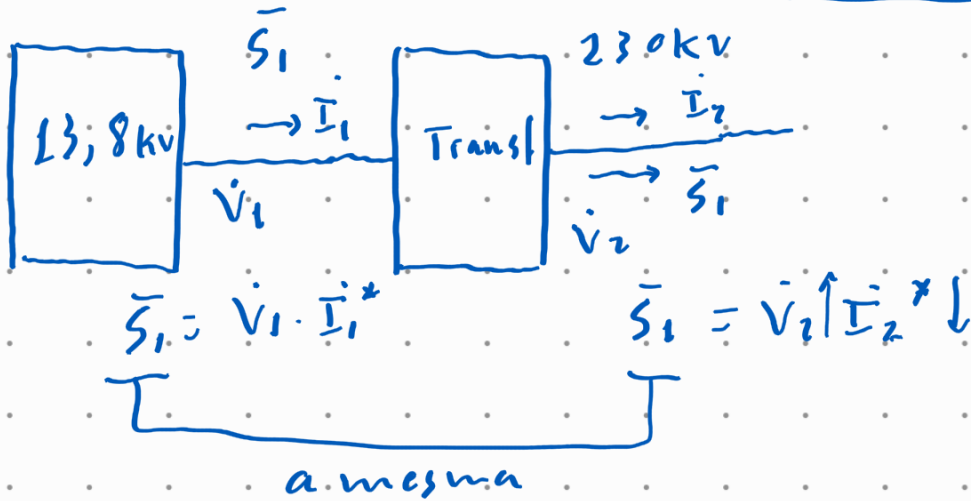
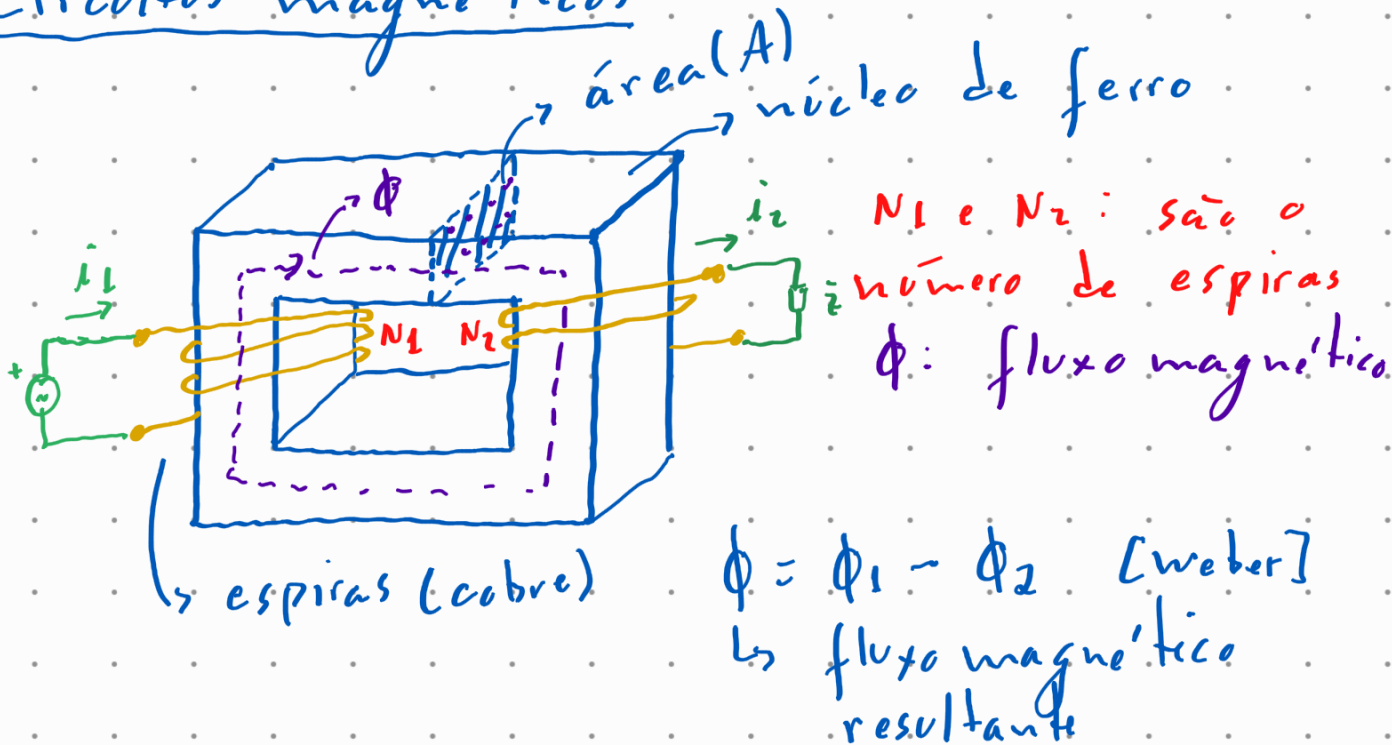


Transformadores

Sistema CA.



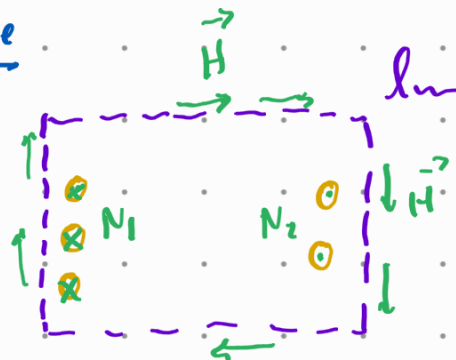
1) Circuitos magnéticos



ϕ percorre um caminho médio no núcleo = l_m

Lei Circuital de Ampère

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = N \cdot i$$



\vec{H} : intensidade de campo magnético [Ae/m]
↳ espira

Então: $|\vec{H}|_{lm} = N_1 i_1 - N_2 i_2$ (1)

$N \cdot i$: força magneto-motriz [Ae]

Densidade de fluxo magnético (\vec{B}):

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \rightarrow [\text{Tesla}] \text{ ou } [T]$$

μ : permeabilidade magnética [$\frac{T \cdot m}{A}$]

↳ μ_0 : permeabilidade magnética do ar.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

$$|\vec{B}| = \mu |\vec{H}|$$

Subst. em (1):

$$\frac{|\vec{B}|_{lm}}{\mu} = N_1 i_1 - N_2 i_2$$
 (2)

Ainda: $|\vec{B}| = \frac{\Phi}{A}$

Substituindo em (2):

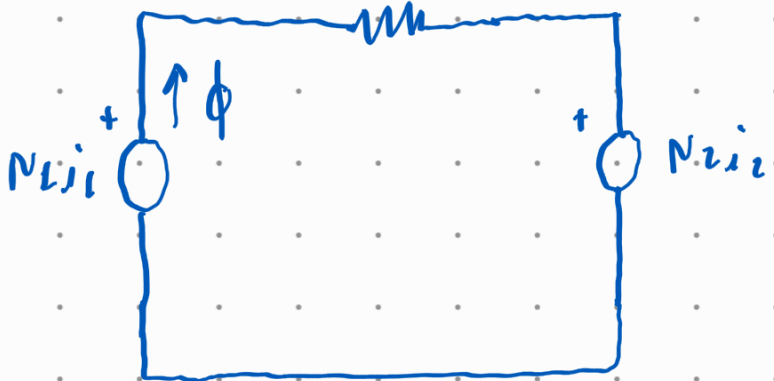
$$\phi \cdot \frac{lm}{\mu A} = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

Comparando com circuitos elétricos:

$N \cdot i$	\rightarrow	V
ϕ	\rightarrow	i
$\frac{lm}{\mu A}$	\rightarrow	R

Desenhando o circuito magnético como um circuito elétrico:

$$\frac{lm}{\mu A} = R_0 : \text{relutância}$$

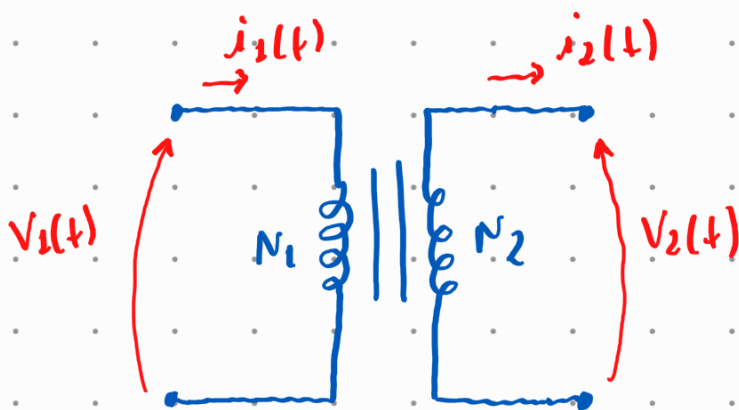


$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = R_0 \cdot \phi$$

Transformador ideal

- 1) Resistência elétrica das espiras = 0
- 2) Fluxo magnético todo no núcleo.
- 3) Relutância magnético do núcleo = 0
- 4) Perdas no núcleo = 0

Simbologia do transformador ideal.



$$R_0 \phi = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

$$0 = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

$$N_1 i_1 = N_2 i_2$$

Logo: $\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$ relação entre as correntes do lado 1 com o lado 2 do transformador.

Ex: $i_1 = 10 \text{ (A)}$, $N_2/N_1 = 10$, $i_2 = ?$

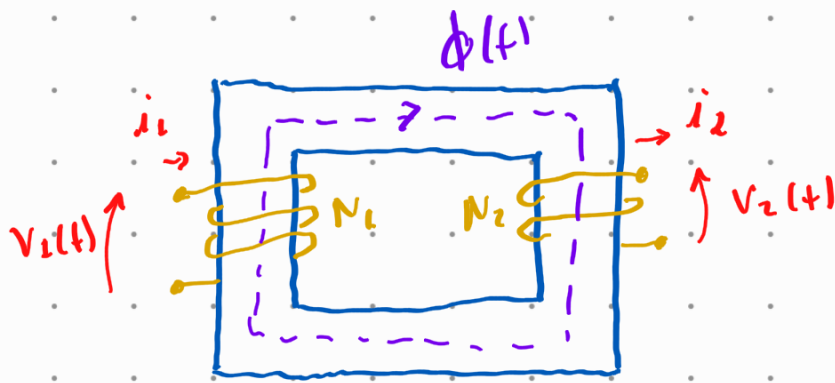
$$i_2 = \frac{N_1}{N_2} i_1 = \frac{1}{10} \cdot 10 \rightarrow i_2 = 1 \text{ (A)}$$

Também, em fasores,

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Relação de transformação entre as tensões:

Vamos aplicar a lei de Faraday:



$$V_1(t) = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$V_2(t) = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 \cancel{d\phi/dt}}{N_2 \cancel{d\phi/dt}}$$

Logo:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

OBS: Os fabricantes fornecem a relação de espiras na forma da relação entre tensões nominais.

Ex: Transformador : 200 v / 100 v

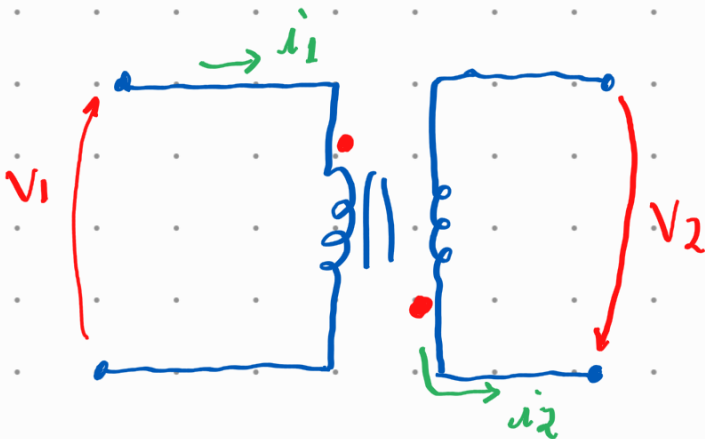
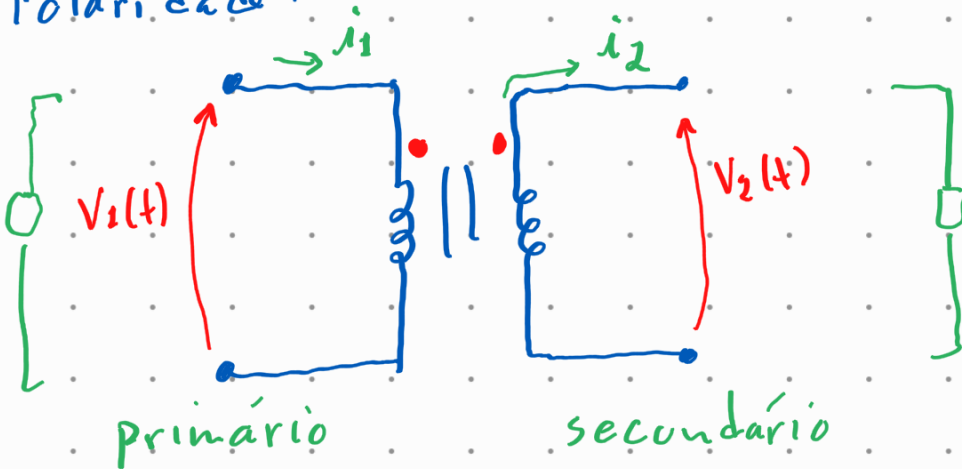
A relação de espiras : $a = \frac{200}{100} = 2$

Aplicando $\dot{V}_1 = 150 \text{ (V)}$
 $\dot{V}_2 = ?$

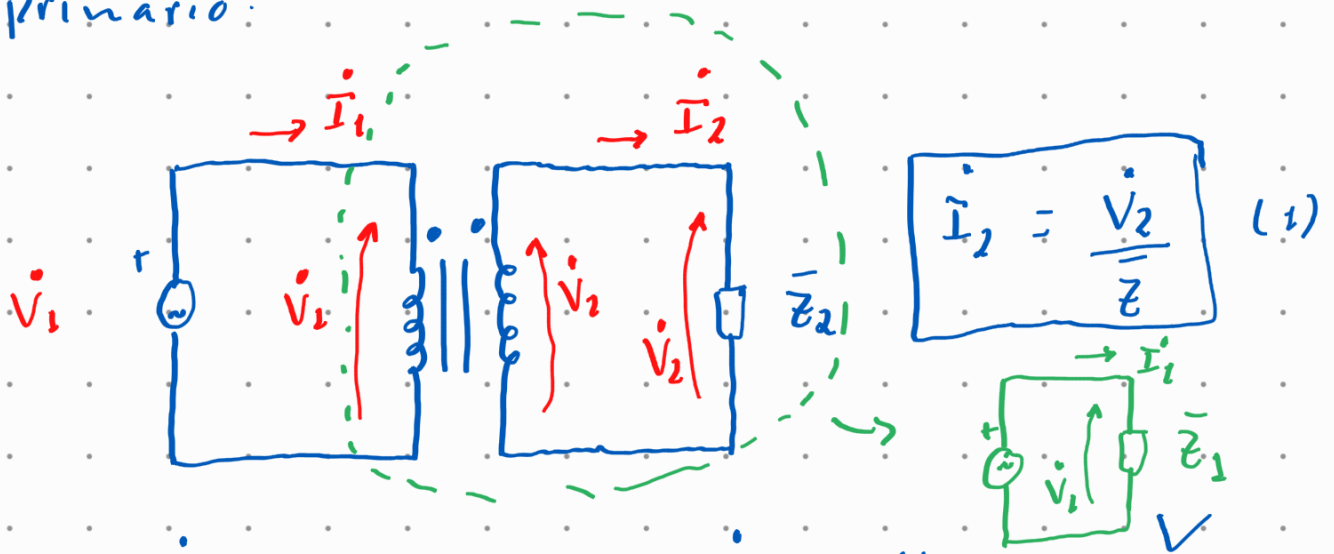
$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = a \rightarrow \dot{V}_2 = \frac{1}{a} \dot{V}_1 = \frac{1}{2} \cdot 150$$

Logo: $\dot{V}_2 = 75 \text{ [V]}$

Polaridade:



Como uma impedância no secundário é "vista" pelo primário:



Logo:

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad \text{e} \quad \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

$$\frac{N_1}{N_2} = a$$

Subst. em (1):

$$\dot{I}_2 = a \dot{I}_1$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}_1}{a}$$

Logo:

$$a \dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_1 / a}{\bar{Z}}$$

$$\dot{V}_1 = a \dot{I}_1 \cdot \bar{Z} \cdot a = a^2 \cdot \bar{Z} \cdot \dot{I}_1$$

Então:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} = a^2 \bar{Z} = \bar{Z}_1$$

$$\bar{Z}_1 = a^2 \bar{Z}_2 \quad \checkmark$$

E a potência?

$$\bar{S}_1 = \dot{V}_1 \cdot \dot{I}_1^* \quad (\text{"fornecida pelo primário"})$$

Por outro lado:

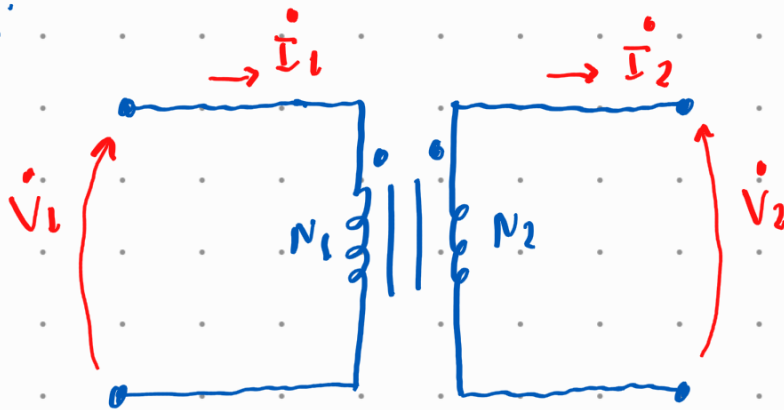
$$\bar{S}_2 = \dot{V}_2 \cdot \dot{I}_2^*$$

Da relação de espiras:

$$\bar{S}_2 = \frac{\dot{V}_1}{a} \cdot (a \cdot \dot{I}_1)^* = \frac{\dot{V}_1}{a} \cdot a \cdot \dot{I}_1^* = \dot{V}_1 \cdot \dot{I}_1^*$$

$$\boxed{\bar{S}_2 = \bar{S}_1}$$

Resumo:



$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \left| \quad \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

$$\bar{S}_1 = a^2 \bar{S}_2$$

$$\bar{S}_1 = \bar{S}_2$$

Exemplo: Dado o transformador abaixo e sabendo que:

$$\dot{V}_G = 7000 \angle 0^\circ \text{ [V]}$$

$$\bar{Z}_{\text{cabo}} = 100 \text{ [\Omega]}$$

$$\bar{Z}_{\text{carga}} = 100 \text{ [\Omega]}$$

Na relação: $\frac{V_{1N}}{V_{2N}} = 6500 / 220 \text{ [V]}$



Calcule:

a) A tensão sobre a carga.

b) A potência complexa fornecida pelo gerador.

c) A queda de tensão sobre o cabo.

Solução:



Onde $\bar{Z}'_{\text{carga}} = a^2 \cdot \bar{Z}_{\text{carga}}$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_G}{\bar{Z}_{cabo} + a^2 \bar{Z}_{carga}} = \frac{7000 \angle 0^\circ}{100 + a^2 \cdot 100}$$

$$a = \frac{6500}{220} = 29,55$$

$$\boxed{\dot{I}_1 = \frac{7000 \angle 0^\circ}{100 + 29,55^2 \cdot 100} = 80,1 \angle 0^\circ \text{ (mA)}}$$

Aplicando a relação de transformação:

$$\dot{I}_2 = a \dot{I}_1 = 2,37 \angle 0^\circ \text{ (A)}$$

Logo: $\dot{V}_2 = \bar{Z}_{carga} \cdot \dot{I}_2 = 100 \cdot 2,37 \angle 0^\circ$

$$\boxed{\dot{V}_2 = 237 \angle 0^\circ \text{ [V]}}$$

b) $\bar{S}_G = \dot{V}_G \cdot \dot{I}_1^*$

$$\bar{S}_G = 7000 \angle 0^\circ \cdot 80 \cdot 10^{-3} \angle 0^\circ$$

$$\bar{S}_G = 560 \text{ [W]}$$

c) $\dot{V}_{cabo} = \bar{Z}_{cabo} \cdot \dot{I}_1$

$$\dot{V}_{cabo} = 100 \cdot 80 \cdot 10^{-3} \angle 0^\circ$$

$$\boxed{\dot{V}_{cabo} = 8 \angle 0^\circ \text{ [V]}}$$

