



EL 57A SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Clase 8: Transformadores

Luis Vargas
AREA DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA



Contenido

3. Las componentes de los sistemas eléctricos de potencia

3.1 Introducción

3.2 Generador Síncrono

3.3 Líneas de Transmisión

3.4 Transformadores

3.5 Redes de Transmisión y Subestaciones



Transformadores (I)

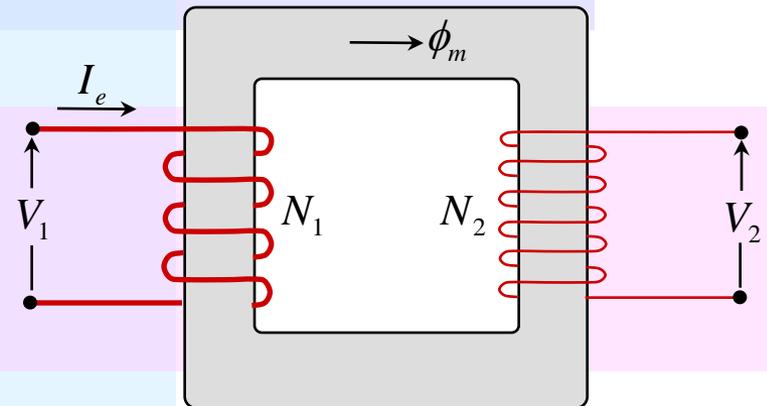
Equipo de alto rendimiento, estudiado en detalle en otros cursos. Sólo se revisarán aspectos más relevantes .

Campos de aplicación de transformadores

- Acoplamiento de redes con distinto nivel de tensión de operación (Transf. elevar tensión en centrales generadoras, Transf. de bajada (reductores) en consumos)
- Como elemento de control (tensión, flujo de potencia)
- Transformador de corriente y voltaje

Disposiciones físicas de interés

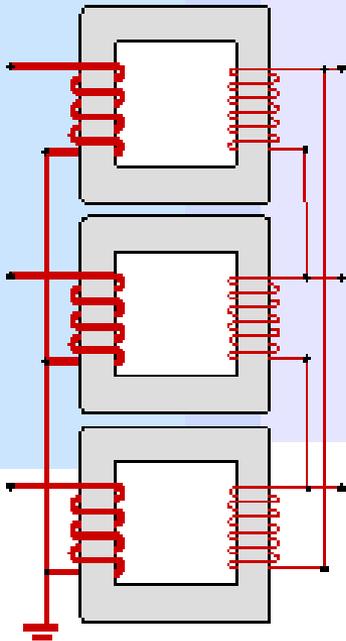
- Banco de transformadores monofásicos
- Transformador tipo acorazado
- Transformador tipo núcleo
- Transformadores de tres enrollados





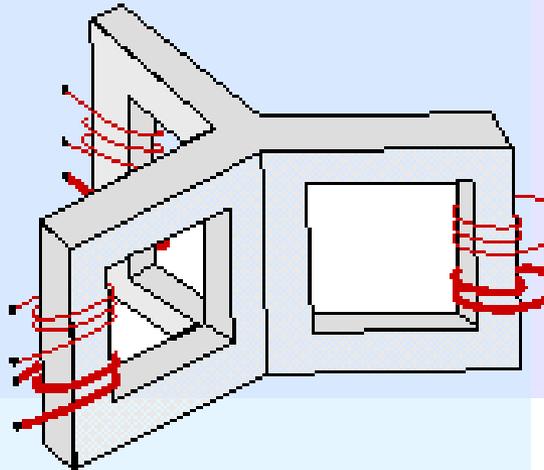
Transformadores (III)

Banco de Transformadores

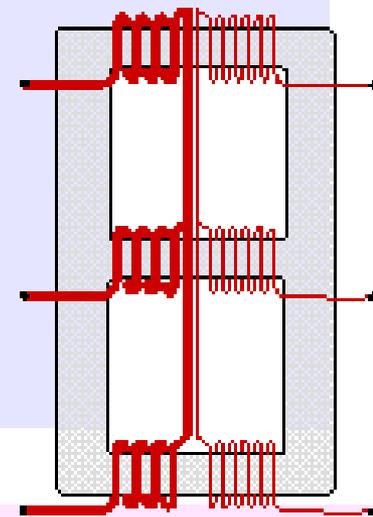


- Ventajas
- Desventajas

Acorazado (Shell)



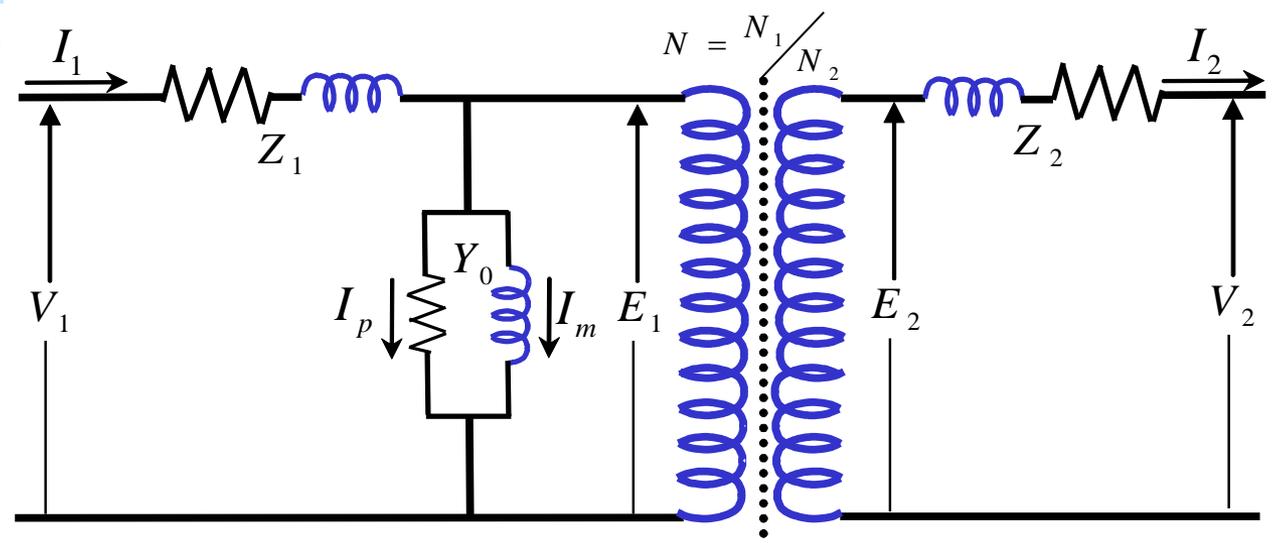
Núcleo Core



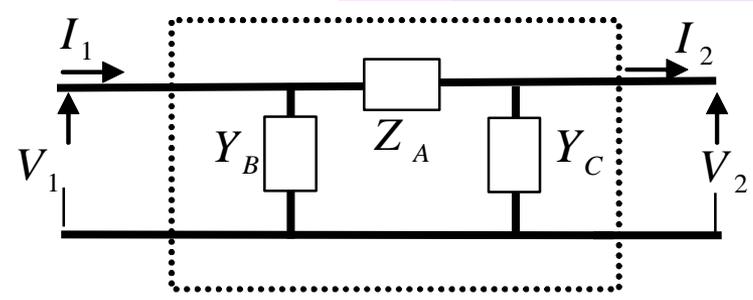


Representación General del Transformador

Modelo Completo



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N + Z_1 Y_0 N & Z_1/N + Z_2 N + Z_1 Z_2 Y_0 N \\ Y_0 N & 1/N + Z_2 Y_0 N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

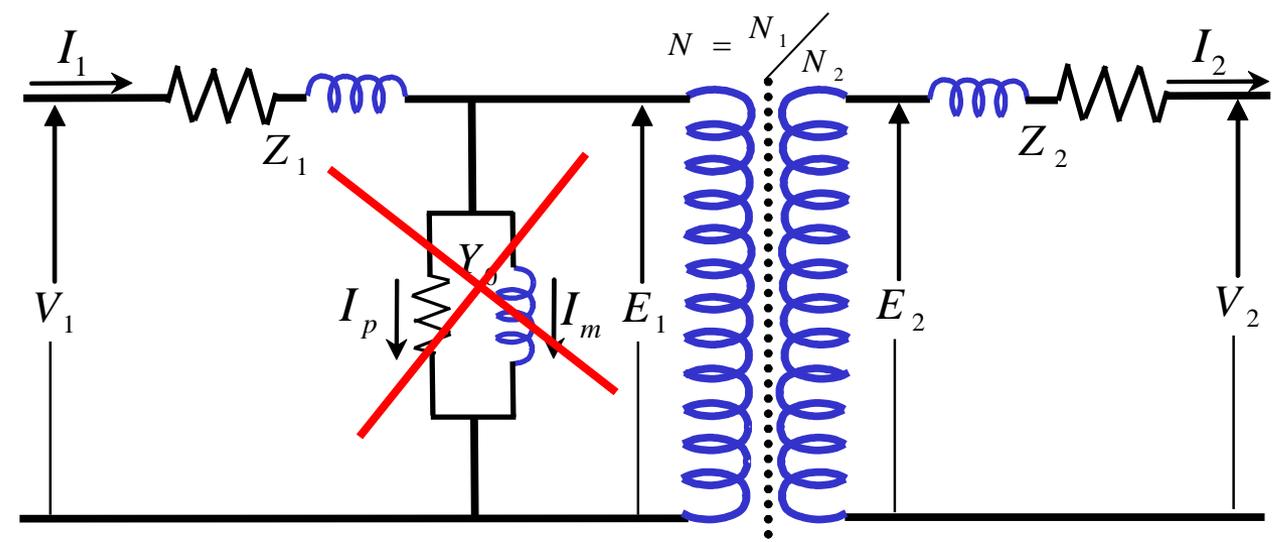


$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + Z_A Y_C & Z_A \\ Y_B + Y_C + Z_A Y_B Y_C & 1 + Z_A Y_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

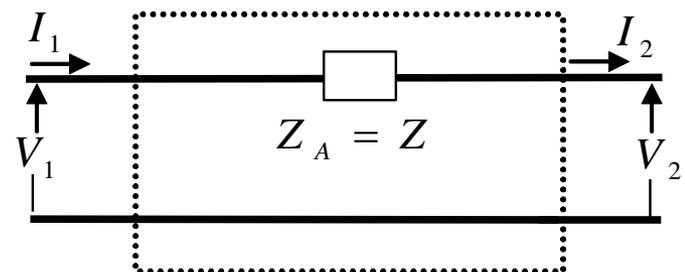


Representación General del Transformador

Modelo Simplificado



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N + Z_1 Y_0 N & Z_1/N + Z_2 N + Z_1 Z_2 Y_0 N \\ Y_0 N & 1/N + Z_2 Y_0 N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_A \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



Transformadores (X)

Modelo Equivalente

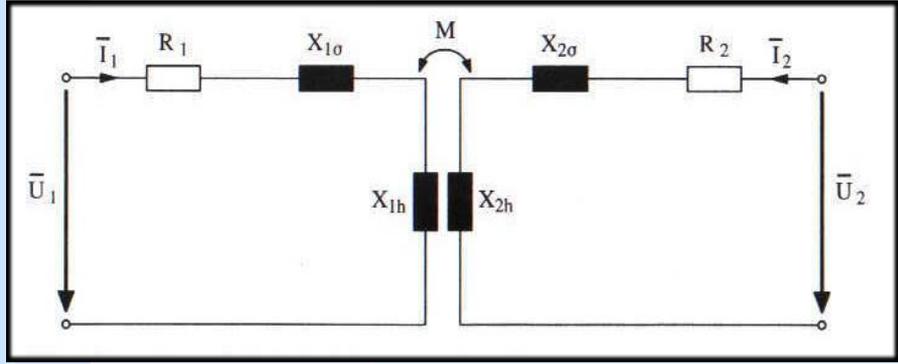
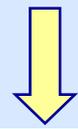
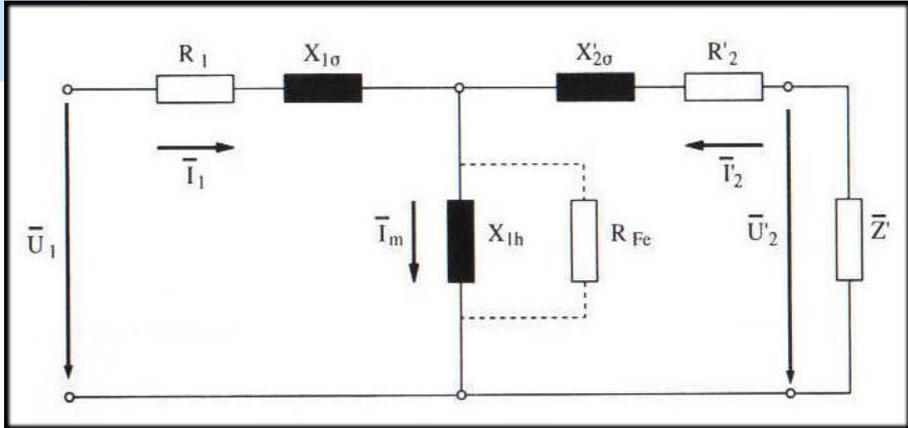


Diagrama de Transformador Monofásico



- Acoplamiento magnético --> conexión galvánica
- Desplazamiento de transformador ideal a la derecha
- Consideración de pérdidas de fierro



Modelo Equivalente de Transformador Referido al primario

Fuente: UNIDO

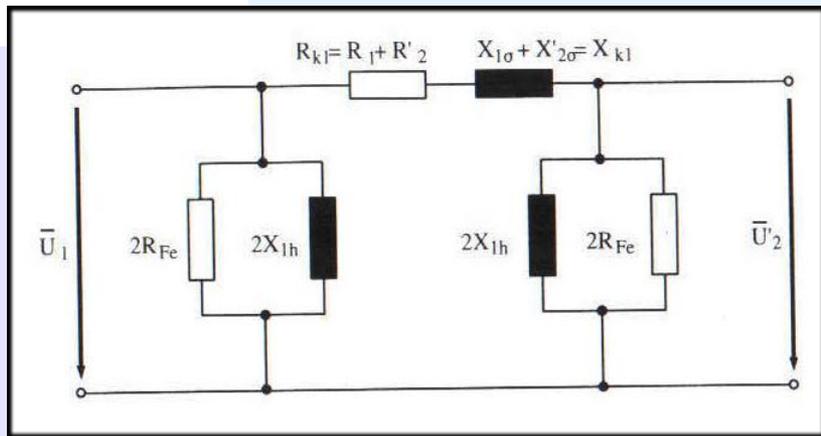


Transformadores (XI)

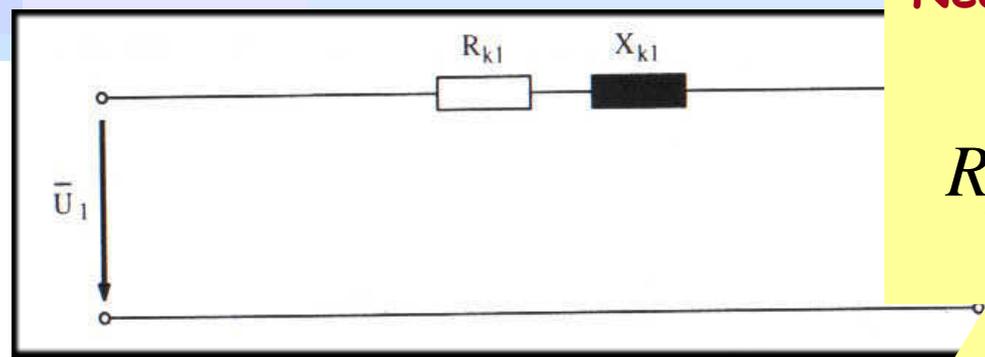
Modelo Equivalente (II)



- $X_{1h} \gg$ Impedancia serie
- $R_2' \approx R_1$ y $X_2' \approx X_1$



Modelo PI Simétrico



Modelo aproximado

**Necesidad de Calcular
Parámetros**

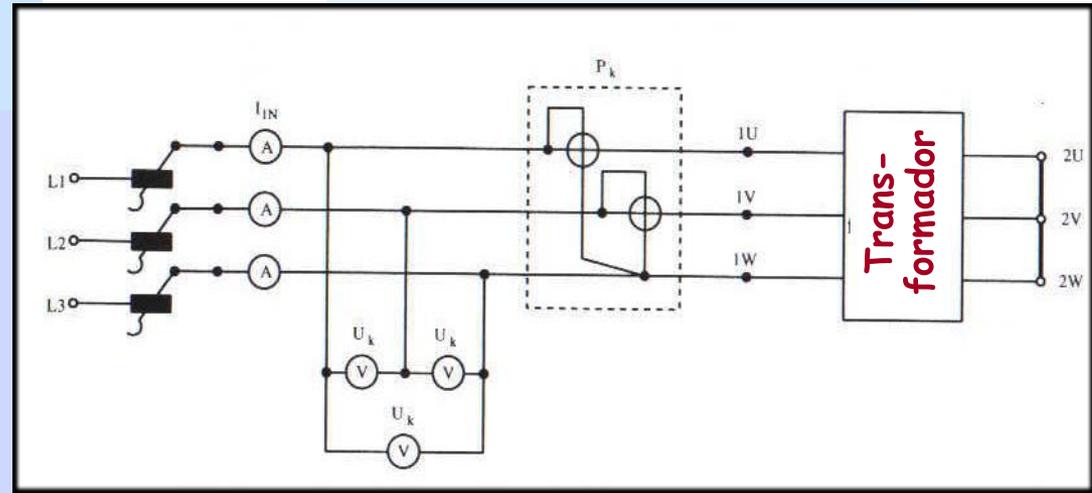
$R_{k1}, X_{k1}, R_{Fe}, X_{1h}$

Fuente: UNIDO

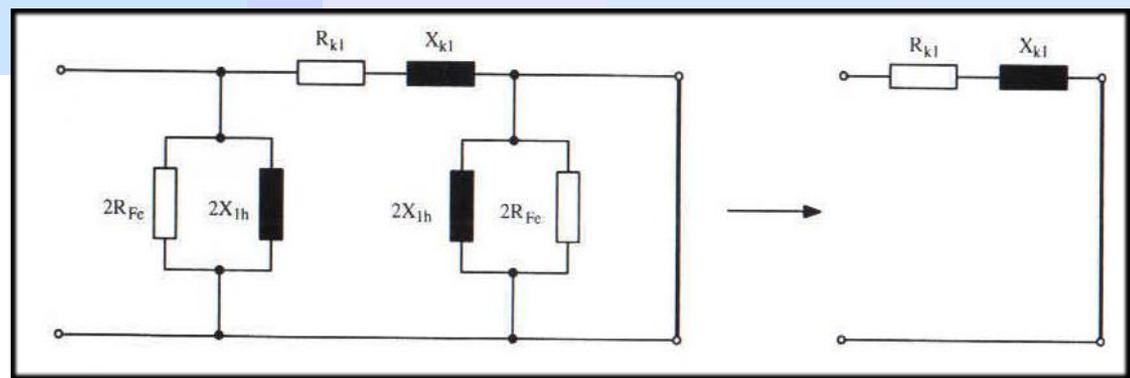


Transformadores (XII)

Ensayo de Cortocircuito



Esquema General de Experiencia



Modelo Equivalente

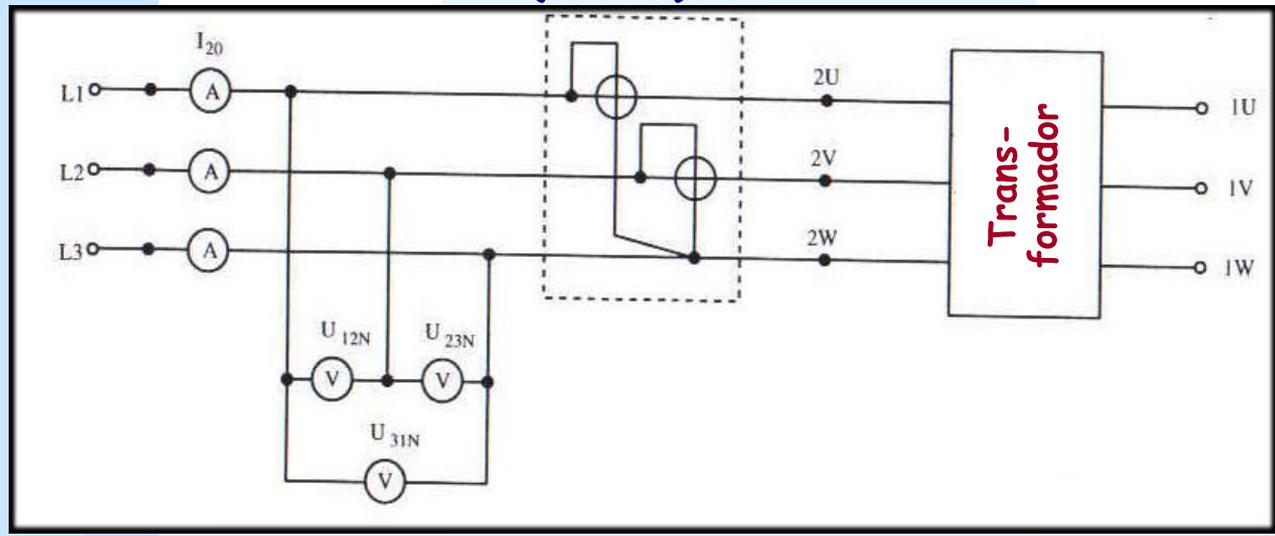


Fuente: UNIDO

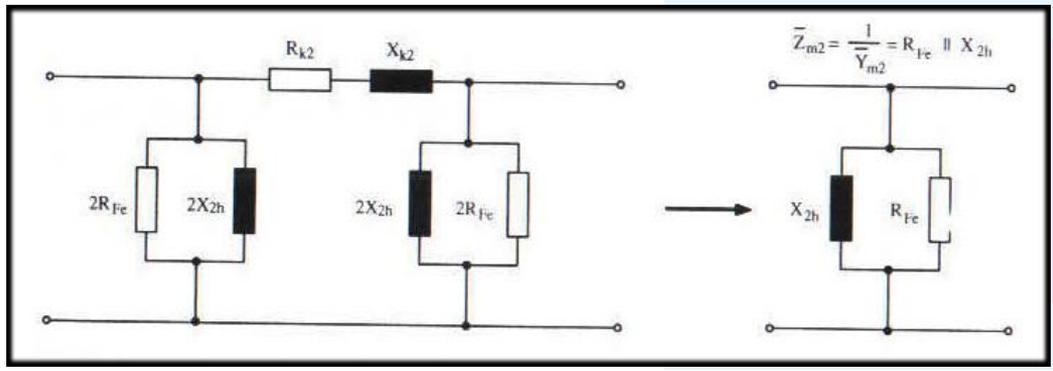


Transformadores (XIII)

Ensayo de Circuito Abierto (vacío)



Esquema General de Experiencia

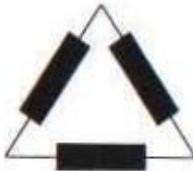
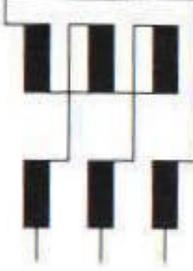


Fuente: UNIDO



Transformadores (IV)

Tipos de conexiones eléctricas

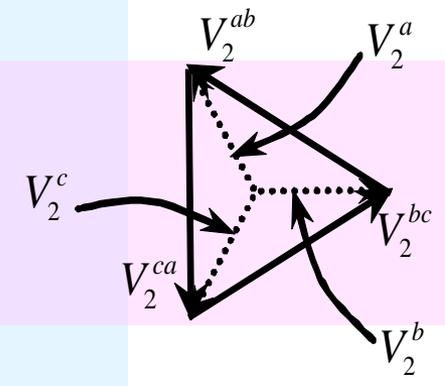
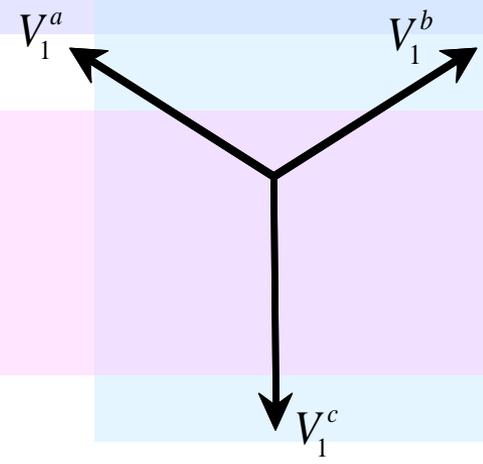
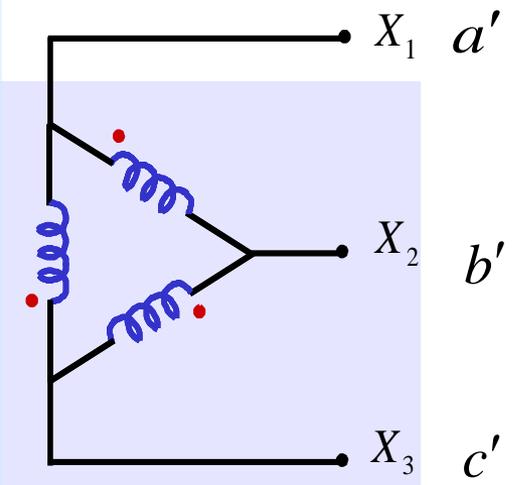
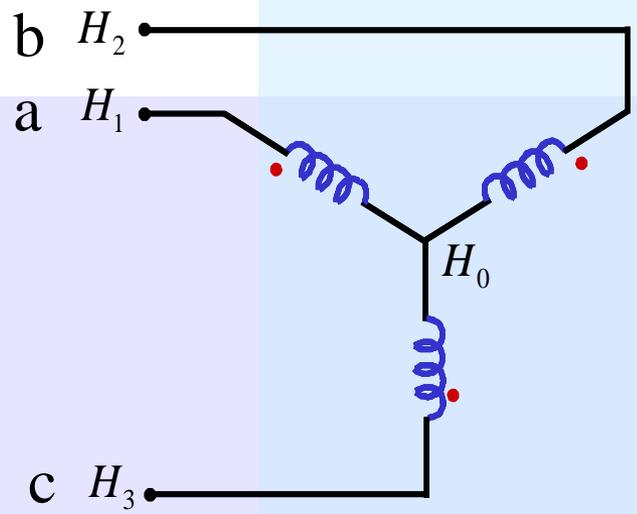
Tipo de Conexión	Delta	Estrella	Zig-Zag
Representación gráfica			
Nomenclatura en lado de alta tensión	D	Y	Z
Nomenclatura en lado de baja tensión	d	y	z

Conexiones básicas



Transformadores (V)

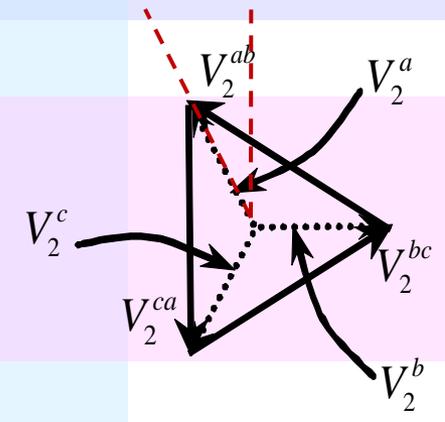
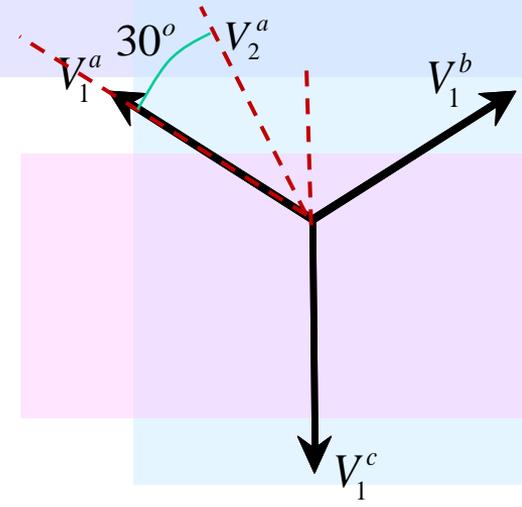
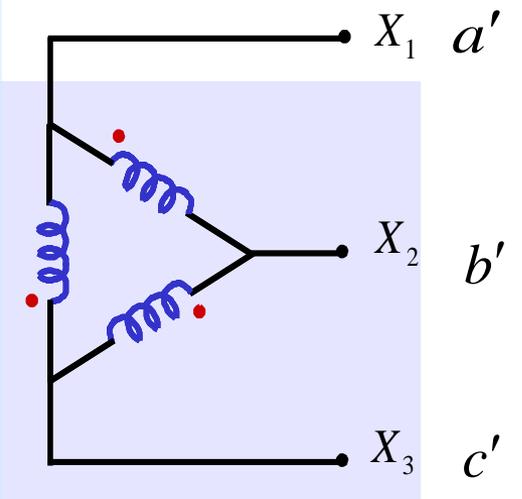
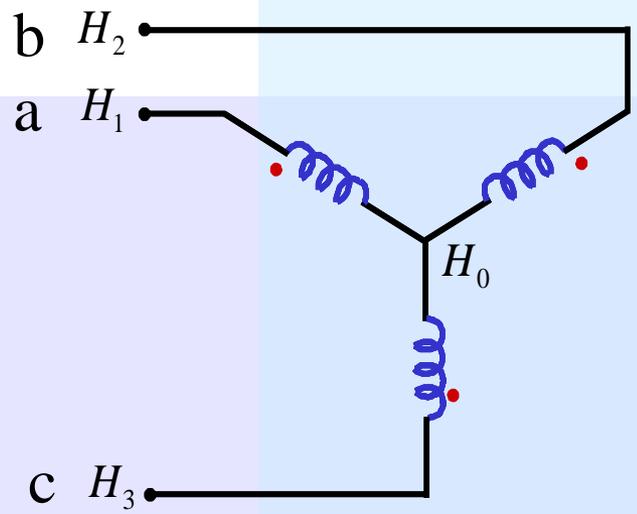
Tipos de conexiones eléctricas





Transformadores (V)

Tipos de conexiones eléctricas

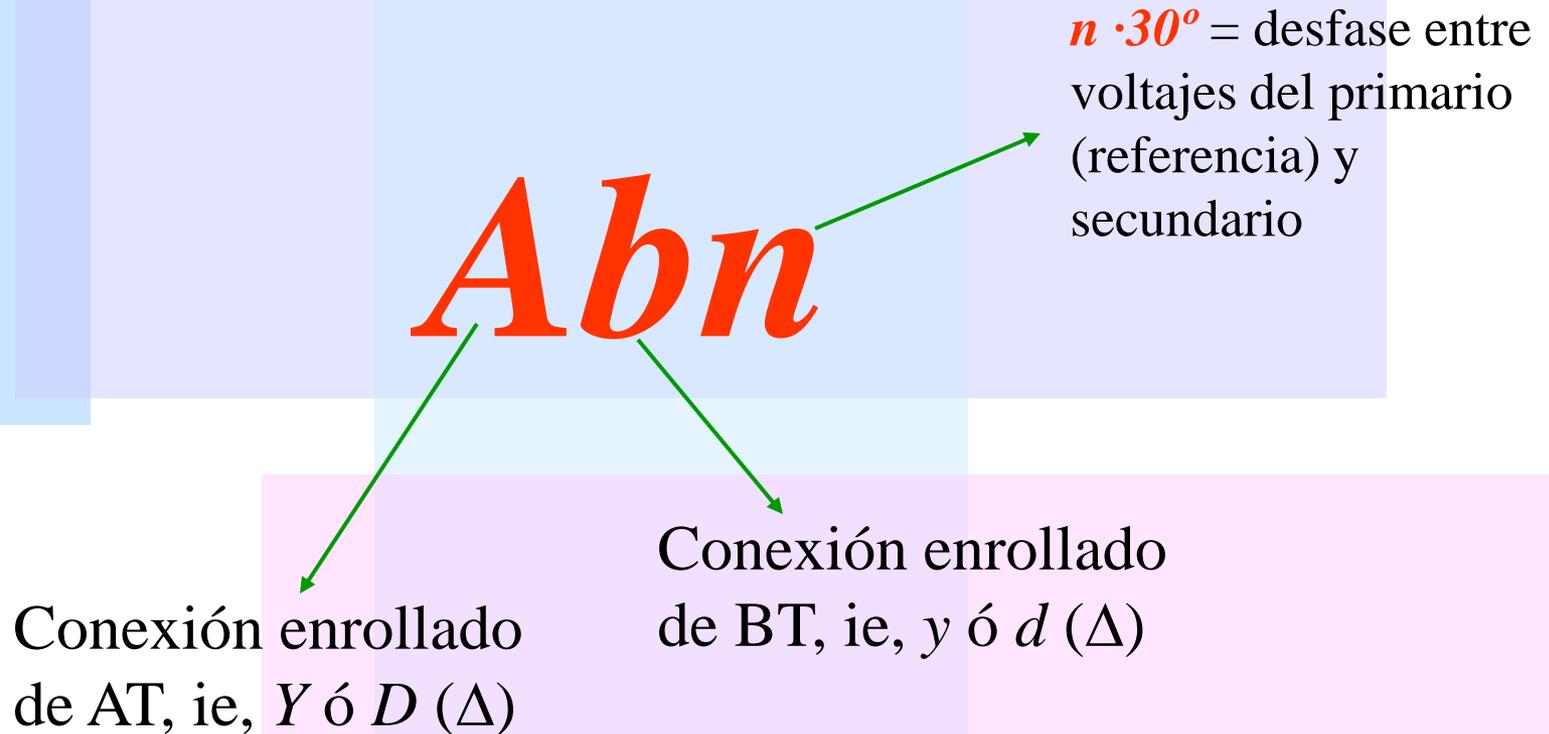


$Yd1$



Transformadores (V)

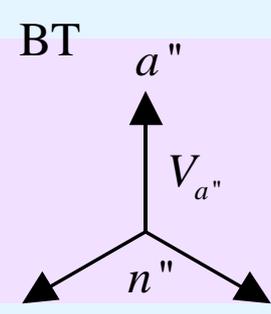
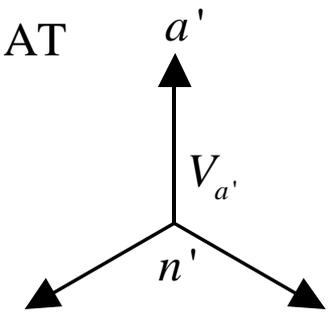
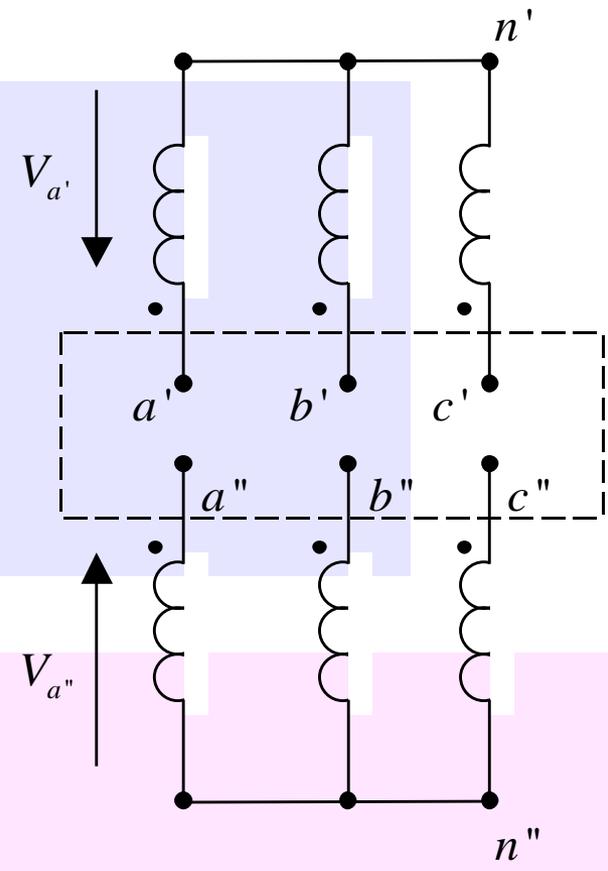
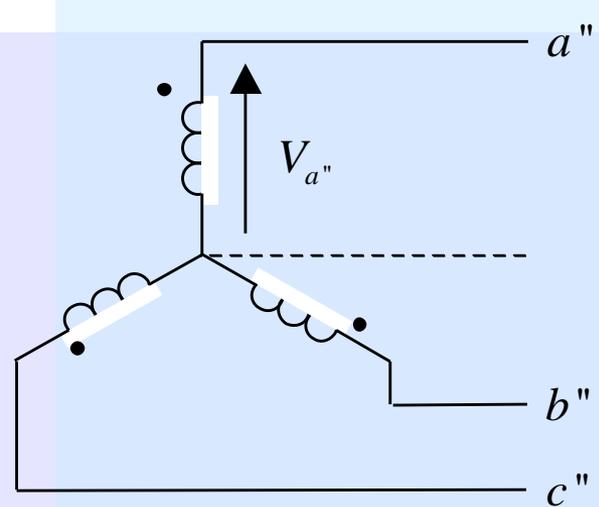
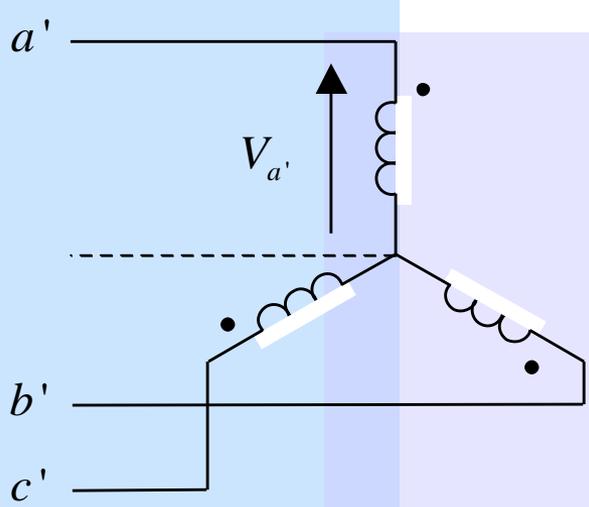
□ DESIGNACIÓN NORMALIZADA DE CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.





Transformadores (V)

▪ $Yy0$:

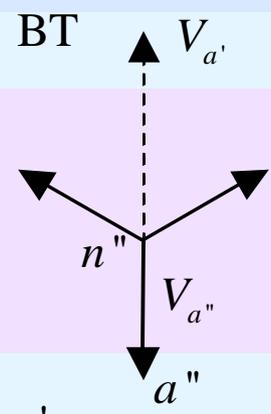
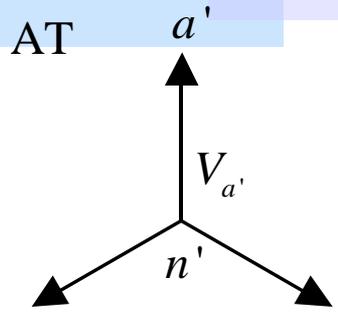
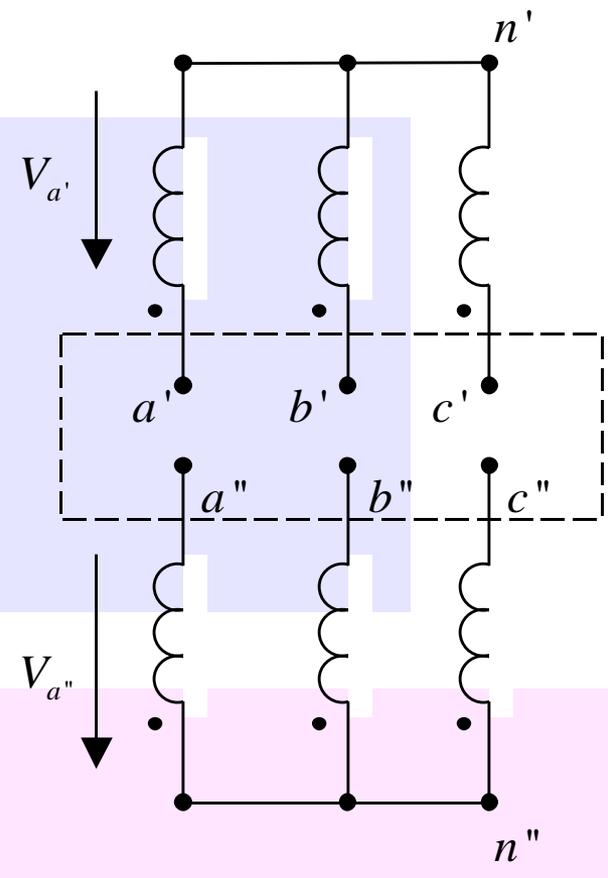
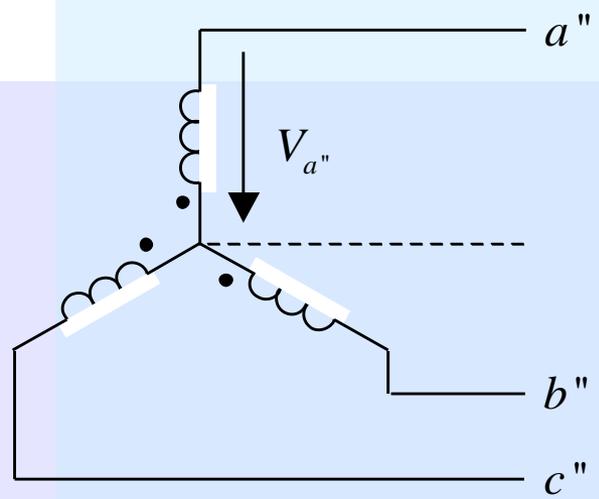
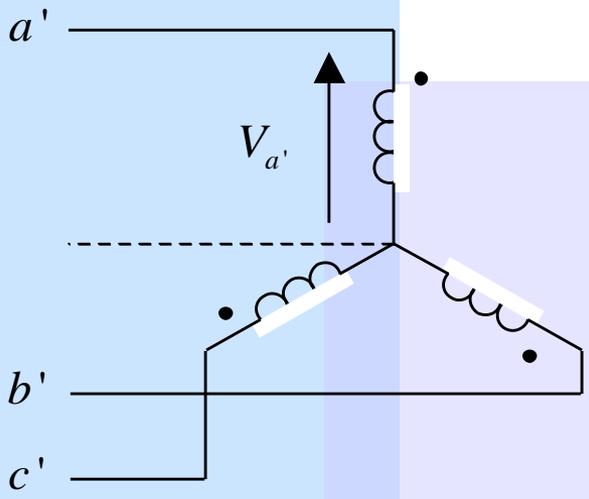


Representación
Normalizada



Transformadores (V)

▪ **Yy6:**

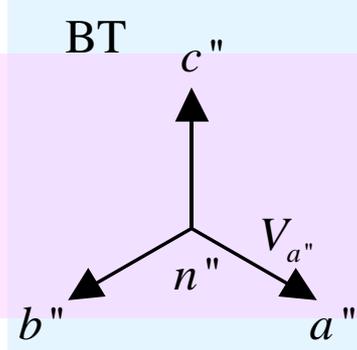
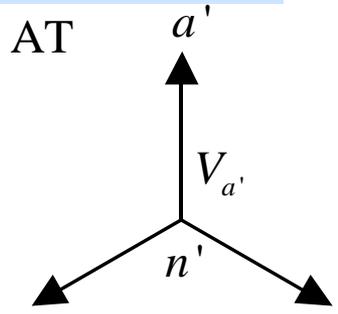
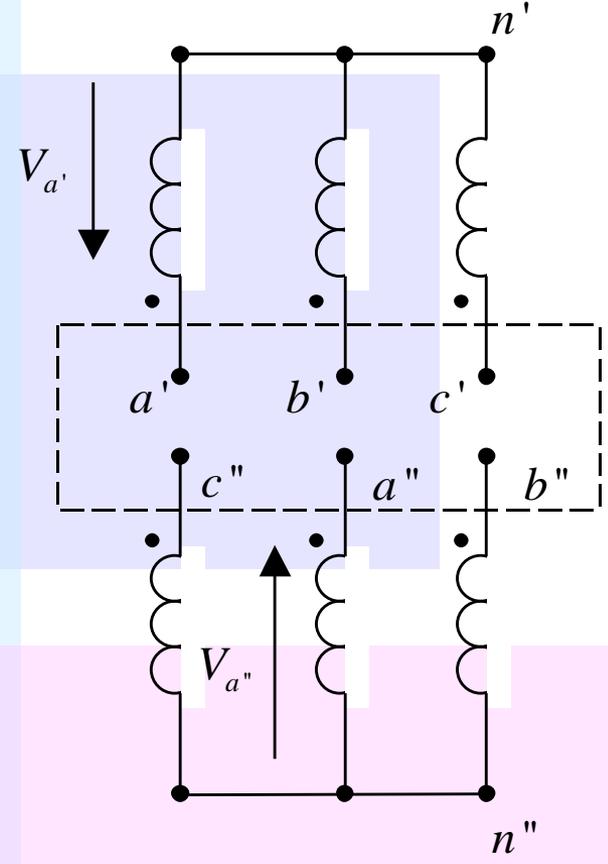
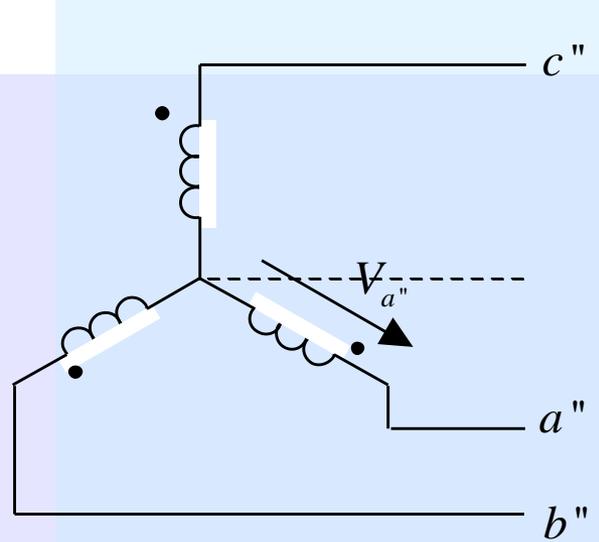
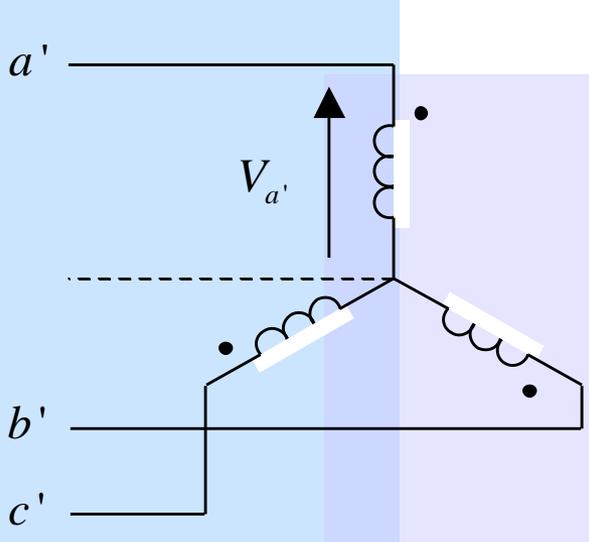


Representación Normalizada



Transformadores (V)

▪ **Yy4:**



Representación Normalizada



Transformadores (VI)

Tipos de conexiones eléctricas

Nomenclatura		Diagrama Fasorial		Representación Gráfica		Razón t.	Uso
#.	Conex	L. Alta	L. Baja	L. Alta	L. Baja	$U_{L1} : U_{L2}$	
0	Yy0					$\frac{W_1}{W_2}$	Pequeños transf. distribución
5	Dy5					$\frac{W_1}{\sqrt{3} W_2}$	Transf. Distribución grandes
	Yd5					$\frac{\sqrt{3} W_1}{W_2}$	Generadores, Subestaciones
	Yz5					$\frac{2 W_1}{\sqrt{3} W_2}$	Pequeños transf. distribución

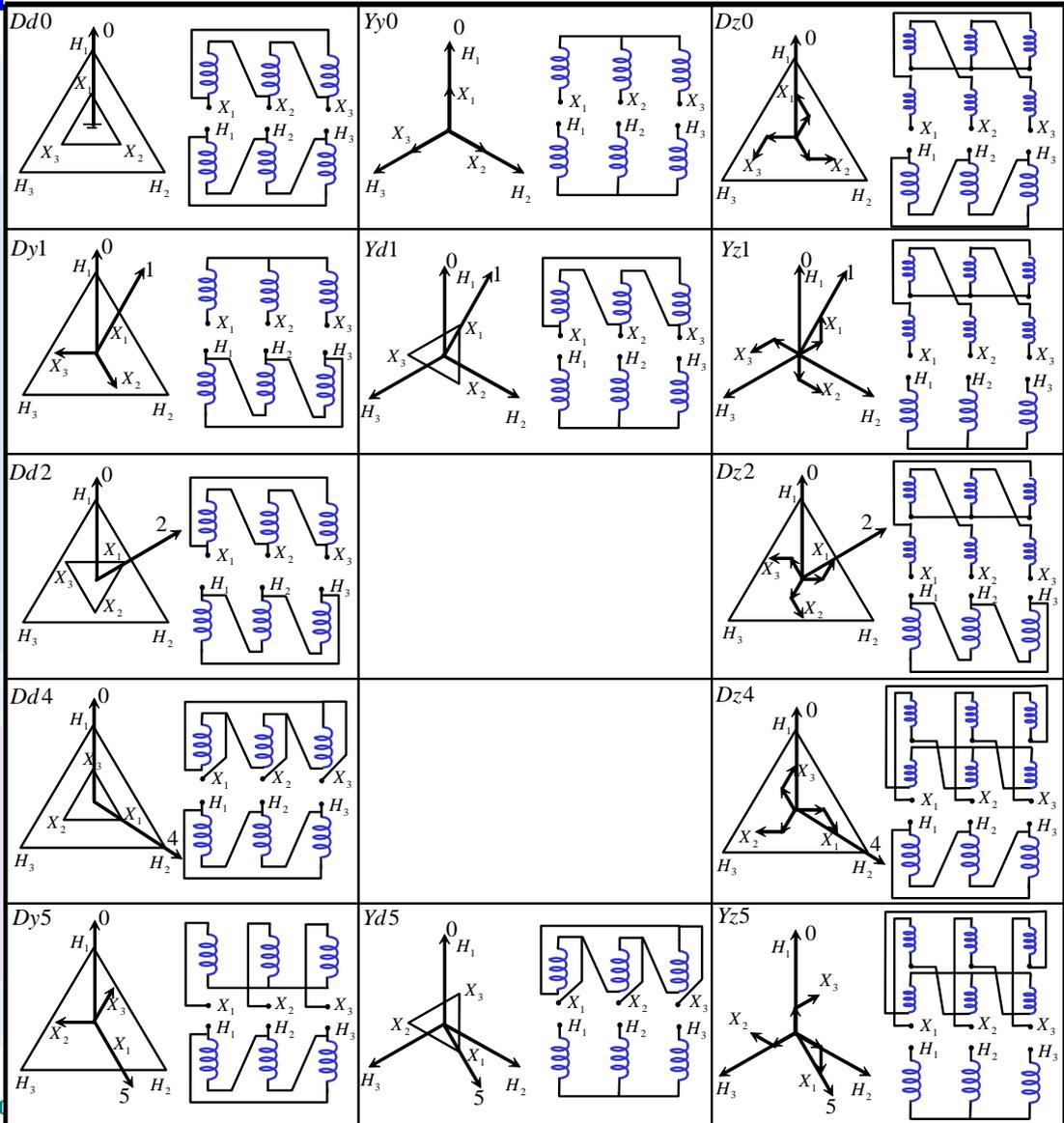
Variaciones de conexiones básicas y desfases

Fuente:UNIDO



Transformadores (VII)

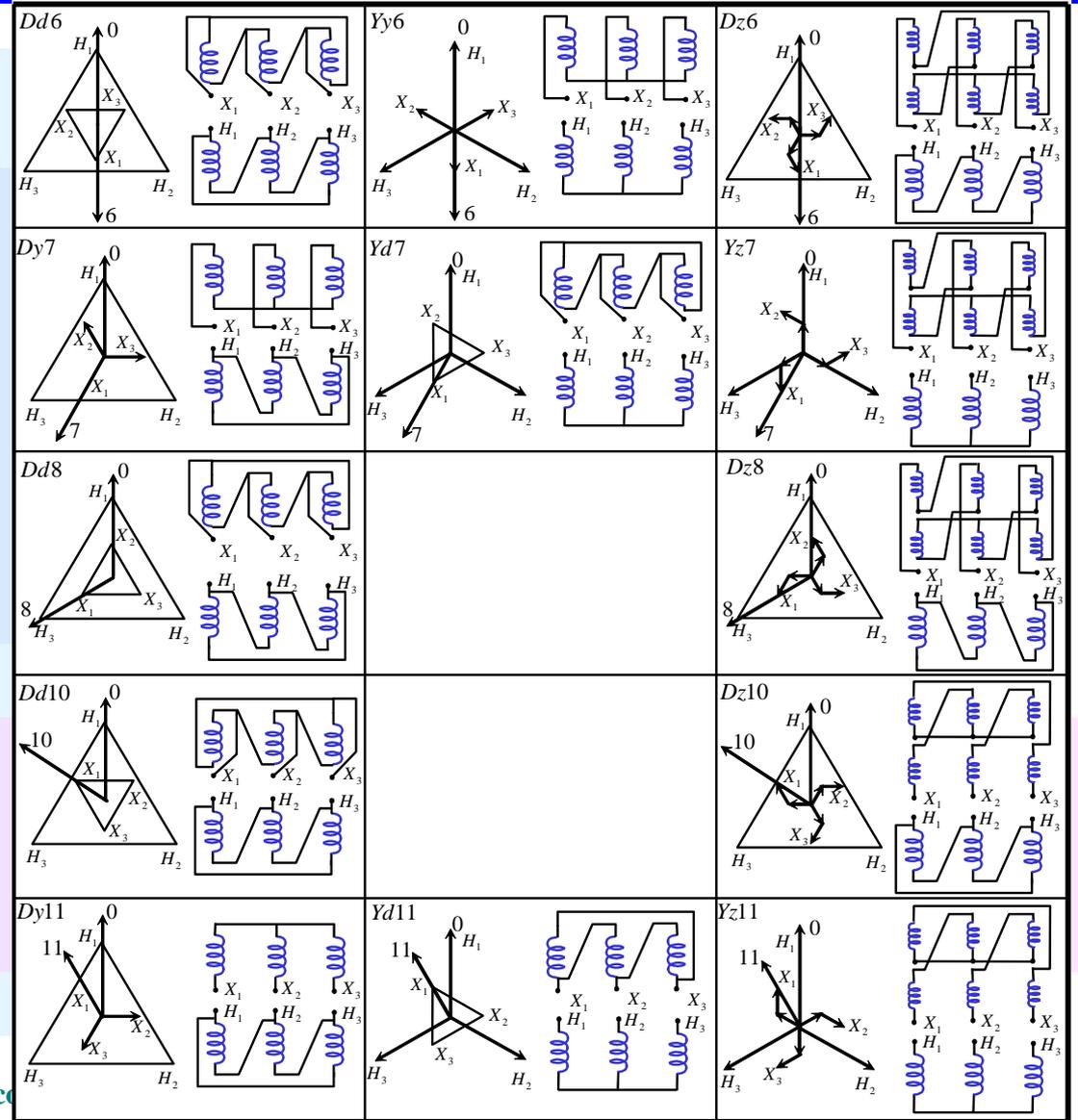
Tipos de conexiones eléctricas





Transformadores (VIII)

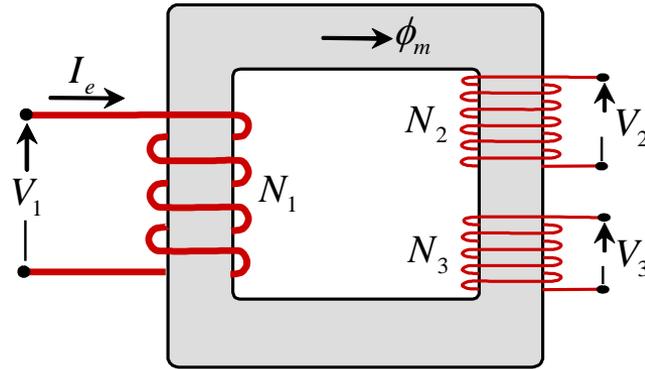
Tipos de conexiones eléctricas



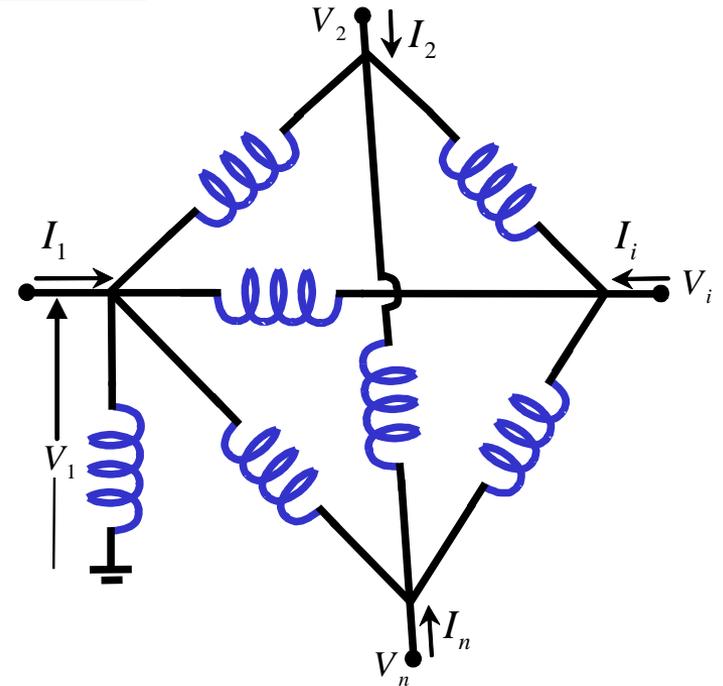


Transformadores (IX)

Tipos de conexiones eléctricas



(a) Transformador monofásico de 3 enrollados

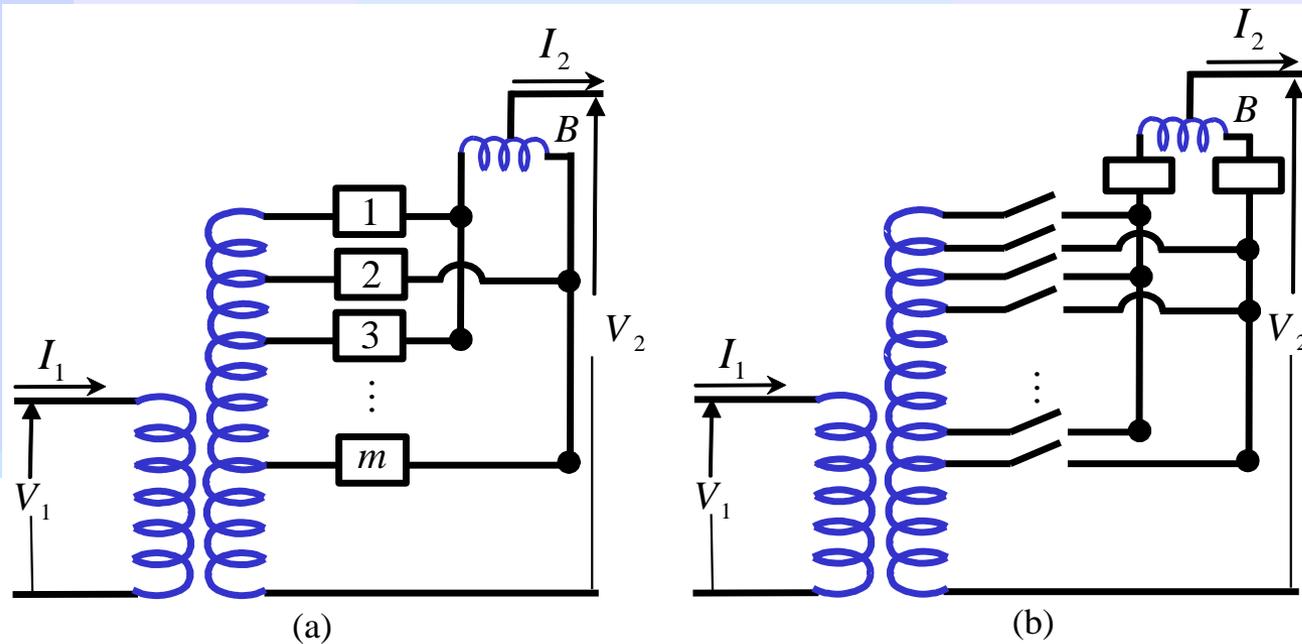


(b) Circuito equivalente monofásico transformador de n enrollados



Transformadores (XIV)

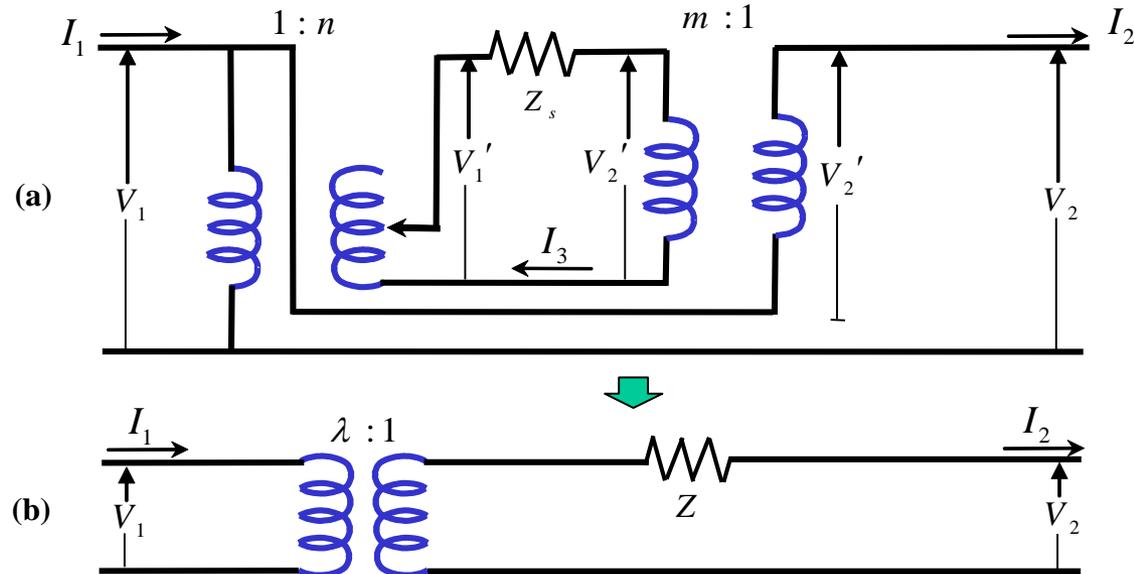
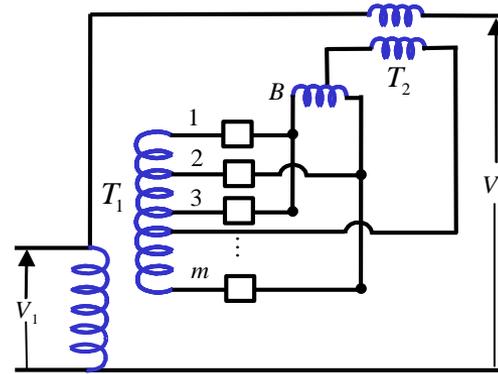
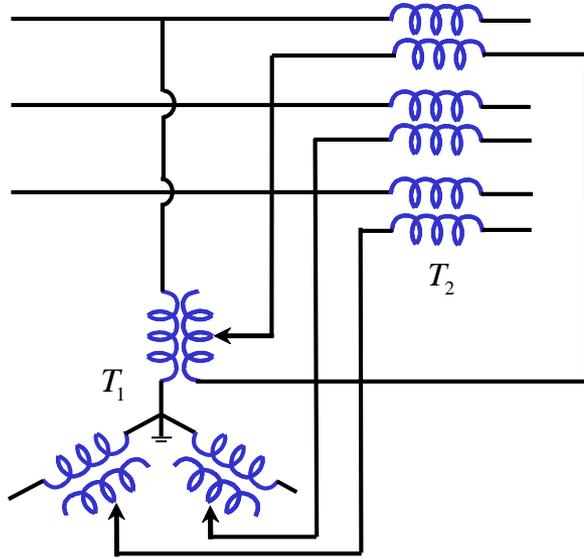
Transformador como elemento de Control
Transformador con derivaciones, cambiador de tap





Transformadores (XV)

Transformador como elemento de Control Transformador regulador de tipo booster

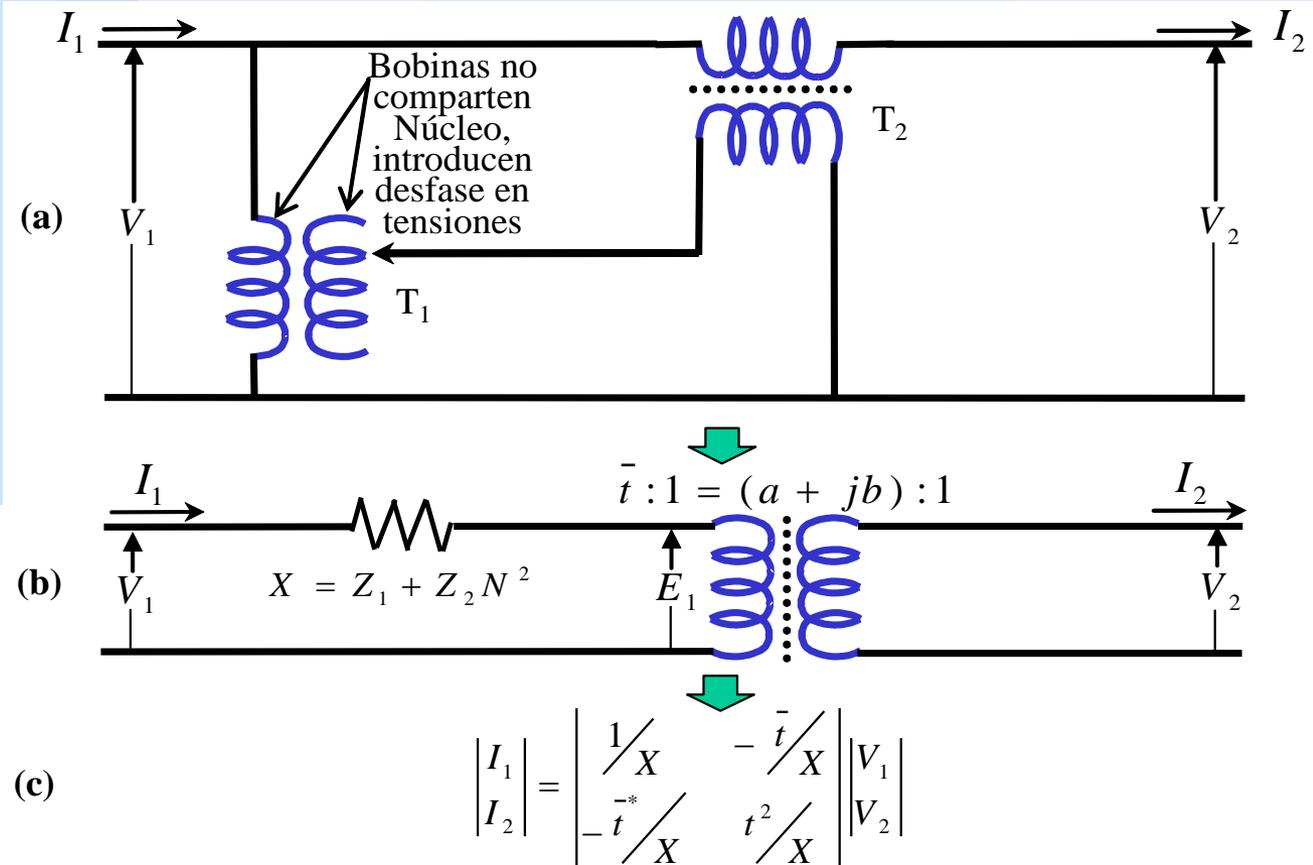




Transformadores (XVI)

Transformador como elemento de Control

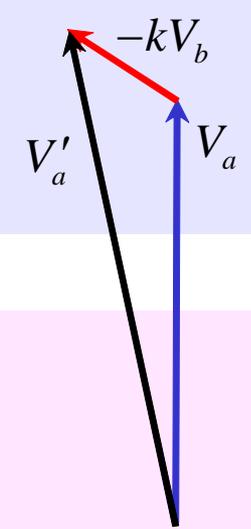
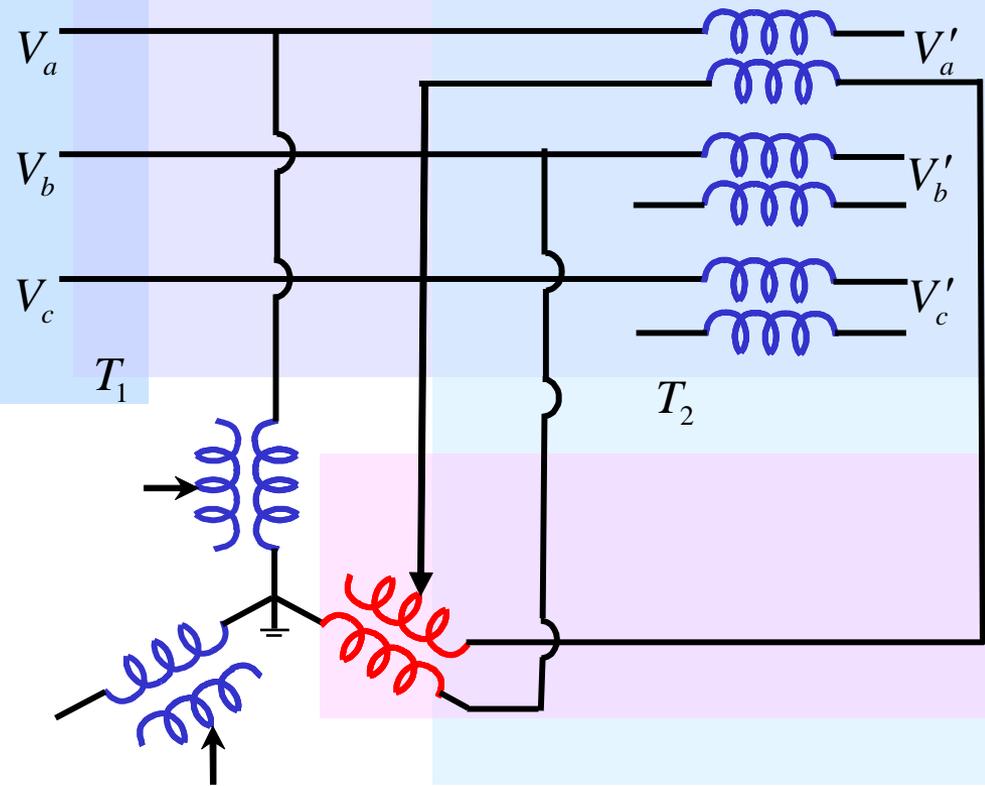
Transformador desfasador





Transformadores (XVI)

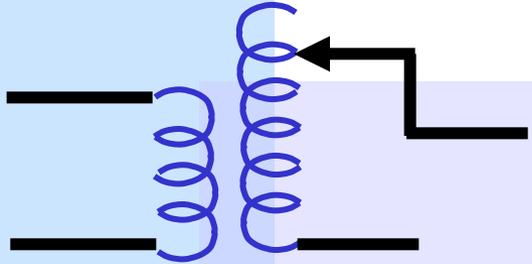
Transformador como elemento de Control Transformador desfasador



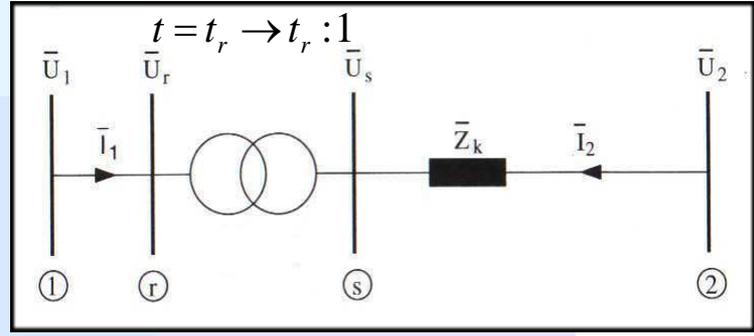
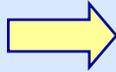


Transformadores (XVII)

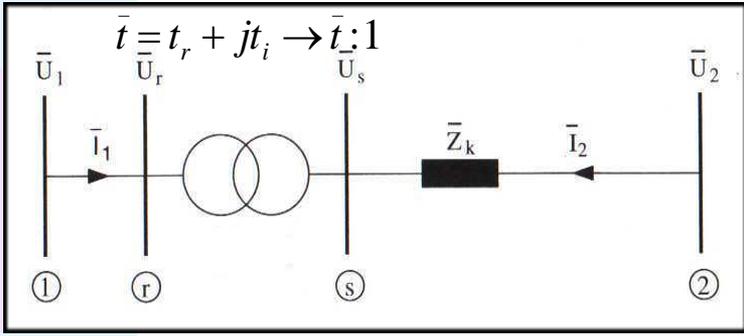
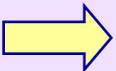
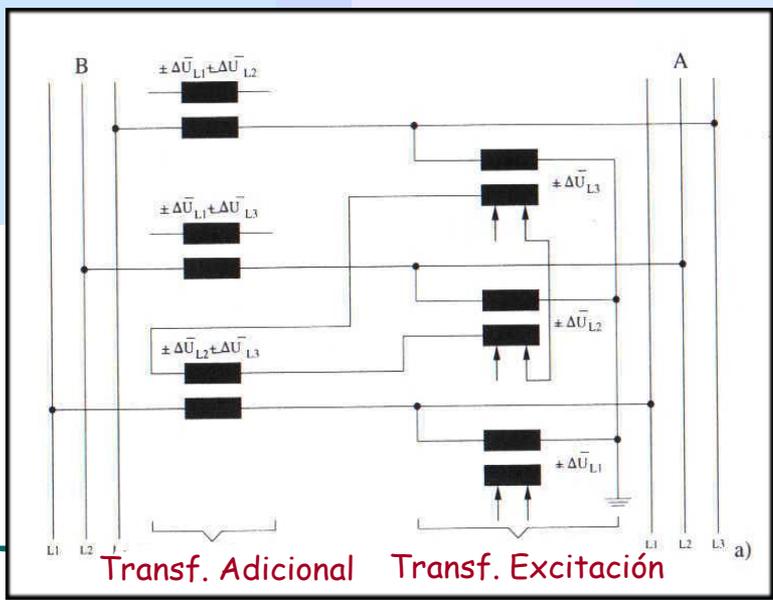
Transformador como elemento de Control



Transformador con Derivaciones (Tap)



Modelo Equivalente



Modelo Equivalente



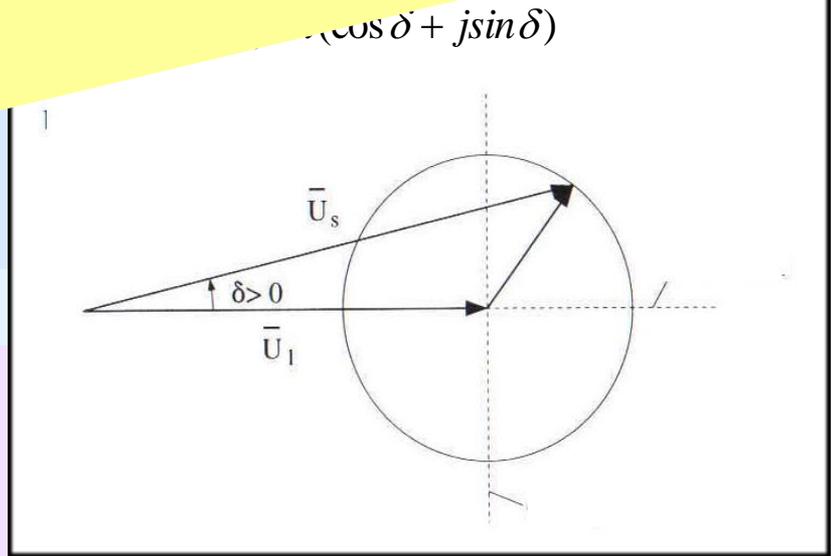
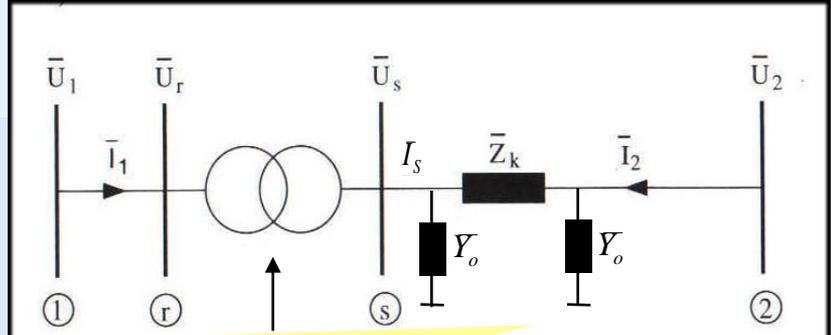
Transformadores (XVIII)

Modelo General de Transformadores Reguladores



Matriz de Admitancia?

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? \\ ? & ? \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$



Modelo Equivalente y Diagrama Fasorial



Reg. Paralelo

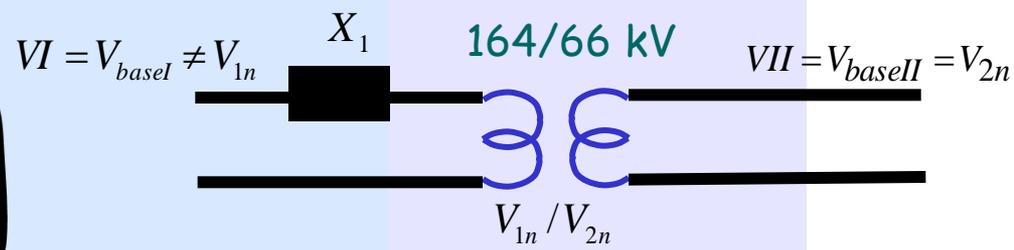
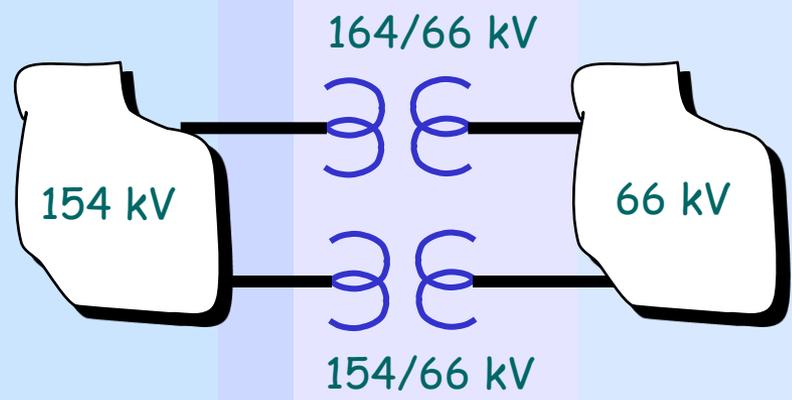
Modelo en bloque de Transformador Regulador



Transformadores (XIX)

Situación especial en cálculos en pu

Trafos en relación de vueltas no acordes a voltajes base.



$$V_1 - jI_1 X_1 = V_2 \frac{V_{1n}}{V_{2n}}$$

Dividiendo por V_{baseI}

$$\frac{V_1}{V_{baseI}} - j \frac{I_1 X_1}{I_{baseI} \frac{V_{baseI}}{I_{baseI}}} = \frac{V_2}{V_{2n}} \frac{V_{1n}}{V_{baseI}}$$

$$V_1(pu) - jI_1(pu)X_1(pu) = V_2(pu) \frac{V_{1n}}{V_{baseI}}$$

Solución: Intercalar Transformador Ideal



Transformadores (XX)

Modelo en mallas de secuencia (cálculo de fallas)

(+) secuencia positiva Depende de tipo de conexión (desfase +)

(-) secuencia negativa Depende de tipo de conexión (desfase -)

(0) secuencia cero

La representación en secuencia cero depende de:

1. Tipo de núcleo:

- acorazado --> permite retorno de sec (0) por núcleo ferromagnético
- banco de transformadores 1ϕ --> permite retorno de sec 0 por núcleo ferromagnético
- núcleo --> flujo de secuencia cero retorna por el aire

2. Tipo de conexión:

- Estrella, Delta, Puesta a tierra