



**fcfm**

Ingeniería Eléctrica  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

ingendesa



# EL57A – SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA I



**Pablo Medina Cofré**

**31-08-2010**



## Transformadores

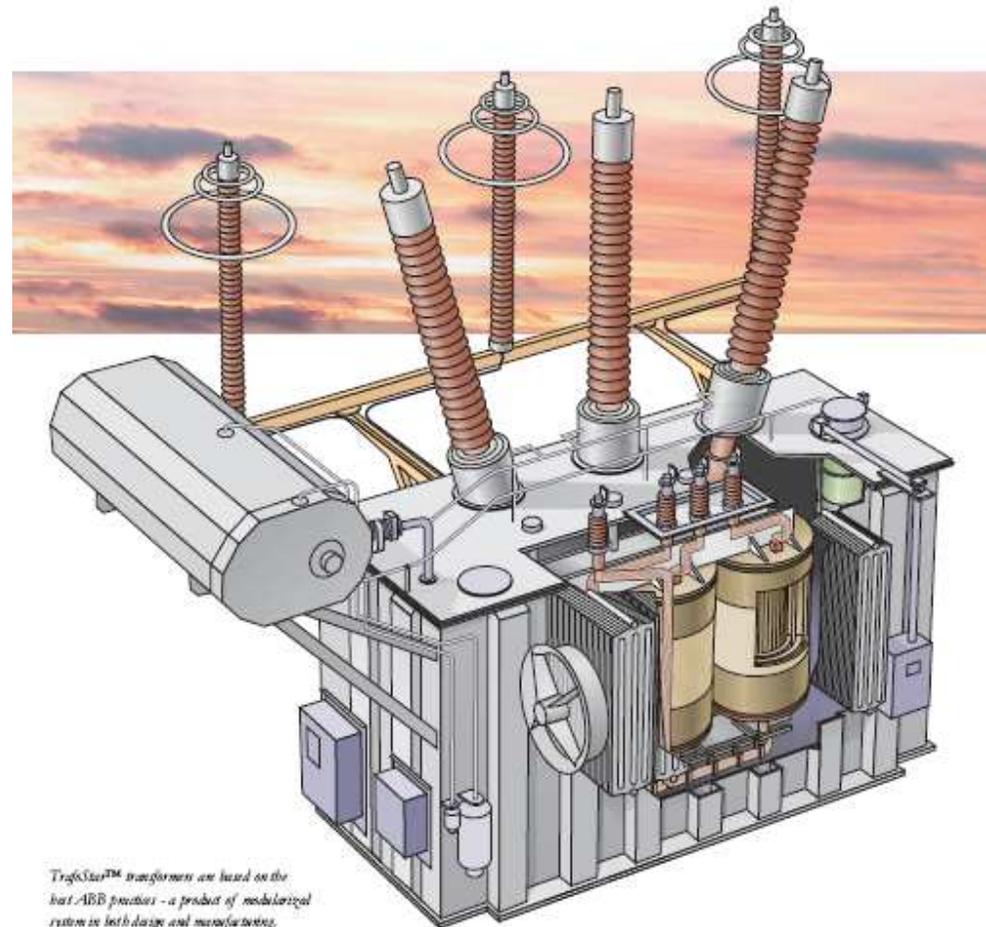
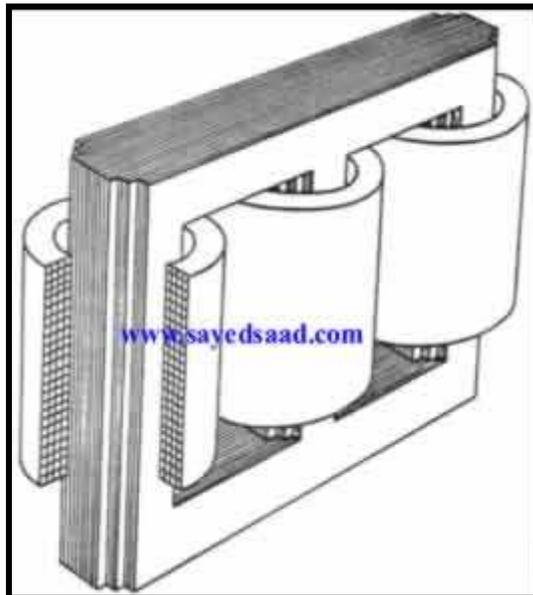
- **Equipos presentes en todos los niveles de un SEP.**
  - **En centrales, aumentan la tensión para transmitir la potencia generada a grandes distancias, minimizando las pérdidas.**
  - **Junto a los domicilios, reduciendo la tensión hasta un nivel "seguro" y útil.**
- **Aplicaciones especiales:**
  - **Regulación de tensión, e incluso "flujo de potencia".**
- **En los SEP's se los encuentra como:**
  - **Banco de autotransformadores.**
  - **Transformadores tipo "shell".**
  - **Transformadores tipo "core".**
  - **Transformadores de tres enrollados.**





## Transformadores: tipos

- Núcleo o "core"

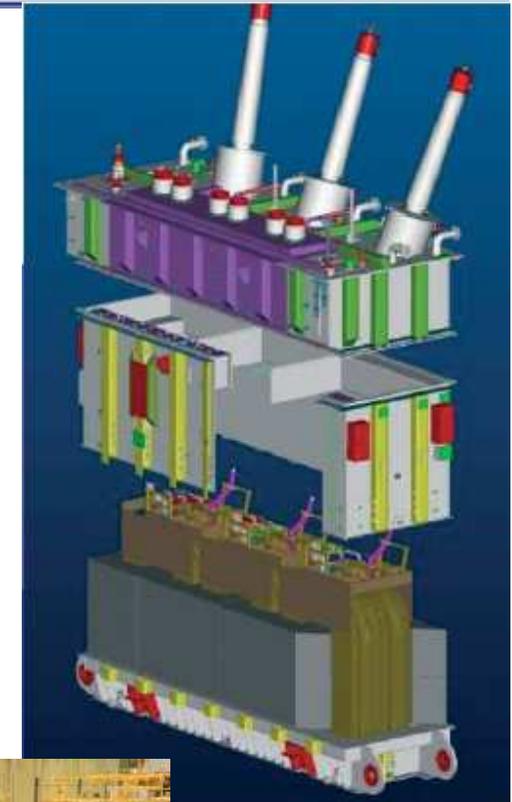
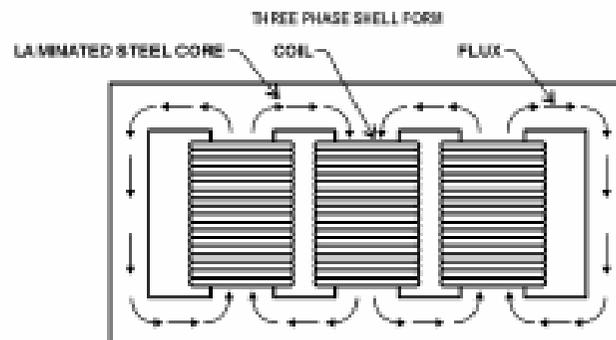
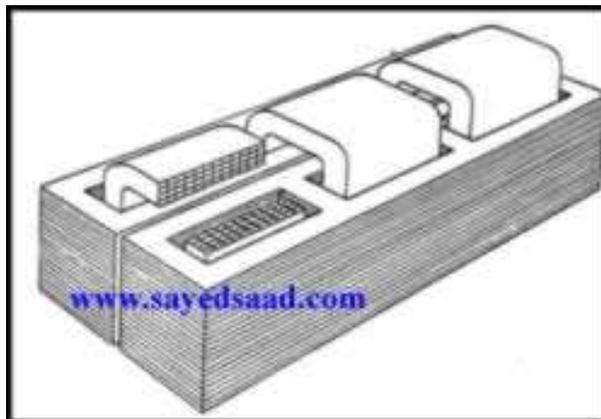


Fuente: [ABB](#)



## Transformadores: tipo

- Acorazado o "shell"

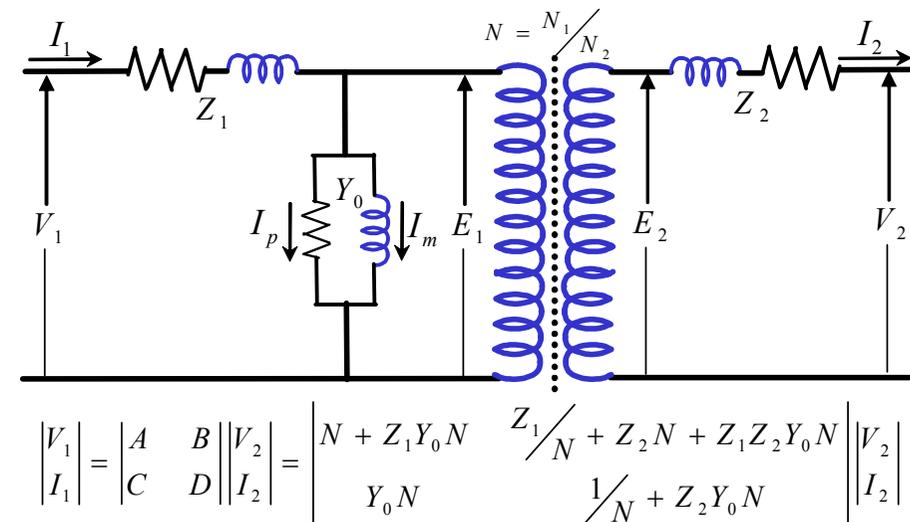


Fuente: [ABB](#)



## Transformadores: circuito equivalente

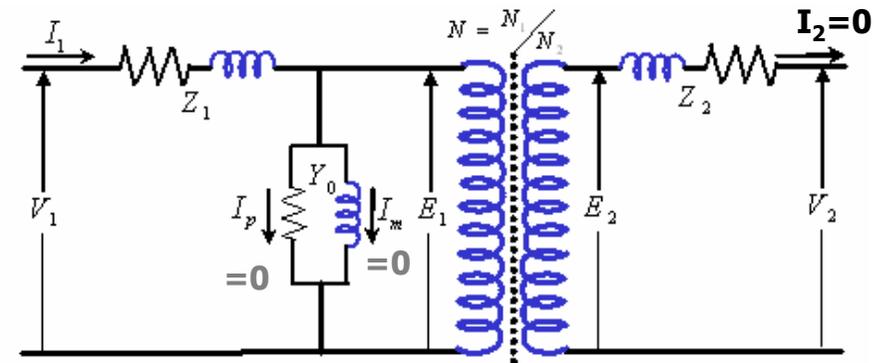
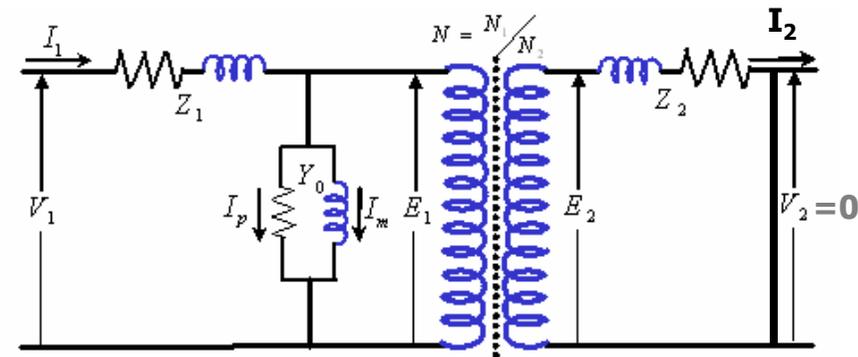
- El circuito equivalente da cuenta de:
  - Pérdidas Joule en enrollados.
  - Flujo magnético no enlazado por el fierro.
  - Corriente de magnetización ( $\mu$  del fierro finito).
  - Pérdidas por corrientes inducidas en el fierro.
- El circuito no da cuenta de la existencia de armónicas.
  - Debido a la relación no lineal entre B y H, la corriente de magnetización no puede ser sinusoidal si se quiere un flujo sinusoidal para producir una tensión de iguales características.





## Transformadores: Ensayos.

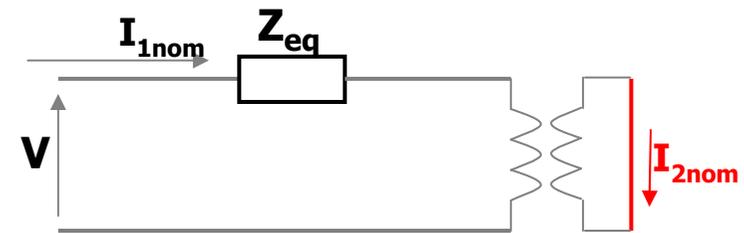
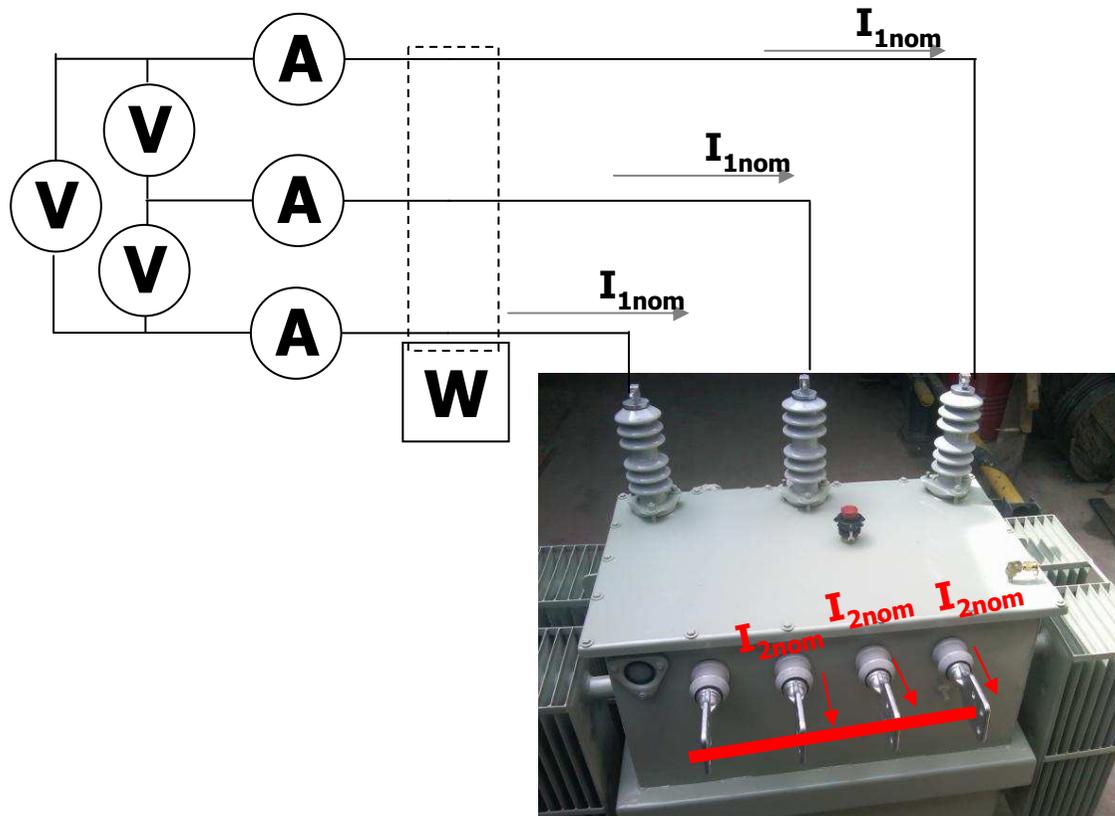
- Los parámetros del modelo equivalente deben ser estimados a partir de ensayos.
  - Ensayo de cortocircuito: determinación de la “rama serie”.
  - Ensayo de circuito abierto: determinación de la “rama shunt”. ¿está correcto según la figura?
  - Uso de “wattmetro” para determinación de resistencias.





## Transformadores trifásicos

- En este caso, el tipo de conexión es irrelevante para la determinación de la representación del equipo, debido a la forma en que se realizan los ensayos. Será relevante sólo para el tema de los desfases y cortocircuitos desbalanceados.



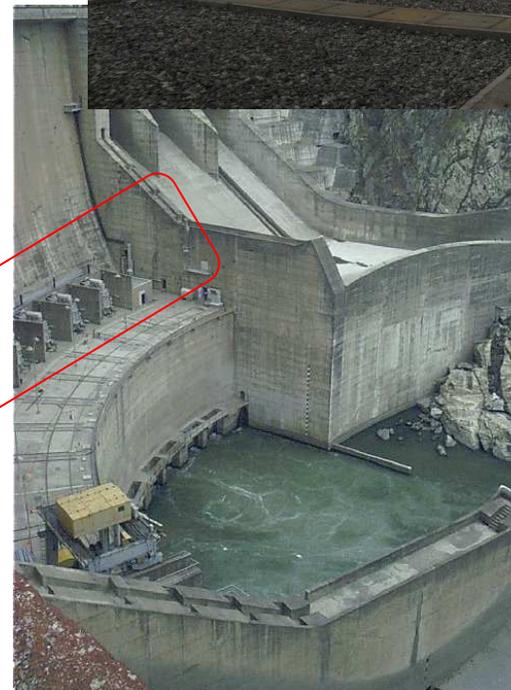
En SEP:

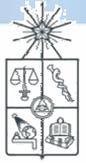
- Voltaje entre fases
- Corriente de línea



## Transformadores

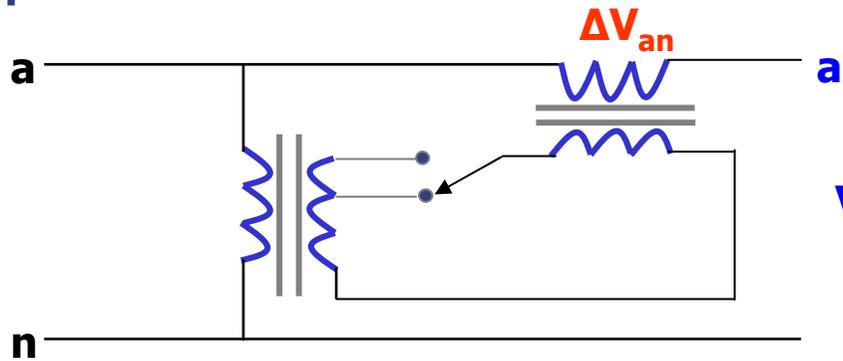
- **En los sistemas eléctricos, es muy común que se utilicen “bancos de autotransformadores”.**
  - **Aumenta la robustez del sistema.**
  - **Ahorro en enrollado.**
- **Desde el punto de vista de proyecto eléctrico, son más complejos.**
  - **Necesidad de esquema de reemplazo de unidad.**
  - **Mayor cantidad de muros cortafuegos y sistema de extinción de incendios.**



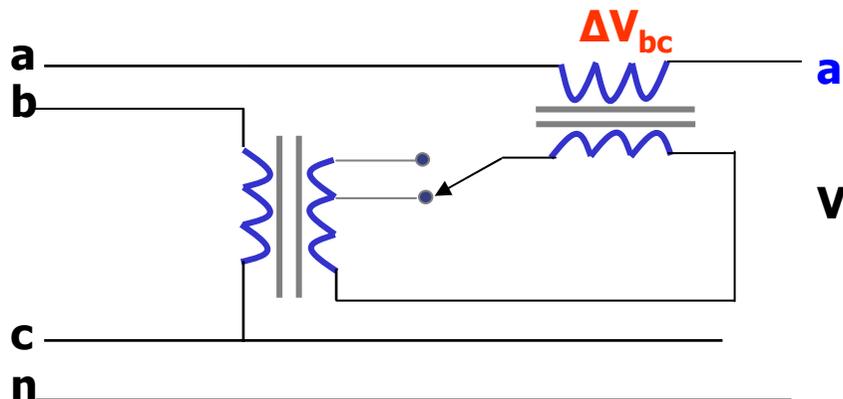
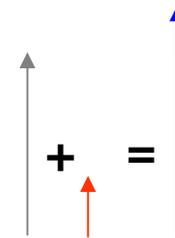


## Transformadores "Boosters"

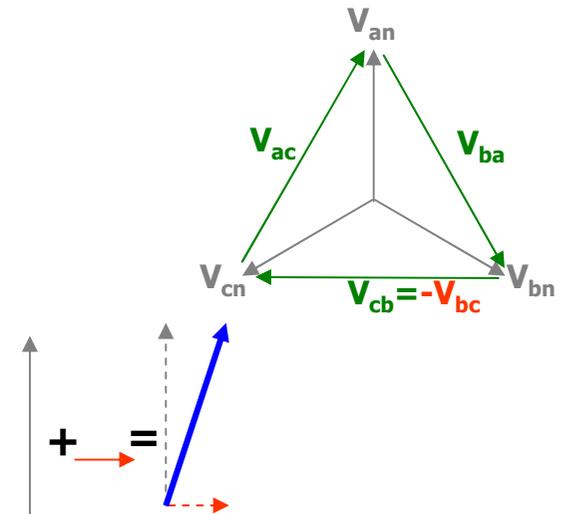
- Compuestos por un "transformador serie" y un "transformador paralelo".
- Permiten realizar operaciones de regulación, ya sea de tensión o de potencia activa.



$$V_{a'n} = V_{an} + \Delta V_{an}$$



$$V_{a'n} = V_{an} + \Delta V_{bc}$$





**fcfm**

Ingeniería Eléctrica  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

 ingendesa

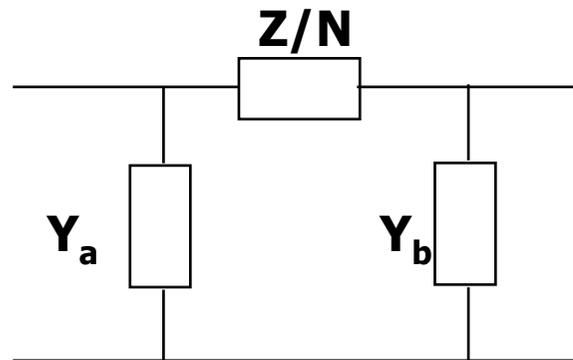
## Transformadores “Boosters”

- **El primer transformador suma una “muestra” del voltaje del primario. Luego, la suma vectorial está en fase con el voltaje primario.**
  - Se utiliza para control de tensión.
- **El segundo transformador suma una “muestra” de un voltaje del primario, pero desfasado en  $90^\circ$ . Si la “muestra” es pequeña, la magnitud prácticamente no cambia y sólo se introduce un desfase.**
  - Se utiliza para el control de potencia activa.



## Transformadores "Boosters"

- **Representación en modelo pi:**
  - Si se asume que  $Y_0$  es pequeña, la representación ABCD del transformador es:
    - $A=N$
    - $B=NZ_2+Z_1/N$
    - $C=0$
    - $D=1/N$
  - Además, recordar que  $Z=Z_1+N^2Z_2$ . Luego  $B=Z/N$ .
  - Se puede demostrar que el circuito pi es:



$$Y_a = (1-N)/Z$$

$$Y_b = (N^2-N)/Z$$

**Ojo:  $Z_2$  depende de la posición del tap (del valor que tenga  $N$ )**



# Transformadores "Boosters"

- Representación en p.u.
  - De la primera fila de las ecuaciones de la matriz ABCD.

$$V_{1fn} = NV_{2fn} + \frac{Z_{nom}}{N} I_2$$

$$V_{b2} = \frac{V_{b1}}{N_{nom}}$$

$$\frac{V_{1fn}}{V_{b1}} = N \frac{V_{2fn}}{V_{b1}} + \frac{Z_{nom}}{N} \frac{I_2}{V_{b1}}$$

$$\frac{V_{1fn}}{V_{b1}} = \underbrace{\left( \frac{N}{N_{nom}} \right)}_{N_{[p.u.]}} \frac{V_{2fn}}{V_{b2}} + \frac{Z_{nom}}{N} \frac{I_2}{V_{b1}} \cdot \frac{1}{\underbrace{\left( \frac{S_{b3\phi}}{S_{b3\phi}} \right)}_1} \cdot \underbrace{\left( \frac{N_{nom} V_{b2}}{V_{b1}} \right)}_1$$

Referido al primario y en posición nominal

$$Z = Z_1 + \left( \frac{N_{1nom}}{N_2} \right)^2 Z_2, \quad Z_2 = Z_{2nom} \cdot \frac{N_2}{N_{2nom}}$$

$$= Z_1 + \left( \frac{N_{1nom}}{N_{2nom}} \right)^2 Z_{2nom}$$

$$= Z_1 + N_{nom}^2 Z_{2nom} = Z_{nom}$$

$$\frac{\sqrt{3}V_{1fn}}{V_{b1}} = N_{[p.u.]} \frac{\sqrt{3}V_{2fn}}{V_{b2}} + \frac{Z_{nom}}{\left( \frac{N}{N_{nom}} \right)} \frac{I_2}{\underbrace{\left( \frac{V_{b1}^2}{S_{b3\phi}} \right)}_{Z_{b1}}} \cdot \frac{1}{\frac{S_{b3\phi}}{\sqrt{3}V_{b2}}}$$

$$V_{1[p.u.]} = N_{[p.u.]} V_{2[p.u.]} + \frac{Z_{nom[p.u.]}}{N_{[p.u.]}} I_{2[p.u.]}$$