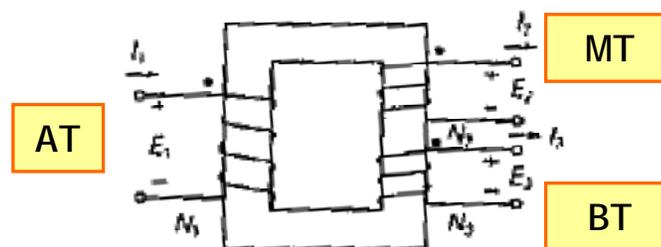


### AUXILIAR 3: Transformadores Trifásicos de Tres Enrollados

Se puede demostrar que en un trafo. de tres enrollados se cumplen las siguientes relaciones:

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 + N_3 \cdot I_3$$

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} = \frac{E_3}{N_3}$$



(a) Basic core and coil configuration

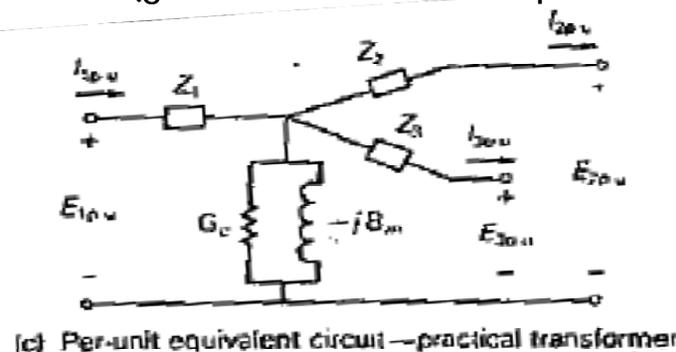
Donde  $I_1$  entra al trafo. según la polaridad de la figura e  $I_2$  e  $I_3$  salen del trafo., según las marcas de polaridad de la figura.

Para análisis en pu se tiene el siguiente modelo por fase (generalmente se desprecia resistencia de rama serie y la rama en paralelo)

$$I_{1pu} = I_{2pu} + I_{3pu}$$

$$E_{1pu} = E_{2pu} + E_{3pu}$$

Donde se elige una base común  $S_{base}$  para los tres enrollados.



(c) Per-unit equivalent circuit - practical transformer



Para determinar los parámetros  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_3$  del modelo, se deben realizar un ensayo de cortocircuito, para determinar los siguientes parámetros (Generalmente los resultados del ensayo deben ser referidos a una  $T^\circ$  de referencia)

$Z_{12}$  = Impedancia en pu medida desde enrollado 1 con enrollado 2 en cc y enrollado 3 abierto.

$Z_{13}$  = Impedancia en pu medida desde enrollado 1 con enrollado 3 en cc y enrollado 2 abierto.

$Z_{23}$  = Impedancia en pu medida desde enrollado 2 con enrollado 3 en cc y enrollado 1 abierto.

De esta manera (valores en pu):

$$Z_1 = 0.5 \cdot (Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$$

$$Z_2 = 0.5 \cdot (Z_{12} + Z_{23} - Z_{13})$$

$$Z_3 = 0.5 \cdot (Z_{13} + Z_{23} - Z_{12})$$

Generalmente:

- $Z_2 < 0$
- $Z_{12} < Z_{13}$

Si las impedancias  $Z_{12}$ ,  $Z_{13}$  y  $Z_{23}$  fueron referidas en la medición al **Sbase\_enrollado**, se deben convertir a una base común **Sbase** ante de usar las fórmulas  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_3$



## Ejemplo 1

➤ Cálculo de  $Z_{12}$ ,  $Z_{13}$  y  $Z_{23}$  en autotrafo tres enrollados de S/E Cardones 220/115/66 kV

		% Vnom en cc X12	% Vnom en cc X13	% Vnom en cc X23			
		0.106960293	0.049507104	0.026466524			
Cardones	X12	Pcu	135.6	kW	Valor en Planilla CNE_Transmision [%]	10.7 %	
		S	60	MVA			
		isc	301.2262274	A			MT
		isc	157.4591643	A			AT
			Ohm	PU			
		Req	1.494425	0.001852593			
		Zeq	86.28130281				
	Xeq	86.26835984	0.106944248				
X13	Pcu	14.31	kW	Valor en Planilla CNE_Transmision [%]	29.76 %		
	S	10	MVA				
	isc	418.3697603	A			AT	
	isc	26.24319405	A			BT	
		Ohm	PU				
	Req	20.77812	0.025758				
	Zeq	239.6143823					
	Xeq	238.7117968	0.295923715				
X23	Pcu	16.75	kW	Valor en Planilla CNE_Transmision [%]	15.88 %		
	S	10	MVA				
	isc	418.3697603	A			BT	
	isc	50.20437123	A			MT	
		Ohm	PU				
	Req	6.6455625	0.03015				
	Zeq	35.0019778					
	Xeq	34.36531607	0.155910697				



## Ejemplo 2

The ratings of a single-phase three-winding transformer are:

- winding 1: 300 MVA, 13.8 kV
- winding 2: 300 MVA, 199.2 kV
- winding 3: 50 MVA, 19.92 kV

The leakage reactances, from short-circuit tests, are:

- $X_{12} = 0.10$  per unit on a 300-MVA, 13.8-kV base
- $X_{13} = 0.16$  per unit on a 50-MVA, 13.8-kV base
- $X_{23} = 0.14$  per unit on a 50-MVA, 199.2-kV base

Winding resistances and exciting current are neglected. Calculate the impedances of the per-unit equivalent circuit using a base of 300 MVA and 13.8 kV for terminal 1.

Resp:

But  $X_{13} = 0.16$  and  $X_{23} = 0.14$  per unit on a 50-MVA base are first converted to the 300-MVA circuit base.

$$X_{13} = (0.16) \left( \frac{300}{50} \right) = 0.96 \text{ per unit}$$

$$X_{23} = (0.14) \left( \frac{300}{50} \right) = 0.84 \text{ per unit}$$

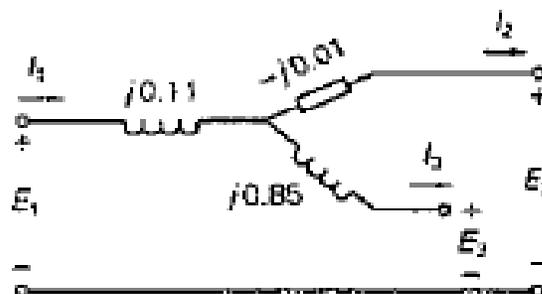
Then, from (4.6.8)–(4.6.10)

$$X_1 = \frac{1}{2}(0.10 + 0.96 - 0.84) = 0.11 \text{ per unit}$$

$$X_2 = \frac{1}{2}(0.10 + 0.84 - 0.96) = -0.01 \text{ per unit}$$

$$X_3 = \frac{1}{2}(0.84 + 0.96 - 0.10) = 0.85 \text{ per unit}$$

The per-unit equivalent circuit of this three-winding transformer is shown in Figure 4.22. Note that  $X_2$  is negative. This illustrates the fact that  $X_1$ ,  $X_2$ , and  $X_3$  are *not* leakage reactances, but instead are equivalent reactances derived from the leakage reactances. Leakage reactances are always positive.





## Malla de Sec(0)

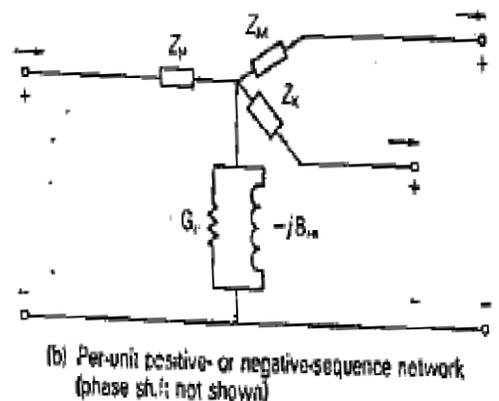
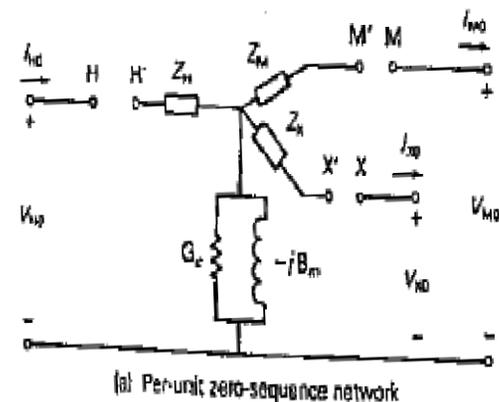
La conexión de la malla de sec(0) entre los puntos H y H' de la figura depende de:

- Si  $Y_{AT}$  está conectado a tierra con  $R_t=0 \Rightarrow$  Conectar H-H'
- Si  $Y_{AT}$  está conectado a tierra con  $R_t=Z_n \Rightarrow$  Conectar H-H' con  $3Z_n$
- Si  $Y_{AT}$  no está conectado a tierra  $\Rightarrow$  No Conectar H-H'
- Si  $\Delta_{AT} \Rightarrow$  Conectar H' a punto de referencia

Los terminales X-X' y M-M' siguen las mismas reglas.

Además:

- impedancia de Sec(+) = impedancia Sec(-)
- generalmente para estudios Sec(0)=Sec(+)



## Ejemplo 3

Three transformers, each identical to that described in **Ejemplo 2** are connected as a three-phase bank in order to feed power from a 900-MVA, 13.8-kV generator to a 345-kV transmission line and to a 34.5-kV distribution line. The transformer windings are connected as follows:

13.8-kV windings (X):  $\Delta$ , to generator

199.2-kV windings (H): solidly grounded Y, to 345-kV line

19.92-kV windings (M): grounded Y through  $Z_n = j0.10 \Omega$ , to 34.5-kV line

The positive-sequence voltages and currents of the high- and medium-voltage Y windings lead the corresponding quantities of the low-voltage  $\Delta$  winding by  $30^\circ$ . Draw the per-unit sequence networks, using a three-phase base of 900 MVA and 13.8 kV for terminal X.

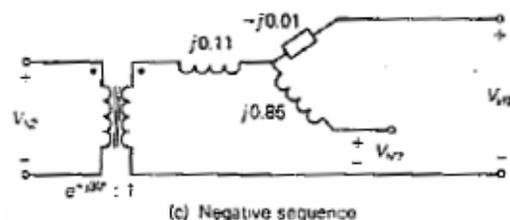
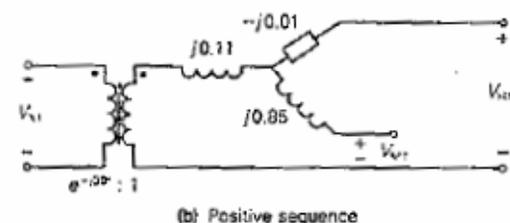
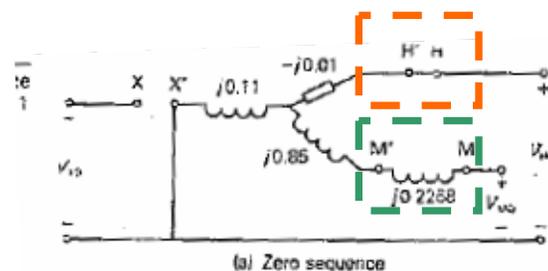
Resp:

$$V_{baseX} = 13.8 \text{ kV}$$

$$V_{baseM} = \sqrt{3} \cdot 19.92 \text{ kV} = 34.5 \text{ kV}$$

$$\text{Así: } Z_{baseM} = \frac{(34.5)^2}{900} = 1.3225 \Omega$$

## Ejemplo 2



Therefore, the per-unit neutral impedance is

$$Z_n = \frac{j0.10}{j0.775} = j0.07561 \text{ per unit}$$

Por lo tanto  $3Z_n = j0.2268$  es conectado entre M y M'



## Ejemplo 4

Un generador es conectado a un trafo. 11/66 kV, el cual alimenta a un trafo. de tres enrollados cuyos datos nominales son 66/11/3.3 kV. Determinar la corriente de cortocircuito monofásico que ocurre en el lado secundario del trafo. de tres enrollados sin considerar los desfases de los trafos. Considerar una base común  $S_b = 10 \text{ MVA}$

Datos del sistema:

**Generador:**  $x_1 = j0.15$ ,  $x_2 = j0.1$ ,  $x_0 = j0.03$  en p.u. en base 10 MVA.

El neutro del enrollado del generador está conectado a tierra a través de una resistencia de 3 Ohm.

**Trafo.  $\Delta$ -Y:**  $x_1 = x_2 = x_0 = j0.1$  p.u. en base 10 MVA.

El neutro del enrollado Y está conectado solidamente a tierra.

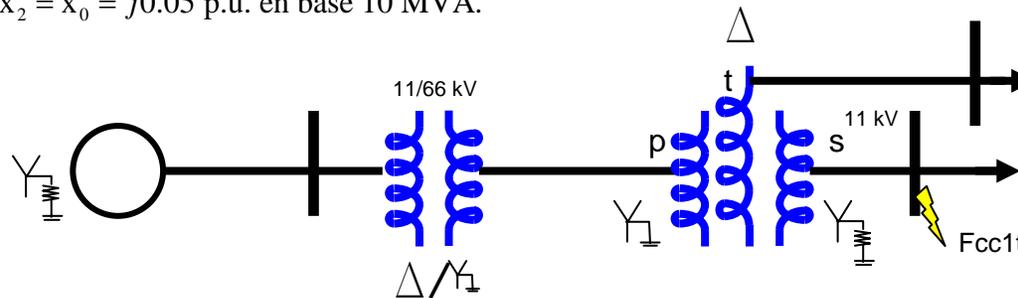
**Trafo. Y- $\Delta$ -Y:** El primario está conectado solidamente a tierra y el terciario está conectado a tierra a través de una resistencia de 3 Ohm.

Los datos para las mallas de secuencia son:

Lado 66kV:  $x_1 = x_2 = x_0 = j0.04$  p.u. en base 10 MVA.

Lado 11kV:  $x_1 = x_2 = x_0 = j0.03$  p.u. en base 10 MVA.

Lado 3.3 kV:  $x_1 = x_2 = x_0 = j0.05$  p.u. en base 10 MVA.



**Resp:**  $i_a = 1586.5983 \text{ A}$