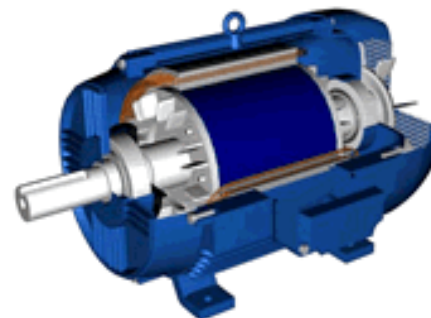
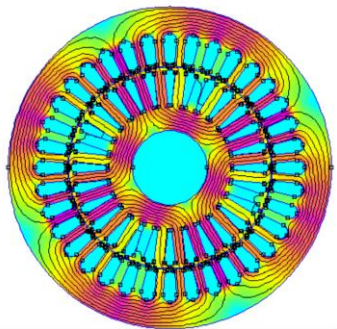


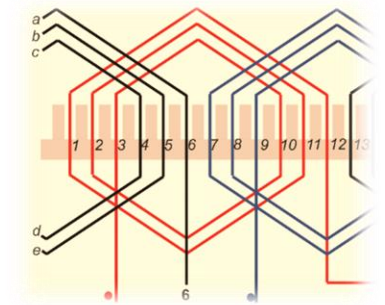
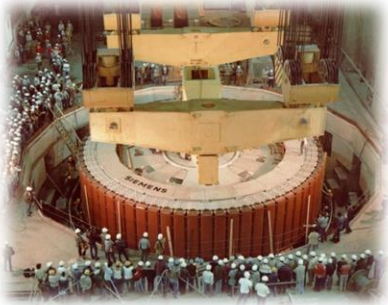
Aula 8: Circuito Equivalente de um Transformador Real

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org

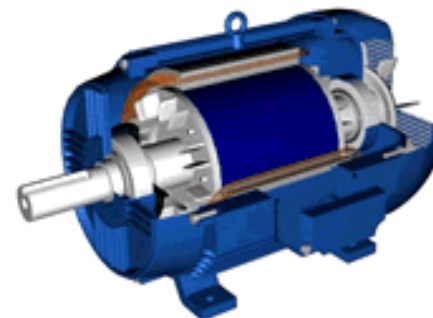
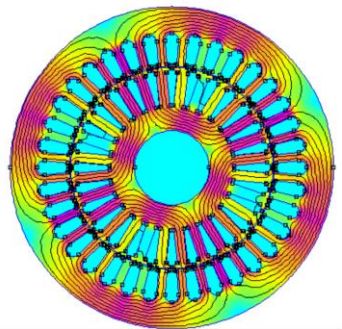


Sumário

- ❑ Não-idealidades do transformador;
- ❑ Representação elétrica;
- ❑ Circuito equivalente do transformador referido ao primário e ao secundário.



Não-idealidades



<http://www.semage.com.br/calternada.php>



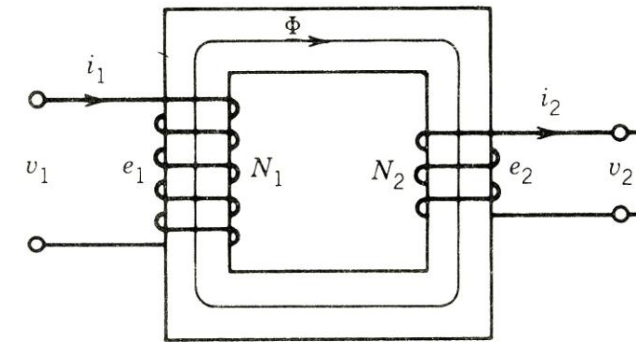
Princípio básico de funcionamento

- ❑ Transformador ideal;
 - As bobinas não apresentam resistência;
 - A permeabilidade do núcleo magnético é infinita.
- ❑ Conclusão: Não existem perdas nem dispersão do fluxo;
- ❑ Sob estas condições pode-se obter que:

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

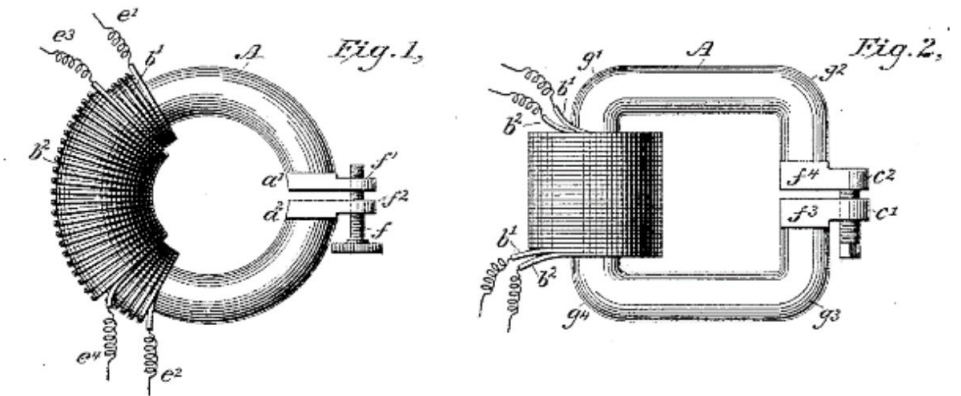


P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

Onde a é denominado relação de espiras ou relação de transformação do transformador.

Transformador real

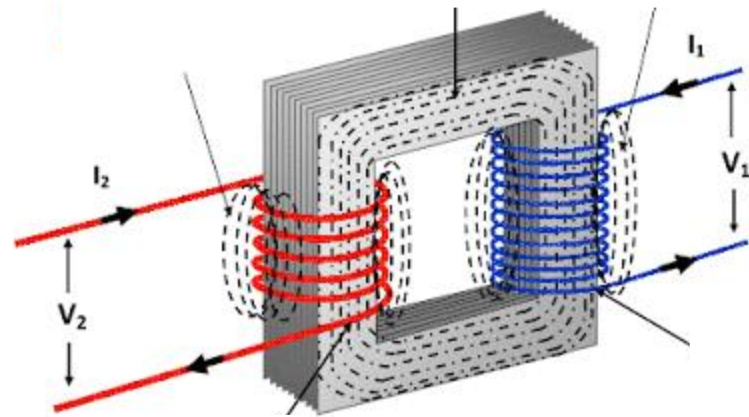
- ❑ As bobinas apresentam resistência elétrica;
- ❑ Existe dispersão do fluxo magnético;
- ❑ Existem perdas magnéticas.



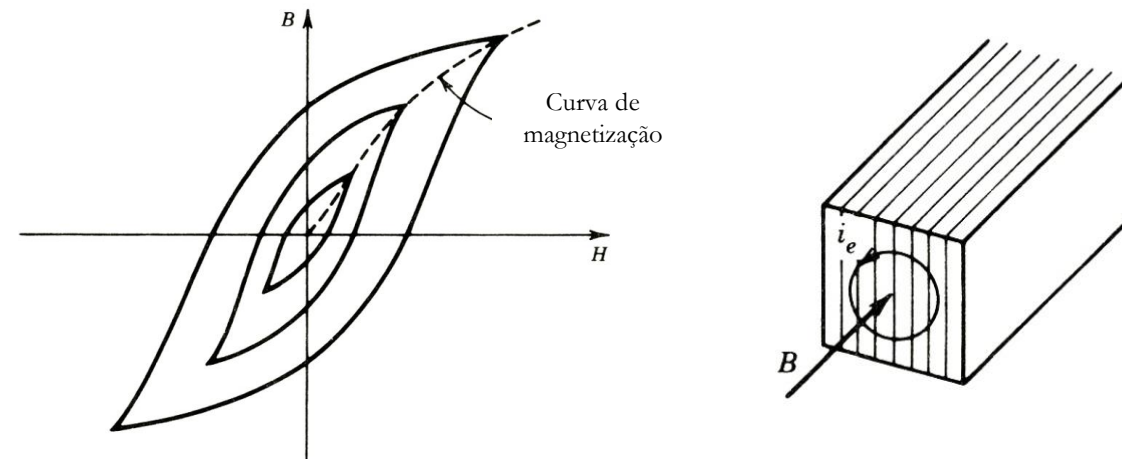
Patented Sept. 21, 1886.

No. 349,611.

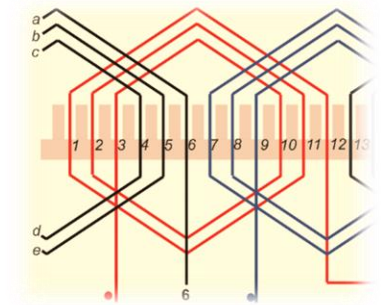
W. Stanley Jr. "Induction Coil". U.S. Patent.



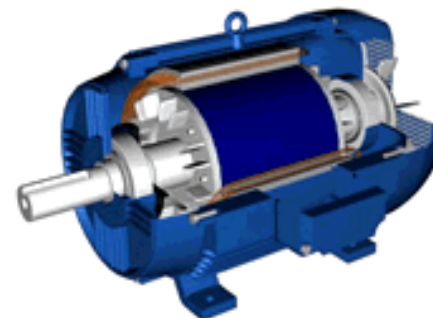
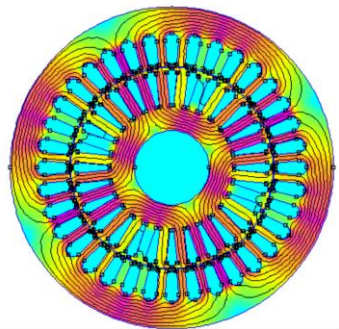
<http://www.electricalunits.com/magnetic-leakage-of-transformer/>



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".



Obtenção do circuito equivalente



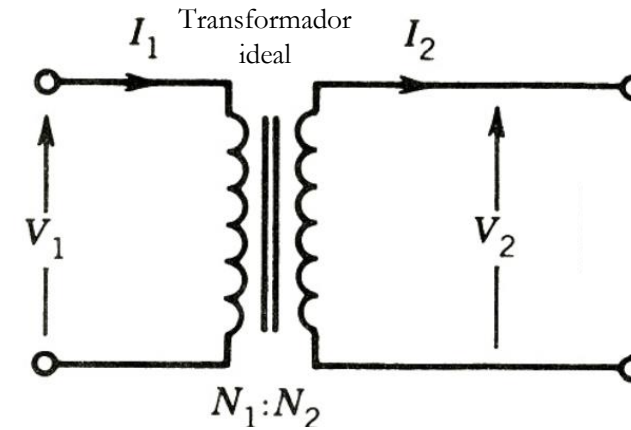
<http://www.semage.com.br/calternada.ph>



Transformador Ideal



Fonte: Cootrans.



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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

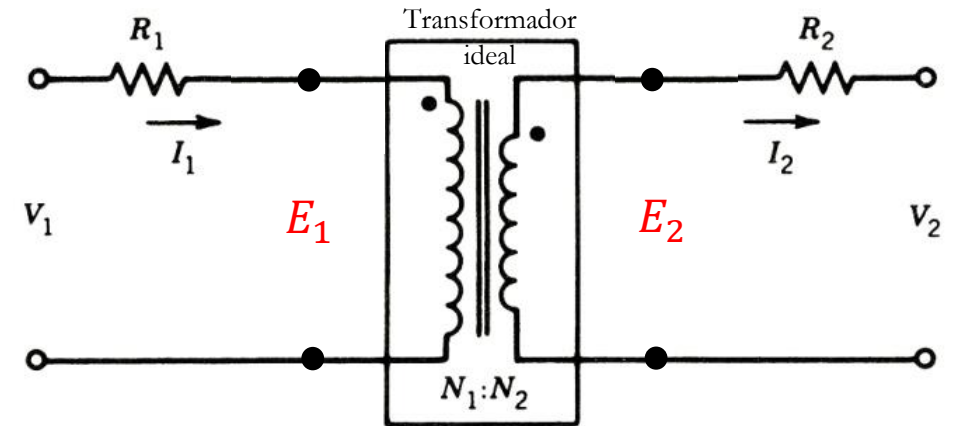
$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

Parte 1 – Inclusão das resistências dos enrolamentos



Fonte: Cootrans.



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

$$V_1 I_1 \neq V_2 I_2$$

Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

Parte 2 – Inclusão da dispersão

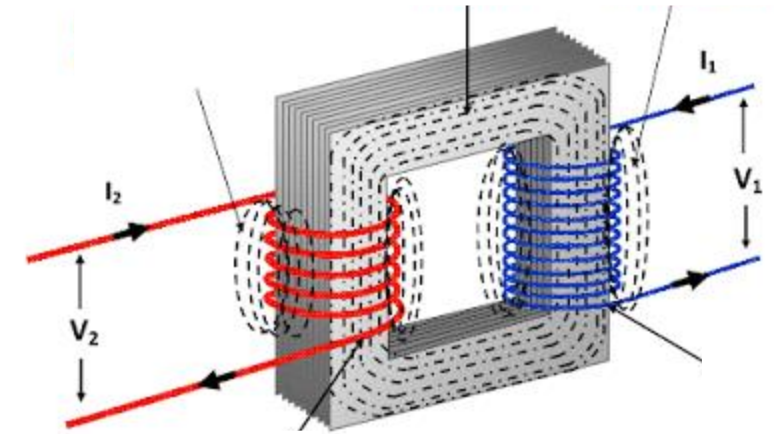
❑ Efeito da dispersão: menos fluxo circula no circuito magnético;

❑ Se a amplitude do fluxo cai, a variação do fluxo cai;

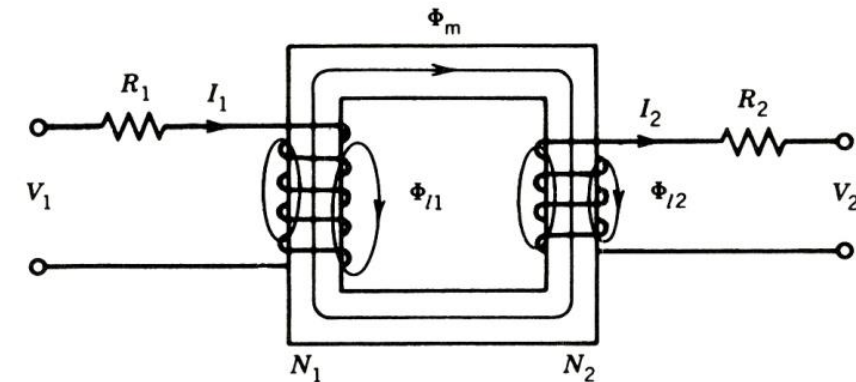
❑ Portanto, menos tensão é induzida;

$$V = -N \frac{d\phi}{dt}$$

❑ Efeito da dispersão: Queda de tensão.



<http://www.electricalunits.com/magnetic-leakage-of-transformer/>

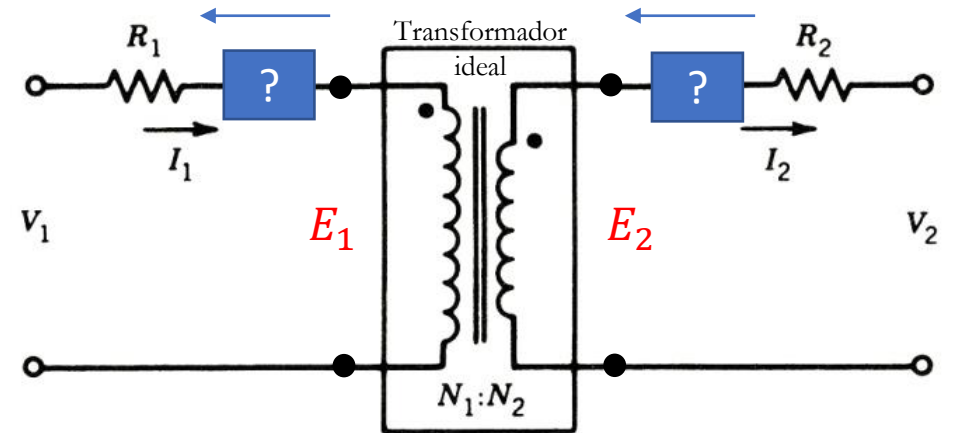


Fonte: P. C. Sen. “Principles of Electrical Machines and Power Electronics”.

Parte 2 – Inclusão da dispersão



Fonte: Cootrans.



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

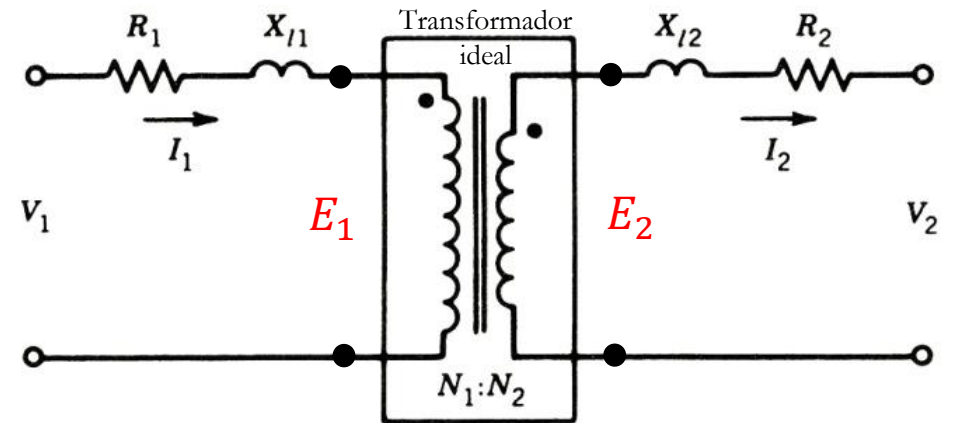
- O elemento misterioso deve ocasionar uma queda de tensão;
- Não existe perda de potência neste elemento;
- Estamos analisando um circuito magnético;
- Quem é este elemento?

INDUTÂNCIA

Parte 2 – Inclusão da indutância de dispersão



Fonte: Cootrans.



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

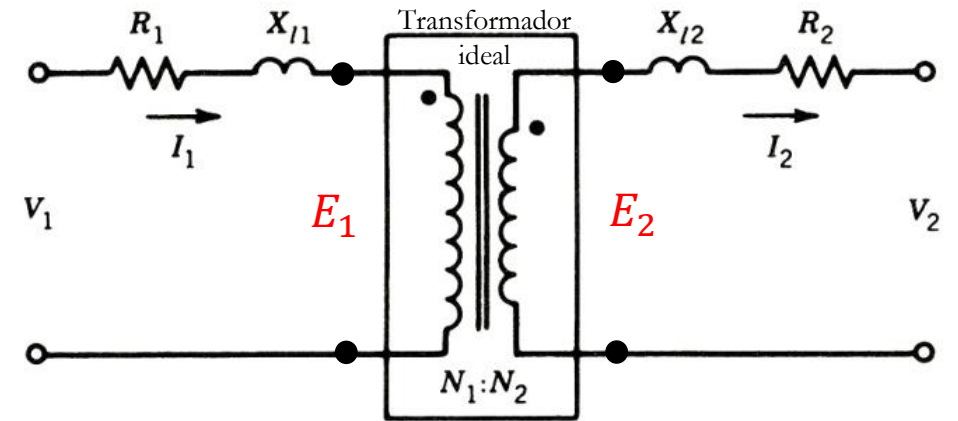
$$V_1 I_1 \neq V_2 I_2$$

Dilema aparente

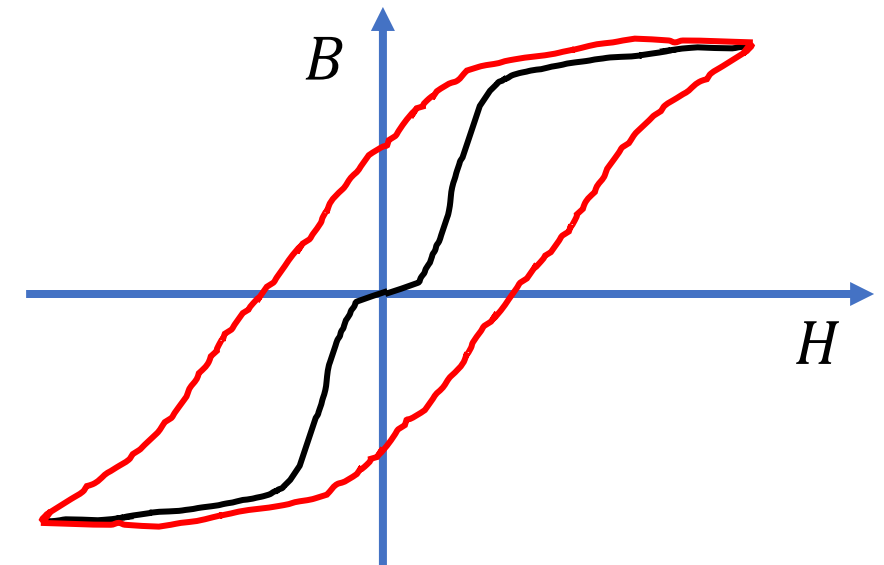
- Para o circuito que temos até agora tem-se:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

- Portanto, se $I_2 = 0$ (transformador sem carga), $I_1 = 0$;
- Isto entra em conflito com o conceito da curva de magnetização (para existir fluxo, deve existir corrente);
- Como resolver este dilema?



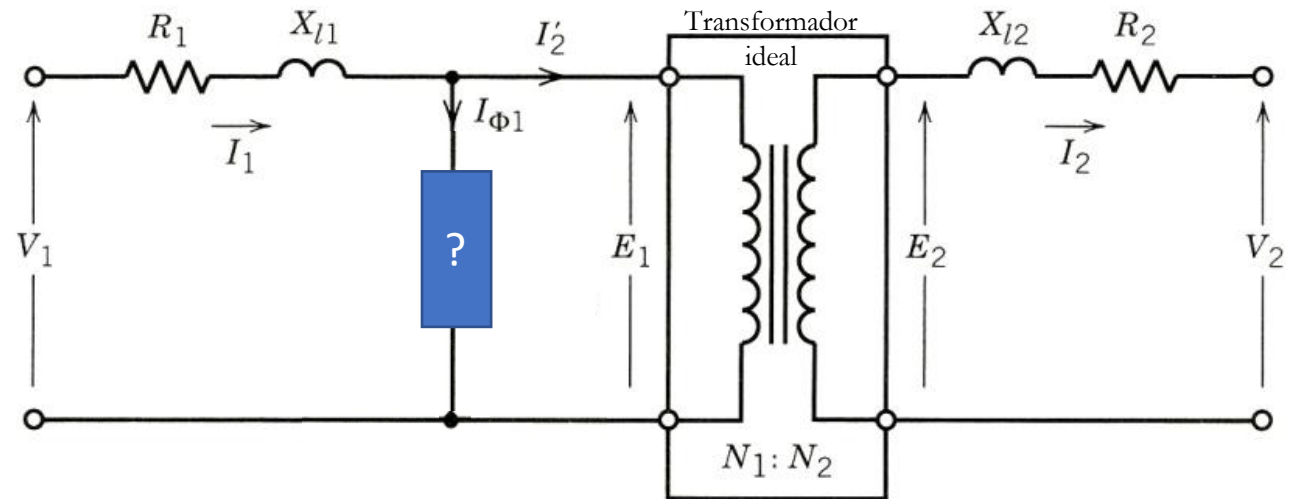
Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".



Parte 3 - Inclusão da corrente de magnetização



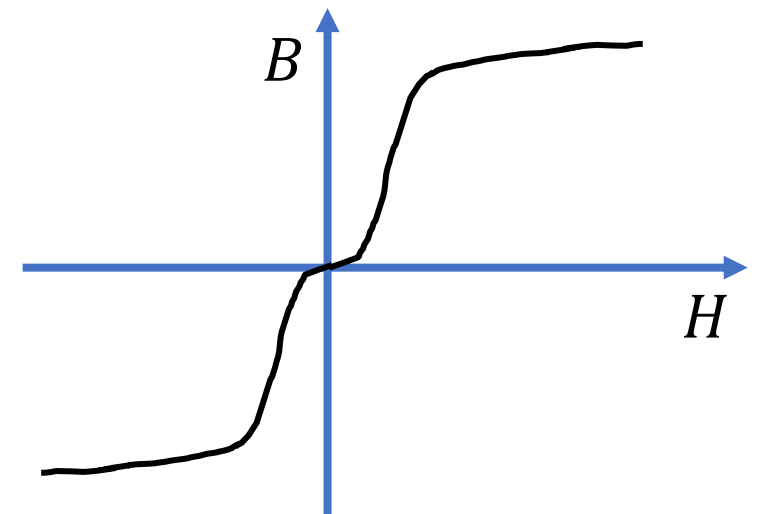
Fonte: Cootrans.



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

- O elemento misterioso proporciona um caminho alternativo a passagem de corrente;
- Se o material não sofre histerese nem perdas por corrente parasitas, o processo de magnetização não tem perdas;
- Quem é este elemento?

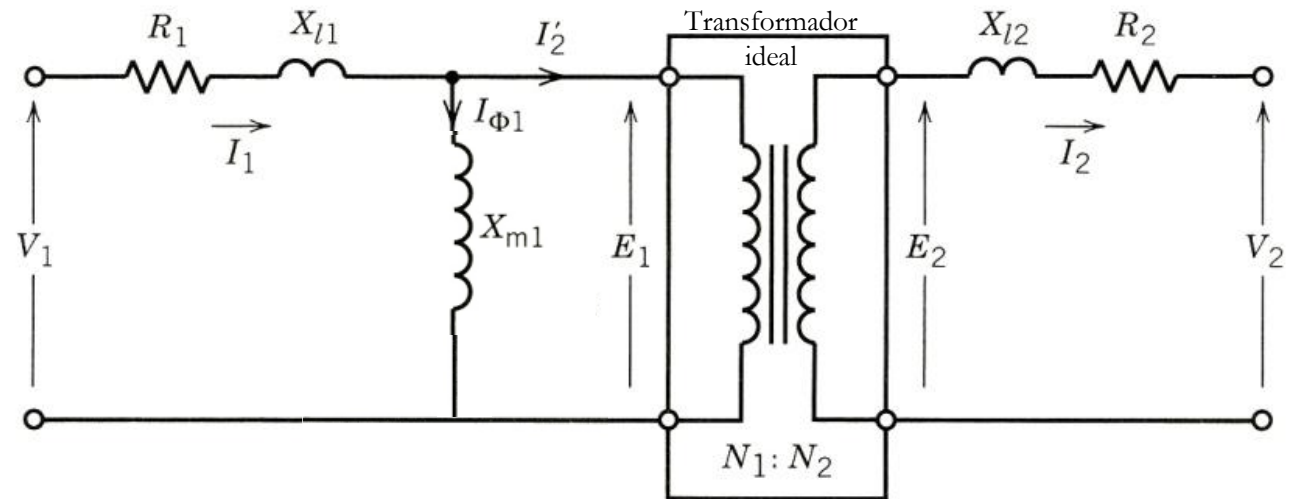
INDUTÂNCIA



Parte 3 - Inclusão da indutância de magnetização



Fonte: Cootrans.



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

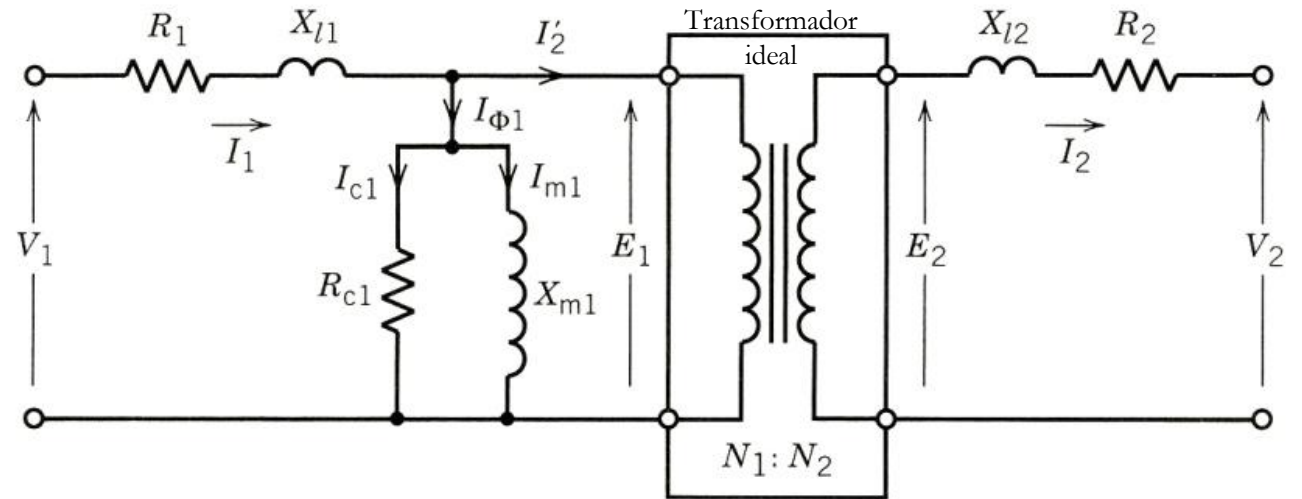
$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

$$V_1 I_1 \neq V_2 I_2$$

Parte 4 - Inclusão das perdas magnéticas



Fonte: Cootrans.



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

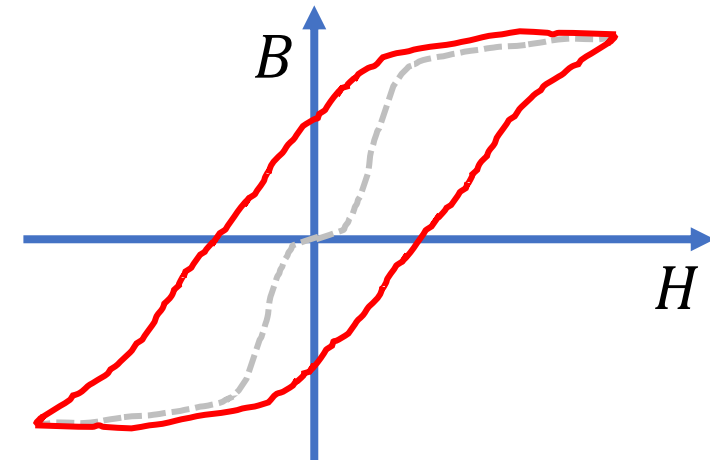
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$


$$V_1 I_1 \neq V_2 I_2$$

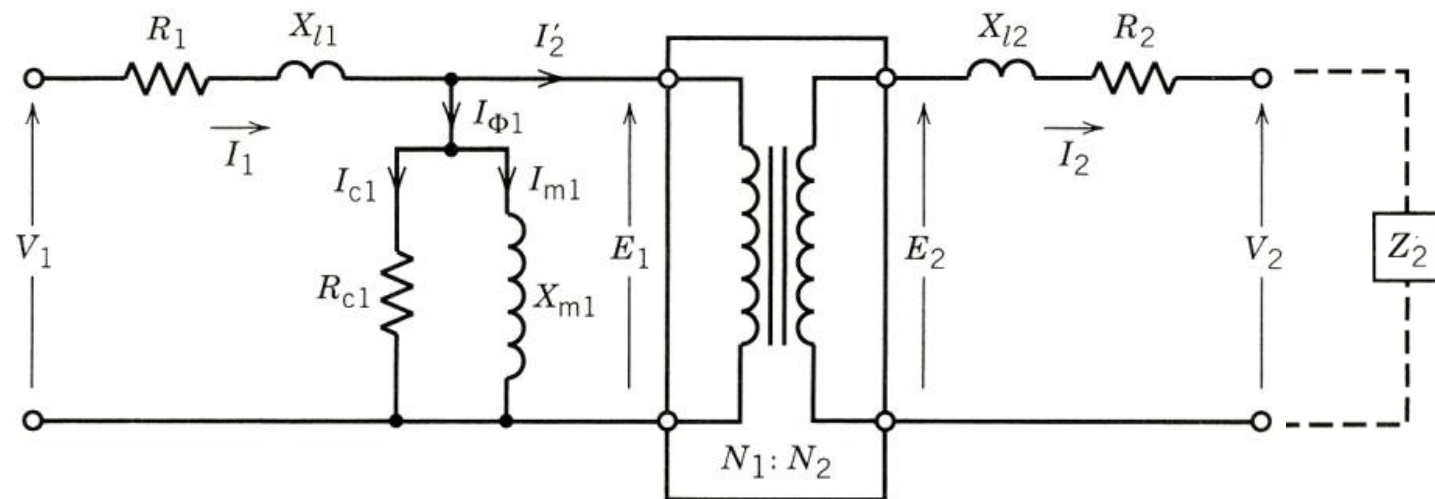
$$I_1 = I_{\Phi 1} + I'_2$$

$$I_{\Phi 1} = I_{m1} + I_{c1}$$

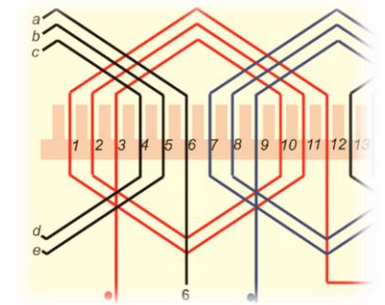


Notas importantes

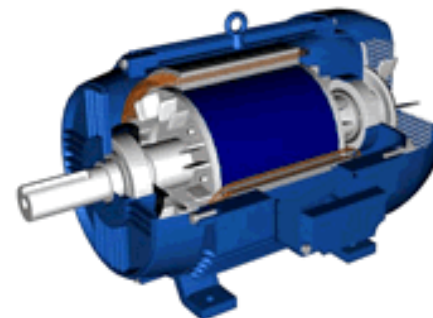
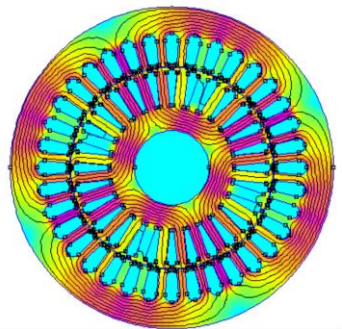
- ❑ I_ϕ : Corrente de magnetização \rightarrow menor que 5% da corrente nominal;
- ❑ O circuito equivalente é um **modelo** do transformador;
- ❑ A corrente de I'_2 não existe separadamente de I_ϕ . 



Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".



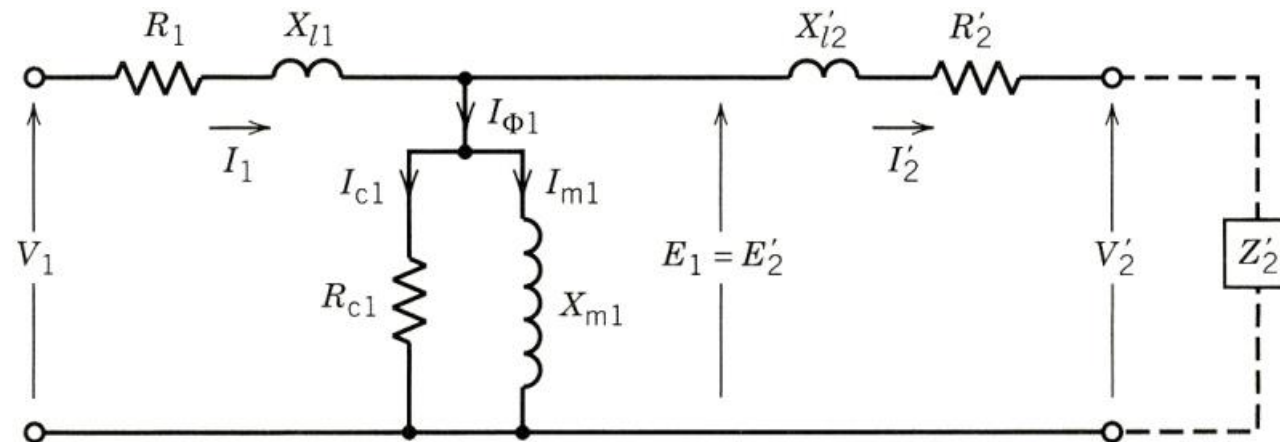
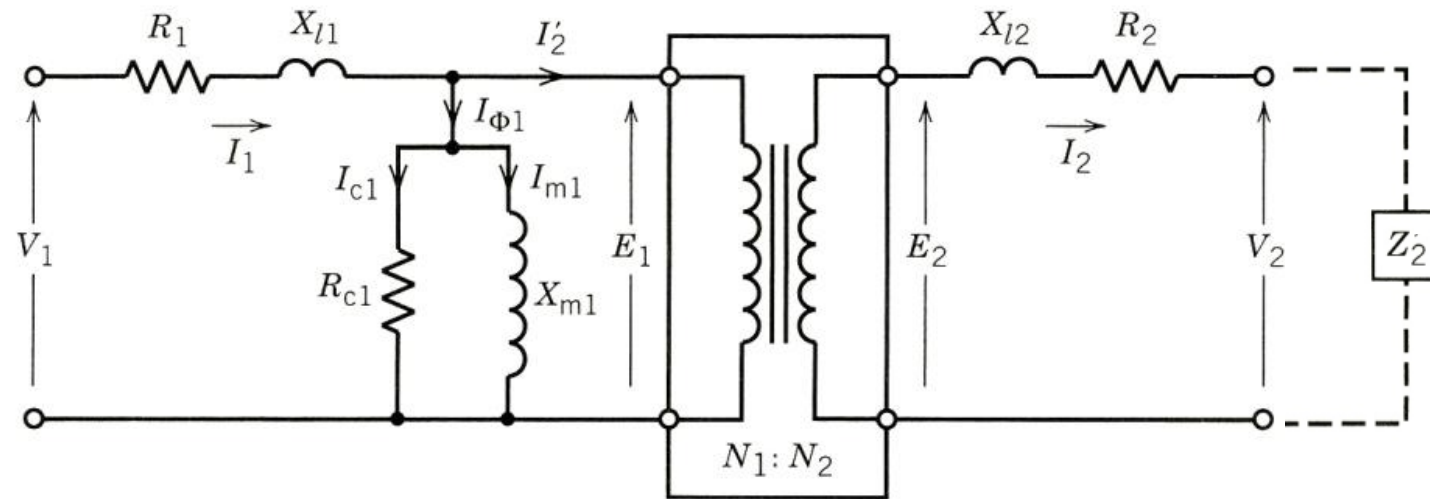
Circuito equivalente referido ao primário e ao secundário



<http://www.semage.com.br/calternada.ph>

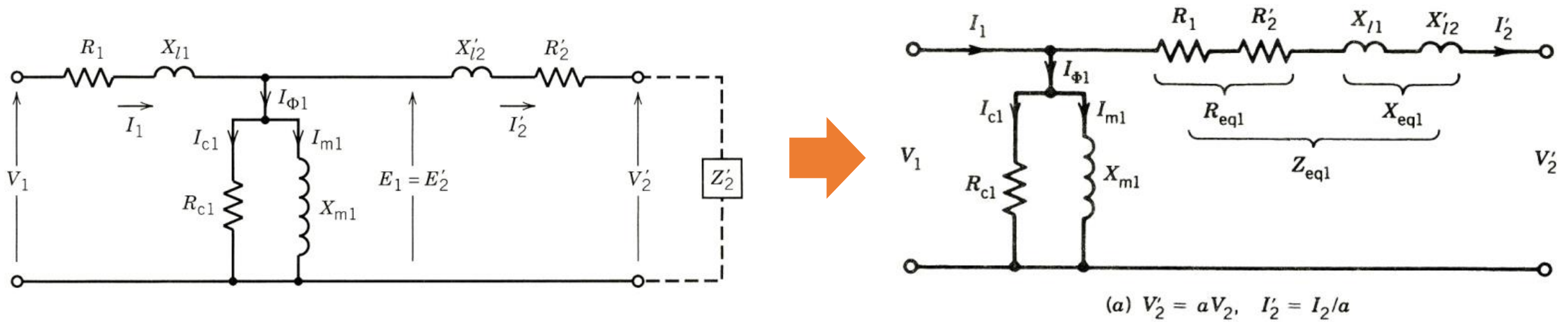


Exemplo – Resolução de um circuito com transformador



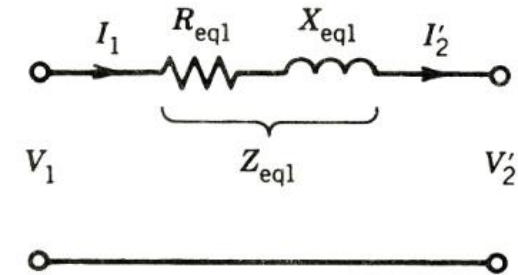
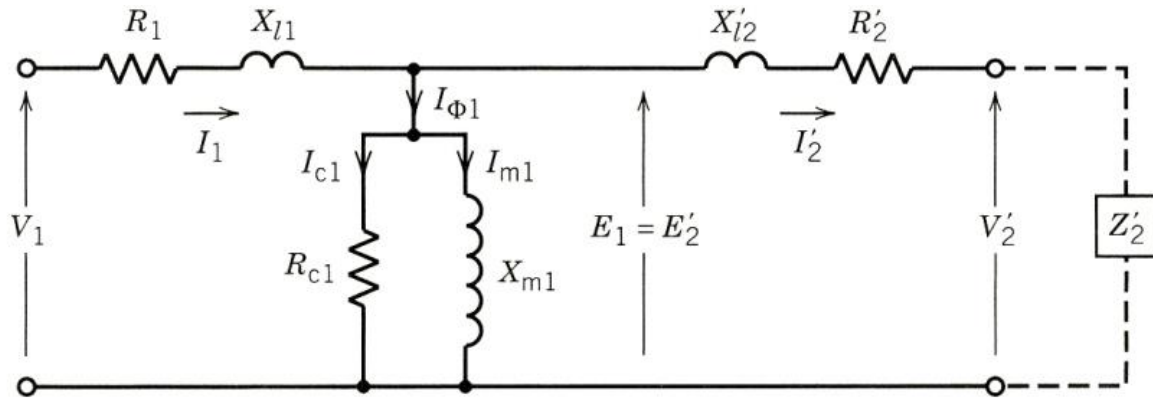
Fonte: P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics".

Circuito equivalente aproximado (1)



□ Útil para cálculo dos parâmetros do transformador a partir de ensaios.

Circuito equivalente aproximado (2)



□ Útil para estimativa da regulação de tensão do transformador e fluxo de potência.

Obrigado pela Atenção



www.gesep.ufv.br



<https://www.facebook.com/gesep>



https://www.instagram.com/gesep_vicosa/



https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh_hDBIcxMU2Nw



Estimate - Sistemas
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>