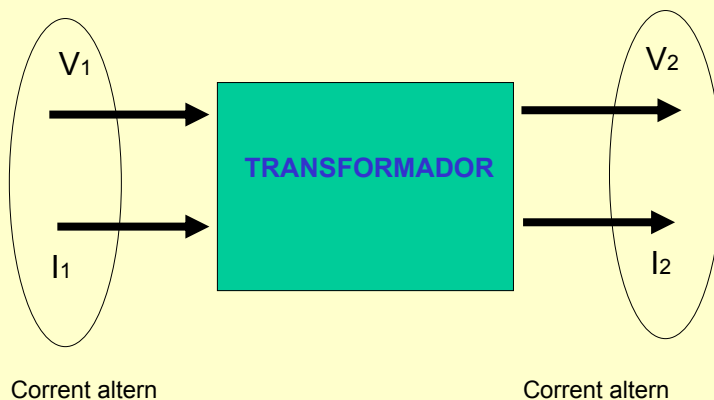
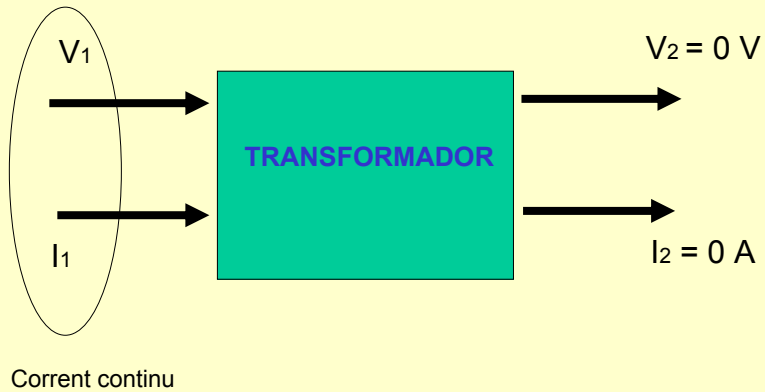


EL TRANFOMADOR ELÈCTRIC

DEFINICIÓ: El transformador és una màquina elèctrica que canvia les característiques del corrent elèctric altern.



Els transformadors NO funcionen amb corrent continu.



Tipus de transformadors

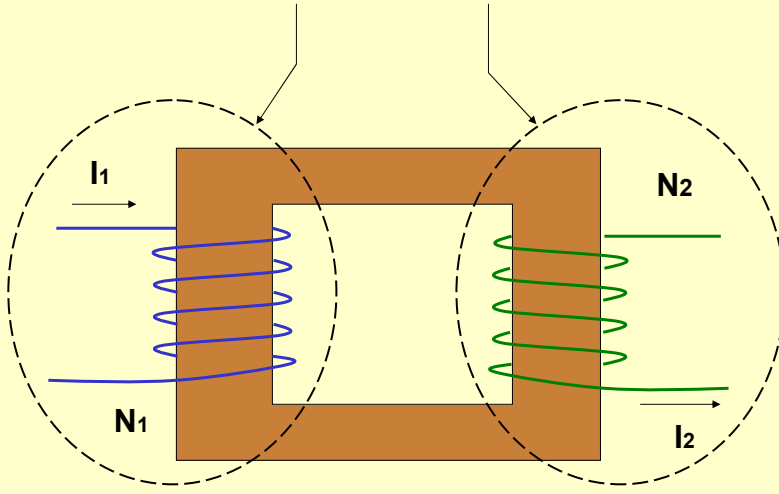
Hi ha dos tipus de transformadors:

1. **Els transformadors de potència:** Serveixen per variar els valors de la tensió. Es classifiquen en transformadors reductors i transformadors elevadors.
2. **Els transformadors de mesura:** S'usen per mesurar valors de l'alta tensió o d'intensitats elevades per així reduir el perill d'electrocució.

ESTRUCTURA D'UN TRANSFORMADOR

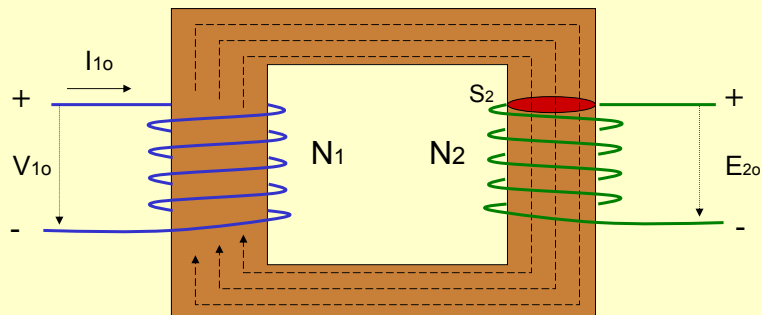
El transformador consta de les següents parts:

1. El **nucli ferromagnètic**.
2. L'**enrotllament primari** i l'**enrotllament secundari**.



PRINCIPI DE FUNCIONAMENT

- Pel primari circula un C.A.
- Es generarà un camp magnètic variable que es propaga pel nucli ferromagnètic. Aquest camp travessa la secció del primari i del secundari. Aquest flux és variable en el temps.
- Com ja sabeu un flux variable genera una tensió induïda (Llei de Faraday).



Relació de transformació.

Transformador ideal

$$B = \mu \cdot n_1 \cdot I_1$$

Camp creat pel primari dins del nucli del transformador.

$$\Phi_1 = B \cdot S_1$$

$$\Phi_2 = B \cdot S_2$$

Els fluxos en una de les espirals del primari i del secundari.

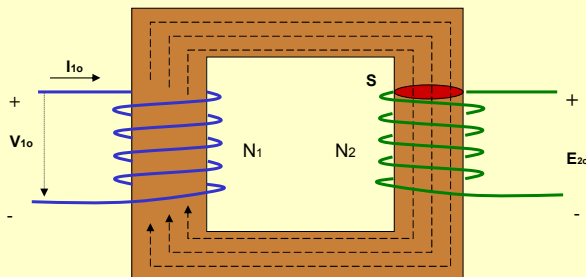
$$\Phi_1 = \Phi_2$$

El flux a través d'una superfície es constant en tot el nucli

$$N_1 \cdot \Phi$$

$$N_2 \cdot \Phi$$

Flux total en el primari i en el secundari



Llei de Faraday : La variació del flux en una bobina genera una tensió induïda en els seus extrems.

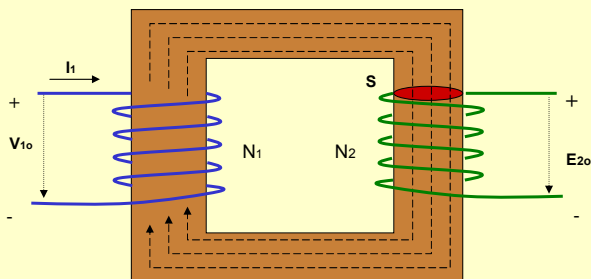
$$E_1 = - \frac{d(N_1 \cdot \Phi)}{dt} ; E_2 = - \frac{d(N_2 \cdot \Phi)}{dt}$$

Dividim entre si les dues expressions:

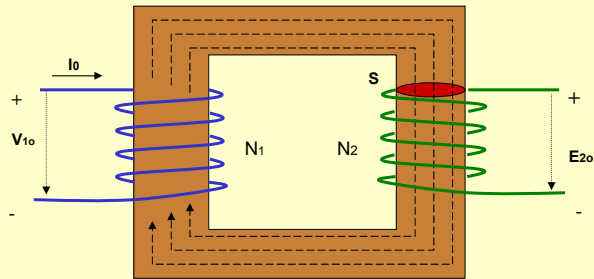
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{- \frac{d(N_1 \cdot \Phi)}{dt}}{- \frac{d(N_2 \cdot \Phi)}{dt}} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{- N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}}{- N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \begin{cases} \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \\ E_1 \approx V_1 \\ E_2 \approx V_2 \end{cases}$$

Relació de transformació

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$



Transformador ideal de buit : Quan el secundari es troba obert, el corrent d'entrada I_0 , s'anomena **corrent de buit**.



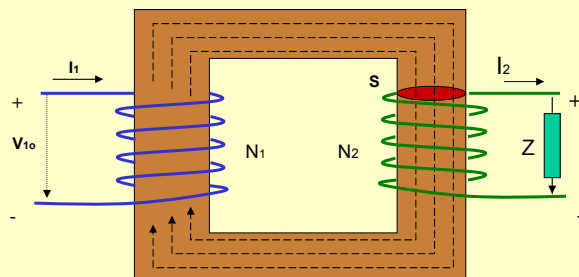
Transformador ideal: No hi ha pèrdues de flux.

- Les forces magnetomotrius (fmm) són iguals a les dues bobines:

$$\left. \begin{array}{l} fmm_1 = fmm_2 \\ fmm_1 = N_1 \cdot \Phi \cdot I_1 \\ fmm_2 = N_2 \cdot \Phi \cdot I_2 \end{array} \right\} \Rightarrow fmm_1 = fmm_2 \Rightarrow N_1 \cdot \Phi \cdot I_1 = N_2 \cdot \Phi \cdot I_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

- Aleshores, veiem que el quocient de les intensitats és la relació de transformació.

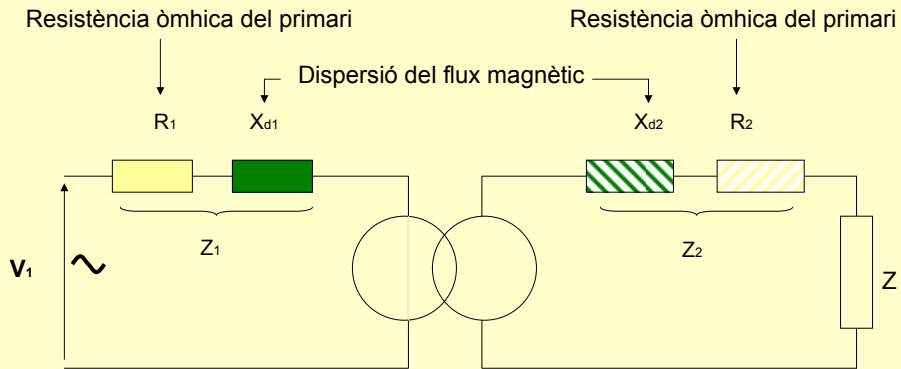
$$\frac{I_{20}}{I_{10}} = \frac{N_1}{N_2} = r_t$$



Transformador real : En el transformador real hi ha pèrdues d'energia (efecte Joule) i dispersió de flux magnètic.

Els efectes anteriors es representaran dins de l'esquema elèctric d'un transformador.

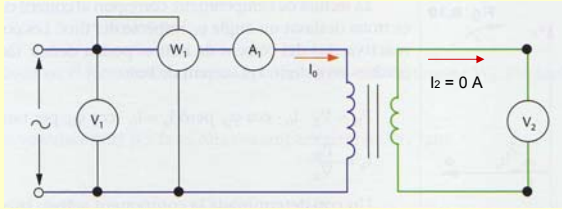
Imaginem doncs que tot transformador es pot representar pel circuit de la figura.



Assaig amb el transformador : Hi ha dos tipus d'assaigs.

1. L'assaig de buit ens permetrà *determinar* la *relació de transformació* i les *pèrdues energètiques* d'un transformador real.
2. L'assaig de curtcircuit

Assaig de buit: Per aquest assaig connectarem els elements tal i com mostra la figura. El secundari està en obert ($I_2 = 0 \text{ A}$)



W: vatímetre
A: Amperímetre
V: Voltímetre

1. Determinació de la relació de transformació: És el quocient de les lectures dels voltímetres.

$$r_t = \frac{V_1}{V_2}$$

2. Determinació de les pèrdues elèctriques (efecte Joule): És la lectura del vatímetre.

$$P_{Fe} = V_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_1$$

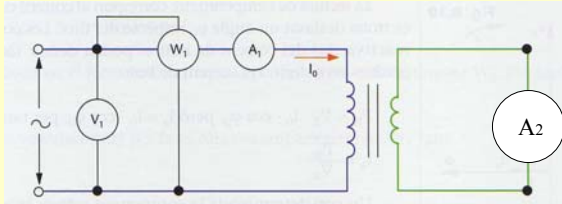
3. La lectura de l'amperímetre ens indica el corrent de buit I_0 que circula pel primari en aquesta situació. D'aquí es pot deduir el factor de potència del primari i el valor de R_1 i X_{d1} .

$$\left. \begin{aligned} P_{Fe} &= V_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_1 \\ I_a &= \frac{P_{Fe}}{V_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \cos \varphi_1 = \frac{I_a}{I_0}$$

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} \quad (\text{corrent magnetitzant})$$

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_0} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = Z_1 \cdot \cos \varphi_1 \\ X_{d1} = Z_1 \cdot \sin \varphi_1 \end{cases}$$

Assaig de curtcircuit: Per aquest assaig connectarem els elements tal i com mostra la figura. El secundari està tancat en curtcircuit ($I_2 \neq 0 \text{ A}$)



Anem augmentant progressivament la tensió d'entrada. Quan arribem al valor V_{cc} ($0,05 V_{1n}$), prenem les lectures dels multímetres.

1. Determinació de la relació de transformació: És el quocient de les lectures dels amperímetres.

$$r_t = \frac{A_2}{A_1}$$

2. Determinació de les pèrdues elèctriques (efecte Joule): És la lectura del vatímetre.

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{Fe}}{V_{cc} \cdot I_{1n}}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{1n}}$$

$$\begin{aligned} R_{cc} &= Z_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} \\ X_{cc} &= Z_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc} \end{aligned}$$

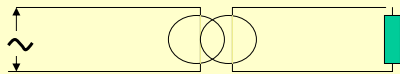
Prenem la tensió percentual i definim les tensions percentuals a R_{cc} i a X_{cc} :

$$u_{cc} = \frac{V_{cc}}{V_{1n}} \cdot 100 \rightarrow \begin{aligned} u_{R_{cc}} &= u_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} \\ u_{X_{cc}} &= u_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc} \end{aligned}$$

Amb els valors obtinguts en l'assig de curtcircuit es poden calcular:

- El valor del corrent de curtcircuit accidental (I_{cc})
- El valor de la regulació de voltatge d'un transformador real.

Considereu un transformador real com el de la figura. Connectem al secundari una impedància Z .



CORRENT DE CURTCIRCUIT ACCIDENTAL

Quan per accident, el secundari d'un transformador real curtcircuita, el corrent del secundari es dispara. El valor d'aquest corrent val:

$$I_{2cc} = \frac{V_{1n}}{Z_{cc}} = \frac{I_{1n}}{u_{cc}} \cdot 100$$

REGULACIÓ DE VOLTATGE EN UN TRANSFORMADOR REAL

En un transformador real, la tensió de sortida del secundari, no es manté constant. Definim la caiguda de tensió percentual o *regulació de voltatge* com:

$$\varepsilon(\%) = \frac{V_{2buit} - V_{2càrrega}}{V_{2buit}} \cdot 100$$

Es pot demostrar que: $\varepsilon(\%) = u_{R_{cc}} \cdot \cos \varphi + u_{X_{cc}} \cdot \sin \varphi$

On $\cos \varphi$ i $\sin \varphi$ són els factors de potència de la impedància connectada a V_2 .

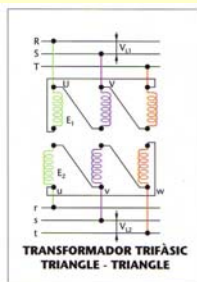
TRANSFORMADORS TRIFÀSICS

Per transformar la tensió d'una línia trifàsica d'alta tensió a una de baixa tensió podem usar tres transformadors monofàsics o els *transformadors trifàsics*.

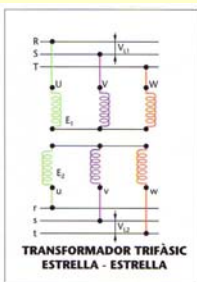
Les tres fases de cada debanat es poden connectar en *estrella* o *triangle*.

Les tres bobines primàries i les tres bobines secundàries es poden connectar :

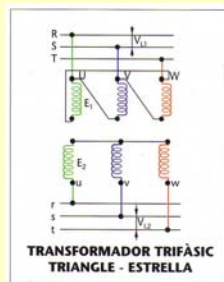
Triangle-triangle



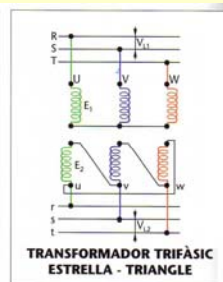
Estrella-estrella



Triangle-estrella



Estrella-triangle



$$r_c = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{V_{F1}}{V_{F2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$r_c = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{F1}}{\sqrt{3} \cdot V_{F2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$r_c = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{V_{F1}}{\sqrt{3} \cdot V_{F2}} = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$$

$$r_c = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{F1}}{V_{F2}} = \sqrt{3} \cdot \frac{N_1}{N_2}$$