

Circuitos Eléctricos II

Aula 3

Introdução

- Transformadores são utilizados para transferir energia elétrica entre diferentes circuitos elétricos por meio de um campo magnético, usualmente com diferentes níveis de tensão.
- Principais aplicações:
 - Adequar os níveis de tensão em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.
 - Isolar eletricamente sistemas de controle e eletrônicos do circuito de potência principal (toda a energia é transferida somente através do campo magnético).
 - Realizar casamento de impedância de forma a maximizar a transferência de potência.
 - Evitar que a corrente contínua de um circuito elétrico seja transferida para o outro circuito elétrico.
 - Realizar medições de tensão e corrente.

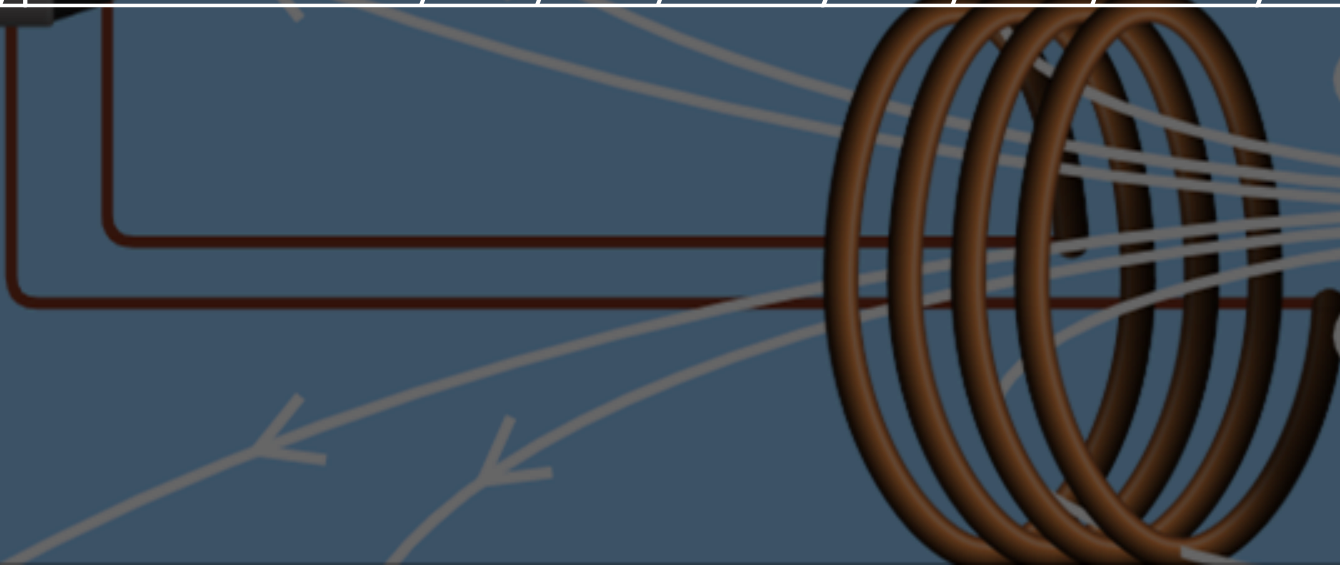
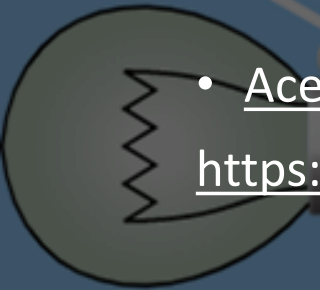


Fonte: (Pixabay)



Lei de Faraday

- [Acesse o link a seguir e veja um simulador para compreender a Lei de Faraday](https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html)
https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html

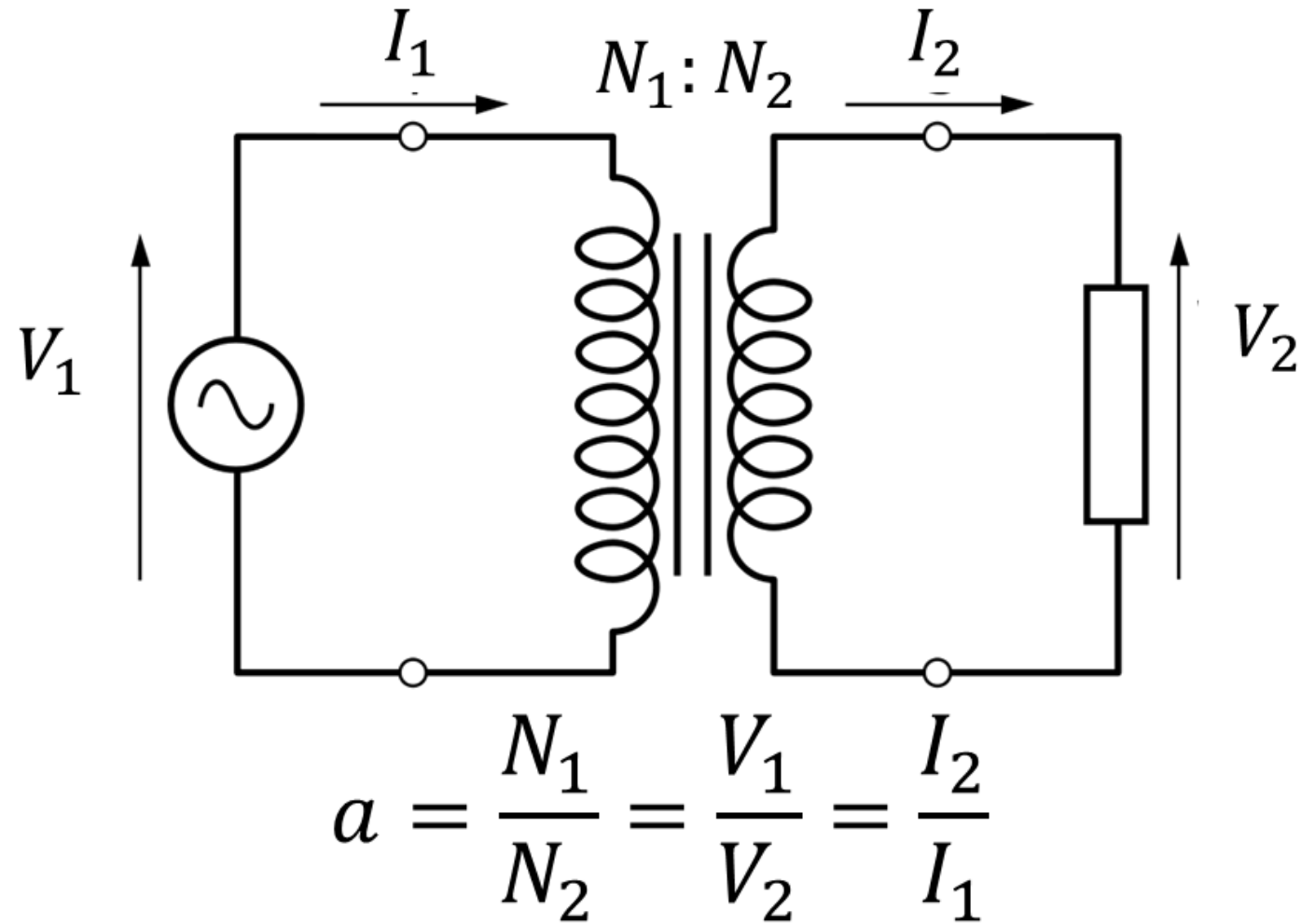


Transformadores ideais

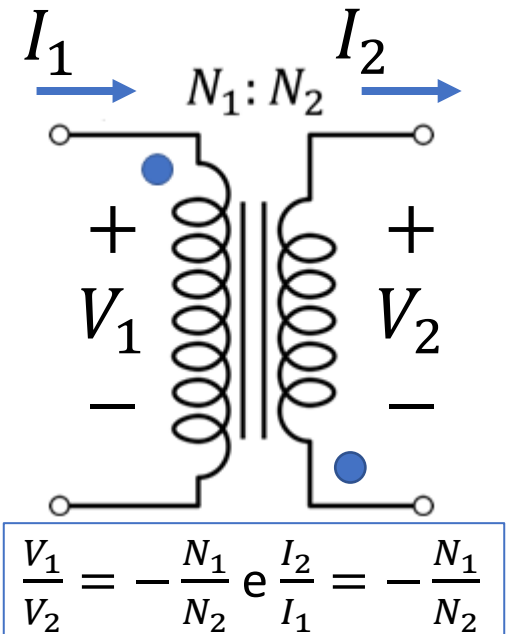
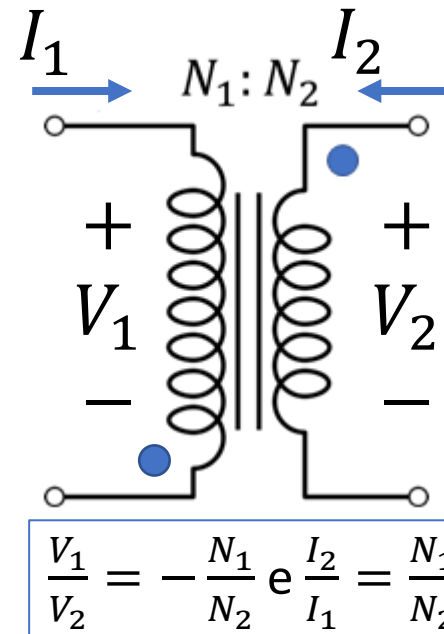
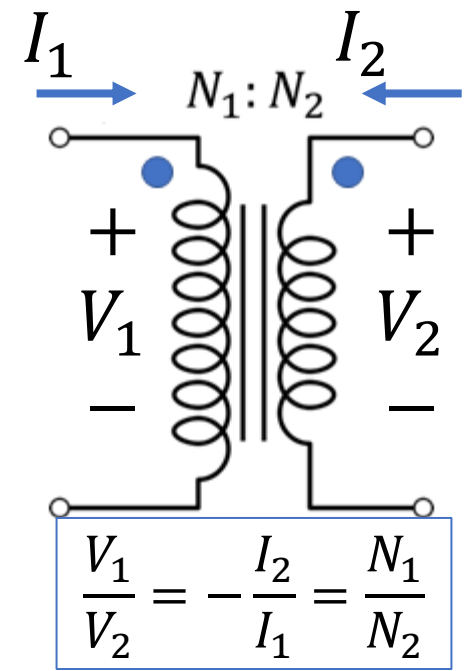
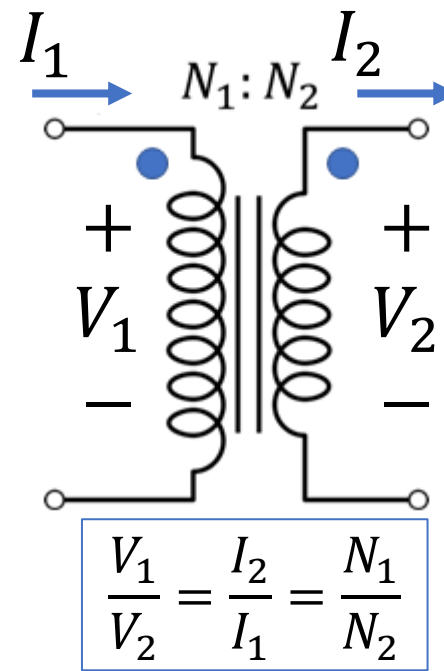
- Se $a > 1$, o transformador é abaixador de tensão ($V_1 > V_2$).
- Se $a < 1$, o transformador é elevador de tensão ($V_2 > V_1$).
- A potência no primário e no secundário são iguais:

$$S_1 = S_2$$

$$V_1 I_1^* = V_2 I_2^*$$



Transformadores ideais – Polaridades



Exercício

- Um transformador ideal possui as seguintes características nominais: 2400/120 V, 10 kVA e possui 50 espiras no enrolamento secundário. Determine:
 - a) A relação de transformação.
 - b) A quantidade de espiras no primário.
 - c) As correntes nominais do primário e do secundário.

- Solução:

$$a) a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow a = \frac{2400}{120} \rightarrow a = 20$$

$$b) a = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow N_1 = aN_2 = 20 \times 50 \rightarrow N_1 = 1000 \text{ espiras.}$$

$$c) S = V_1 I_1 = V_2 I_2 \rightarrow 10000 = 2400 \times I_1 \rightarrow I_1 = 4,17 A$$
$$S = V_2 I_2 \rightarrow 10000 = 120 \times I_2 \rightarrow I_2 = 83,33 A$$

Impedância refletida

Impedância do secundário refletida no primário:

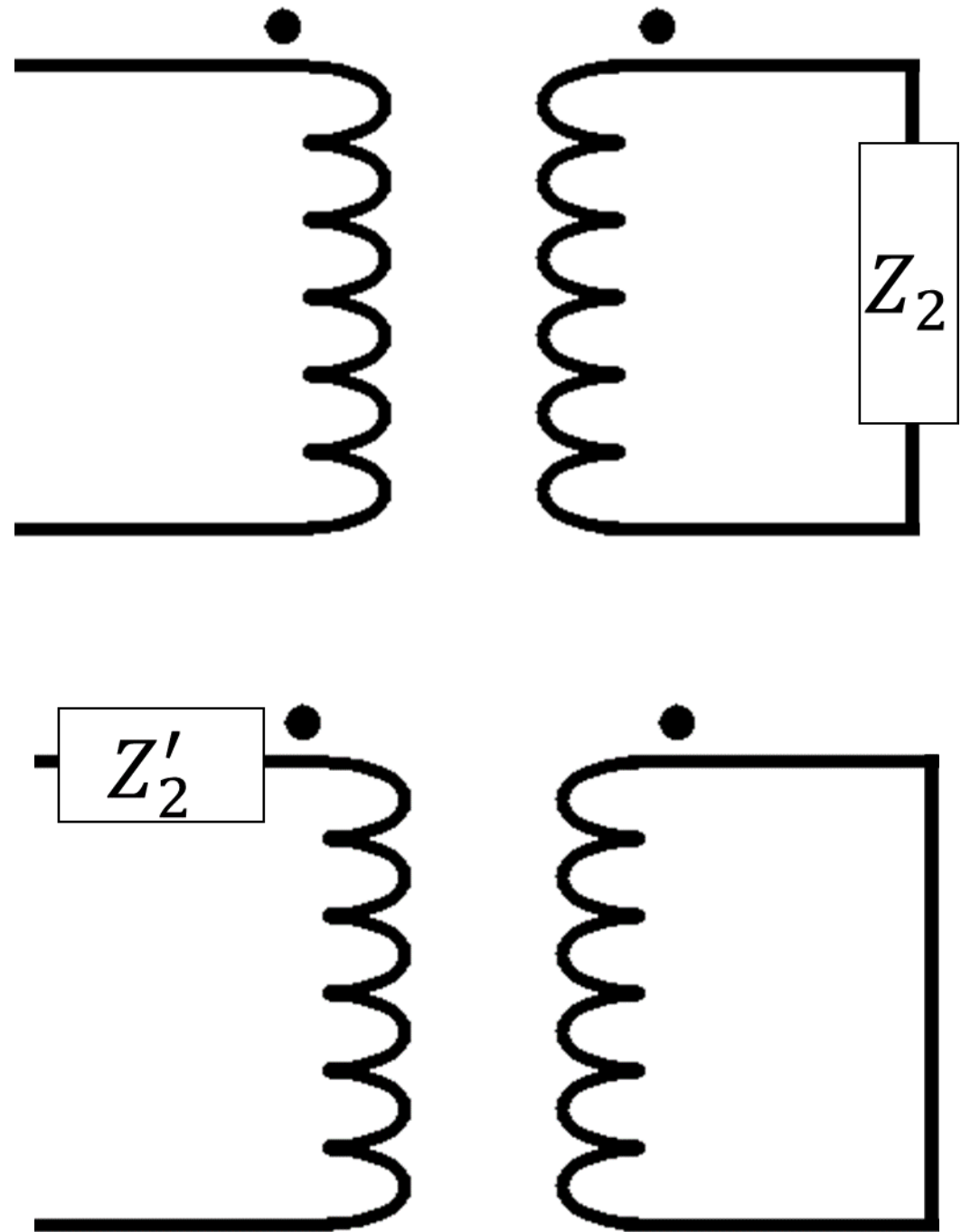
$$Z'_2 = a^2 Z_2$$

Corrente do secundário refletida no primário:

$$I'_2 = \frac{I_2}{a}$$

Tensão do secundário refletida no primário:

$$V'_2 = aV_2$$



Exercício

- Determine todas as tensões e correntes do circuito a seguir:

- Solução: $a = \frac{5}{1} = 5$
 $Z'_2 = a^2 Z_2 = 5^2 \times (2 + j2) \rightarrow Z'_2 = 50 + j50 \Omega$

Impedância equivalente no primário:

$$Z_{eq} = 20 - j5 + 50 + j50 = 70 + j45 \Omega$$

$$Z_{eq} = 83,22 \angle 32,73^\circ \Omega$$

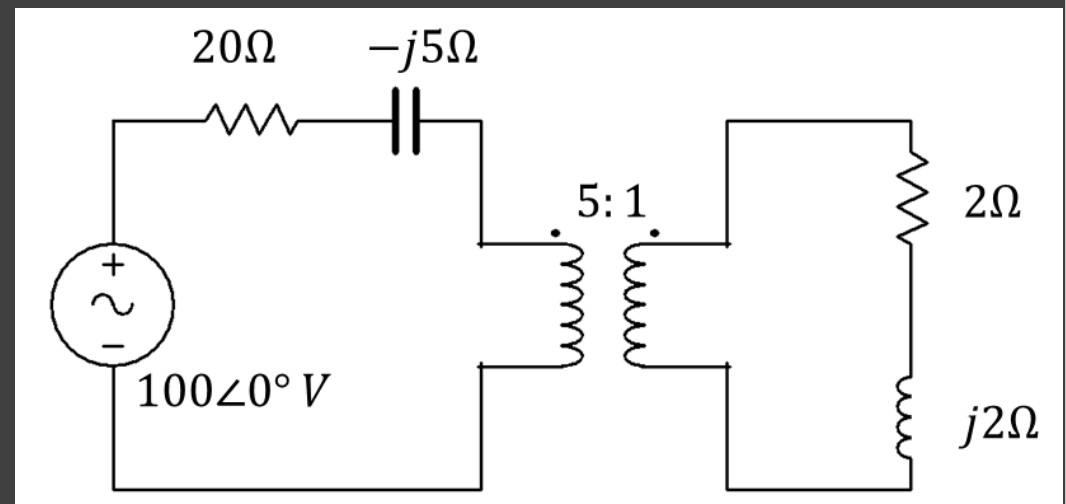
Corrente no primário:

$$I_1 = \frac{100}{83,22 \angle 32,73^\circ} \rightarrow I_1 = 1,2 \angle -32,73^\circ A$$

$$V_1 = I_1 Z'_2 = 1,2 \angle -32,73^\circ \times (50 + j50) \rightarrow V_1 = 84,97 \angle 12,2^\circ V$$

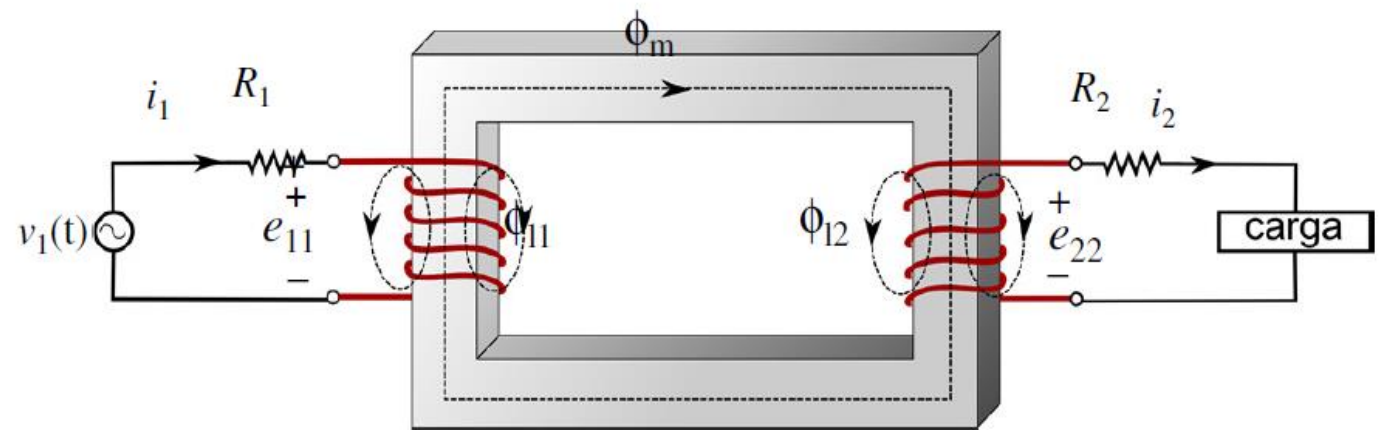
$$\text{Tensão no secundário: } V_2 = \frac{1}{a} V_1 = \frac{84,97}{5} \angle 12,2^\circ \rightarrow V_2 = 17 \angle 12,2^\circ V$$

$$\text{Corrente no secundário: } I_2 = a I_1 \rightarrow I_2 = 6 \angle -32,73^\circ A$$



Transformador real

Considerando as não idealidades.



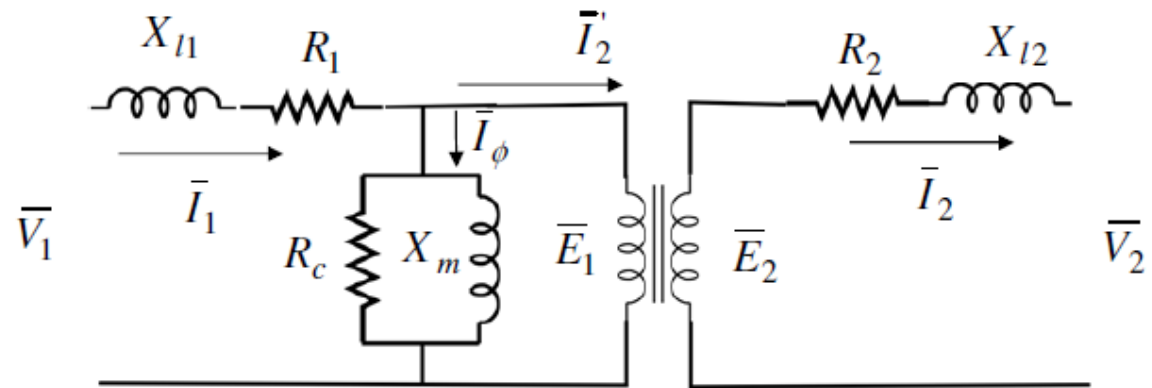
$\phi_m \rightarrow$ fluxo mútuo produzido pelo efeito combinado das correntes do primário e do secundário

$\phi_{11} \rightarrow$ fluxo de dispersão do primário

$\phi_{12} \rightarrow$ fluxo de dispersão do secundário

$R_1 \rightarrow$ resistência do enrolamento do primário

$R_2 \rightarrow$ resistência do enrolamento do secundário

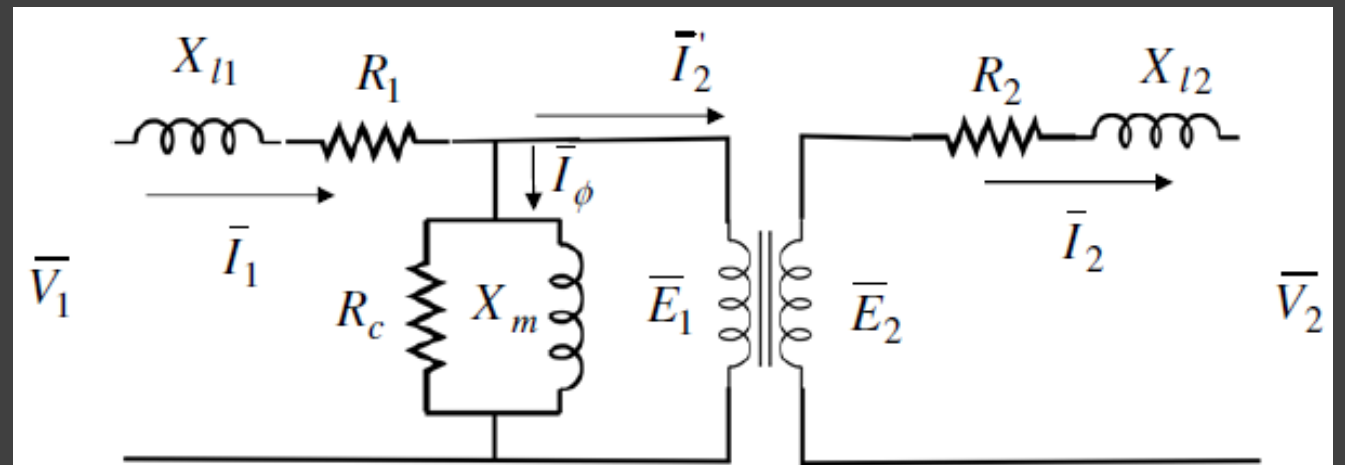


Circuito equivalente de um transformador de dois enrolamentos

Rendimento

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{perdas}}$$
$$P_{out} = V_2 I_2 \cos(\theta_2)$$

- As perdas podem ser determinadas pela potência dissipada em cada resistência do modelo do transformador:
 - Perdas no cobre: $P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$
 - Perdas no ferro: $P_C = R_C I_C^2 = \frac{E_1^2}{R_C}$



Rendimento

O transformador pode ser projetado de forma a apresentar rendimento máximo quando a corrente no secundário for próxima à nominal.

