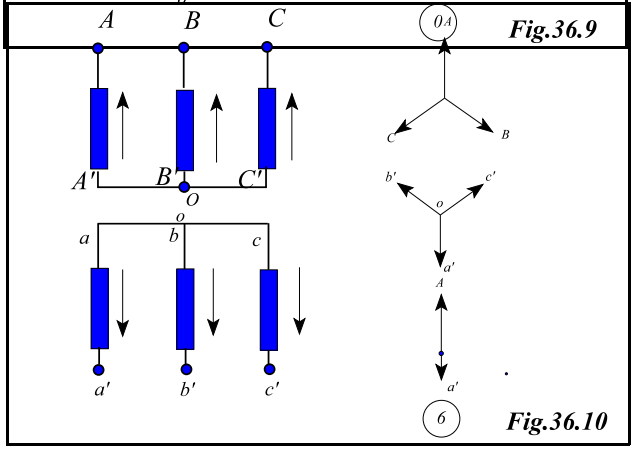


Fig.36.10

$m' = m$

3º.- Triángulo- Triángulo(D-d), Fig.36.11.

Índice horario: **0**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

$m' = m$

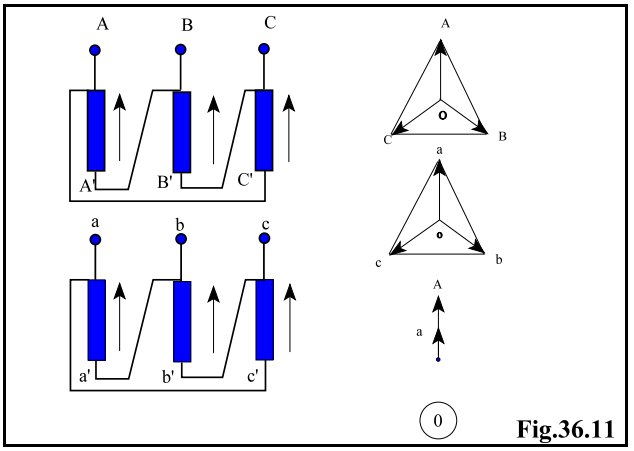


Fig.36.11

4º.- Triángulo-Estrella (D-y), Fig.36.12.

Índice horario: **11**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

$m' = \frac{n_1}{\sqrt{3}.n_2} = \frac{m}{\sqrt{3}}$

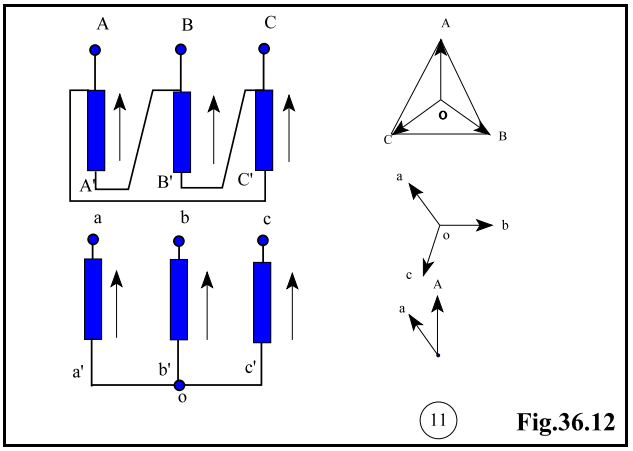


Fig.36.12

5º.- Triángulo-Estrella (D-y), Fig.36.13

Índice horario: **7**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

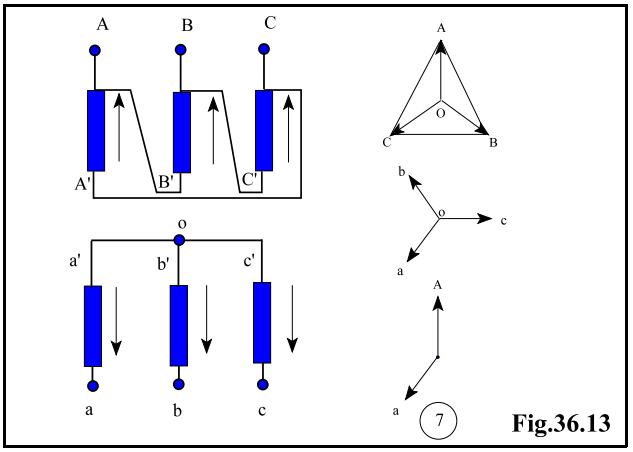


Fig.36.13

$$m' = \frac{n_1}{\sqrt{3}.n_2} = \frac{m}{\sqrt{3}}$$

6º.- Triángulo-Estrella (D-y), Fig.36.14.

Índice horario: **5**

Relación de transformación: $m = \frac{n_1}{n_2}$

$$m' = \frac{n_1}{\sqrt{3}.n_2} = \frac{m}{\sqrt{3}}$$

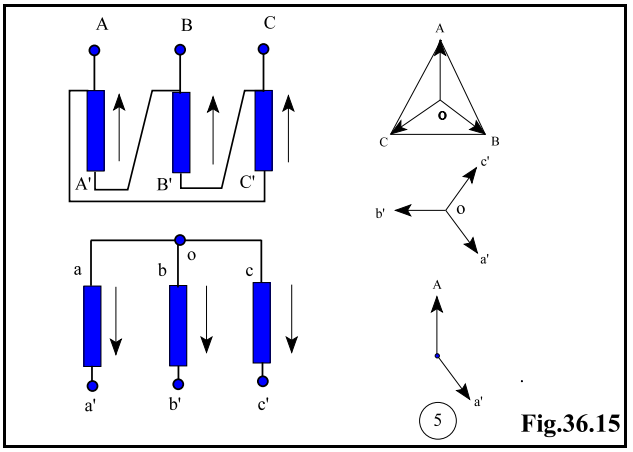


Fig.36.15

7º. Estrella zigzag (Y-z), Fig.36.16

Índice horario: **11**

Relación de transformación: $m = \frac{n_1}{n_2}$

$$m' = \frac{2}{\sqrt{3}}.\frac{n_1}{n_2} = \frac{2}{\sqrt{3}}.m$$

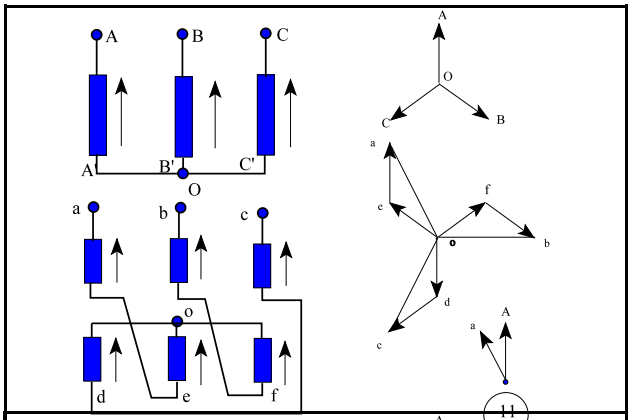


Fig.36.16

8º.- Estrella-Triángulo (Y-d), Fig.36.17:

Índice horario: **11**

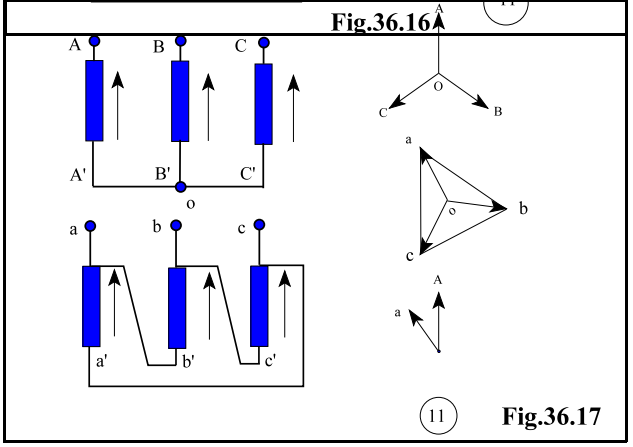


Fig.36.17

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

$$m' = \sqrt{3}.\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{3}.m$$

9º.- Triángulo-Triángulo (D-d), Fig.36.18:

Índice horario: **6**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

$$m' = m$$

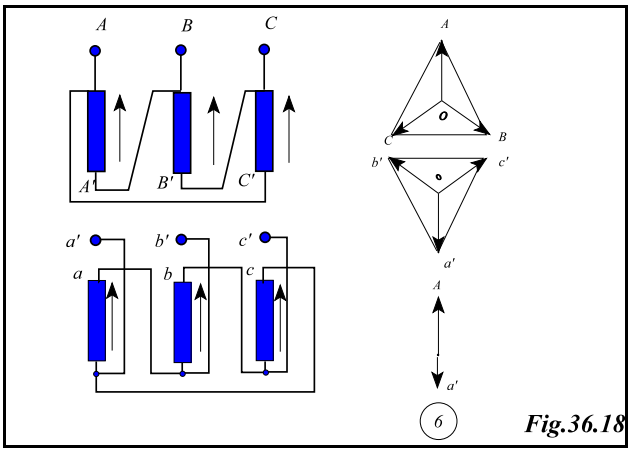


Fig.36.18

10º.- Estrella-Triángulo (Y-d), Fig.36.19:

Índice horario: **5**

Relación de transformación: $m=\frac{n_1}{n_2}$

$$m' = \sqrt{3}.\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{3}.m$$

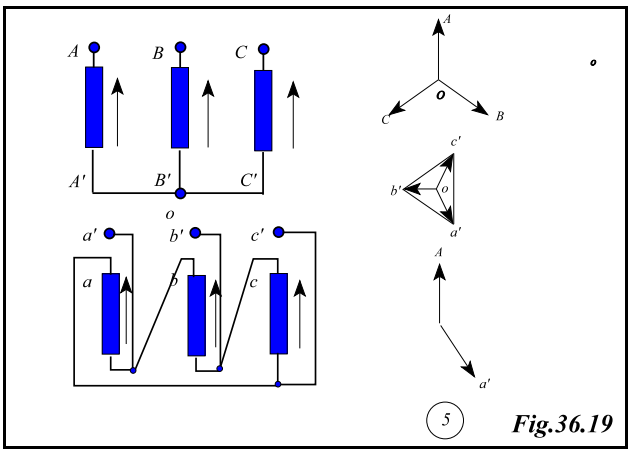


Fig.36.19