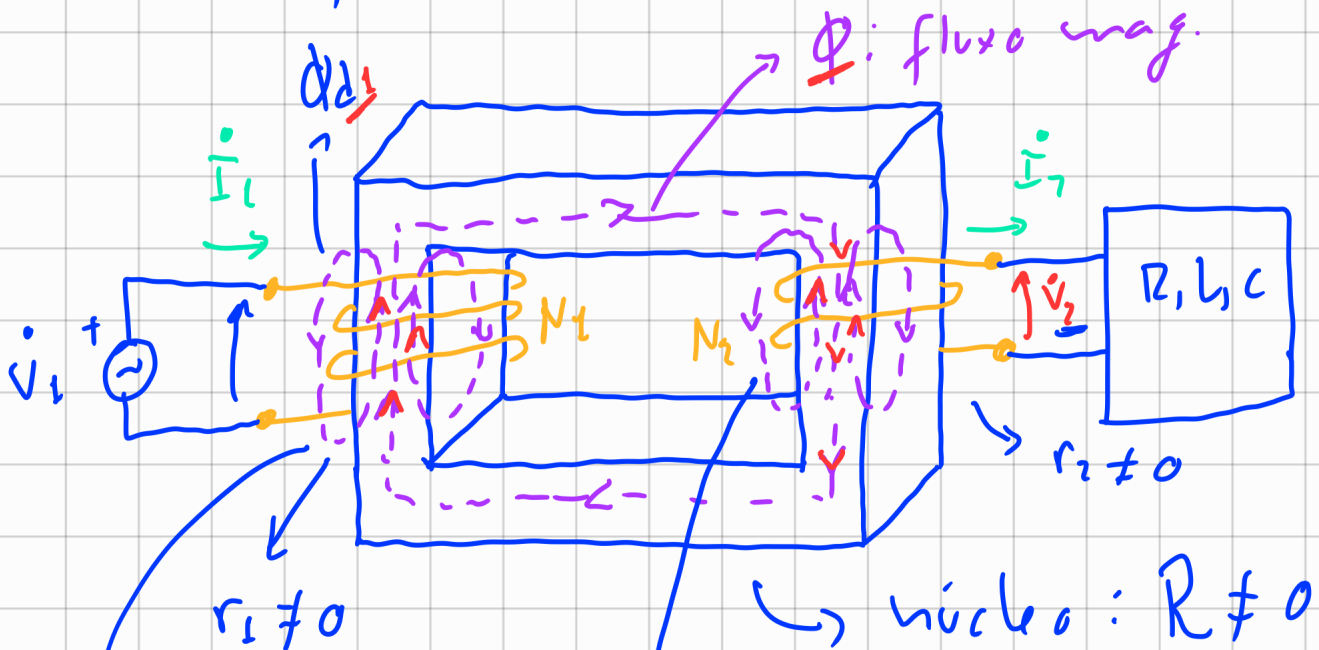


Transformadores reais



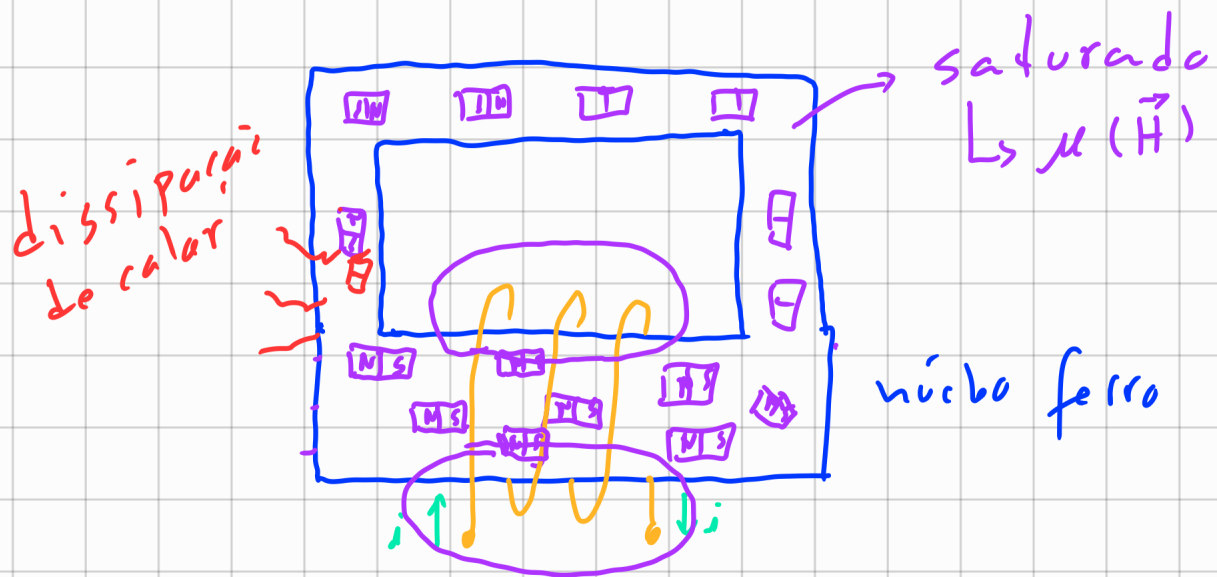
1) $\rightarrow \Phi_d$: fluxo de dispersão

2) Perdas no núcleo (ferro)

Dois tipos \rightarrow histerese
 \rightarrow correntes parasitas (Foucault)

2.1) Histerese: $\vec{B} = \mu \vec{H}$

\rightarrow permeabilidade magnética do núcleo.



↳ Perda de área da curva de potência ativa (calor)

2.2) Perdas por correntes parasitas (Foucault)



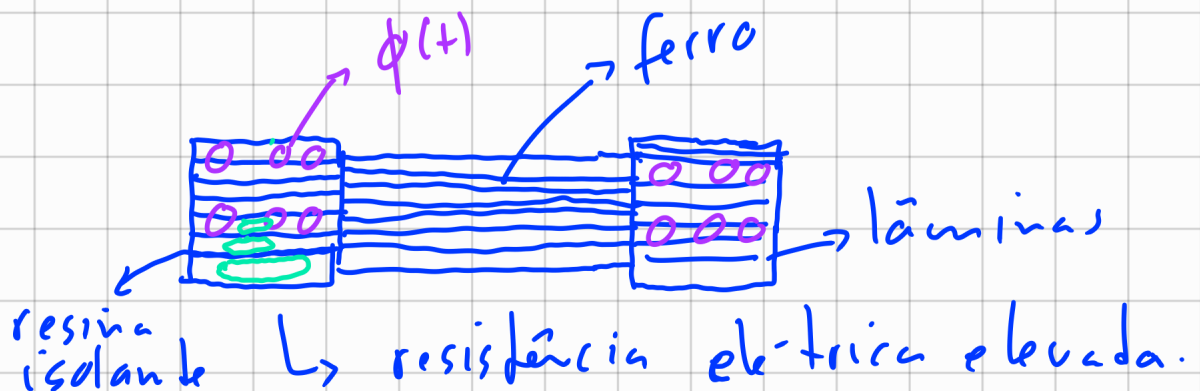
- ↳ produzindo aquecimento no núcleo.
- ↳ perda de potência ativa

O que podemos fazer p/ diminuir a corrente parasita?

- ↳ Aumentando a resistência elétrica do núcleo.

$$R = \frac{l}{\mu A}$$

Solução: fazer a laminação do núcleo -



Perda total no núcleo : perda histerese +
perda por Foucault

↳ R_m : resistência elétrica representando
as perdas por histerese e foucault.

Desenvolvimento do circuito equivalente do
transformador real

Vimos : $\phi = \frac{N_1 i_1 - N_2 i_2}{R}$
 $R \rightarrow$ relutância do núcleo.

Fluxo concatenado com a bobina do primário :

$$\lambda_L = N_1 \phi + N_1 \phi_{d1} \rightarrow \phi_{d1} = \frac{N_2 i_2}{R_{ar}}$$

$$\lambda_L = \frac{N_1^2}{R} i_1 - \frac{N_1 N_2}{R} i_2 + \frac{N_1^2}{R_{ar}} i_1$$

Lei de Faraday-Lenz : $v_L(t) = \frac{d\lambda_L(t)}{dt}$

Em fasores :

$$\dot{V}_1 = j\omega \frac{N_1^2}{R_{ar}} \dot{I}_1 + j\omega \frac{N_1^2}{R} \dot{I}_1 - \left(\frac{N_1}{N_2}\right) j\omega \frac{N_1 N_2}{R} \dot{I}_2 + \underbrace{r_1 \dot{I}_1}_{\text{resistência elétrica da bobina}}$$

$\omega \cdot L_d = X_{d1}$ $\omega \cdot X_1$
 ↳ reatância de magnetização do núcleo

$$\dot{V}_1 = jX_{d1} \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - j \frac{\omega N_1}{R} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \dot{I}_2 + r_1 \dot{I}_1$$

X_1 $\frac{1}{a}$

$$\dot{V}_1 = jX_{d1} \dot{I}_1 + jX_1 \left(\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{a} \right) + r_1 \dot{I}_1$$

Agora p/ o secundário:

$$\lambda_2 = N_2 \phi - N_2 \phi_{d2}$$

$$\lambda_2 = \frac{N_2 N_1}{R} i_1 - \frac{N_2^2}{R} i_2 - \frac{N_2^2}{R_{ar}} i_2$$

Tensão induzida (em fasores)

$$\dot{V}_2 = j\omega \frac{N_2 N_1}{R} \dot{I}_1 - j\omega \frac{N_2^2}{R} \dot{I}_2 - j\omega \frac{N_2^2}{R_{ar}} \dot{I}_2 - r_2 \dot{I}_2$$

Multiplicando ambos os lados por "a" = $\frac{N_1}{N_2}$

$$a \dot{V}_2 = j\omega \frac{N_1^2}{R} \dot{I}_1 - j\omega \frac{N_1 N_1 N_2}{N_1 R} \dot{I}_2 - j\omega \frac{N_1 N_1 N_2}{N_1 R a} \dot{I}_2 - a r_2 \dot{I}_2$$

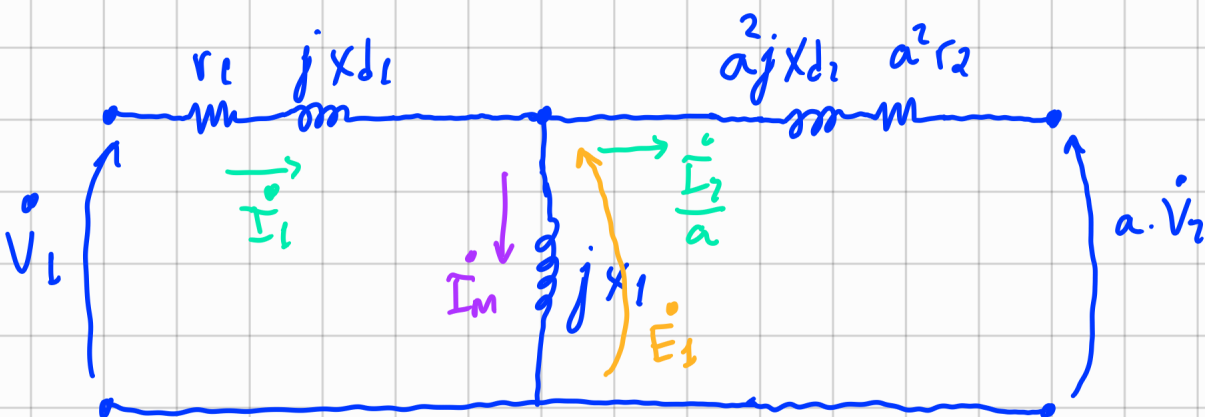
$$a \dot{V}_2 = j X_1 \left(\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{a} \right) - j\omega \frac{N_1^2}{R a} \dot{I}_2 - a^2 r_2 \frac{\dot{I}_2}{a}$$

$$a^2 \left(\frac{N_1^2}{R} \right) \frac{N_2^2}{N_2^2} \rightarrow \omega \frac{N_2^2}{R a} = X_{d2}$$

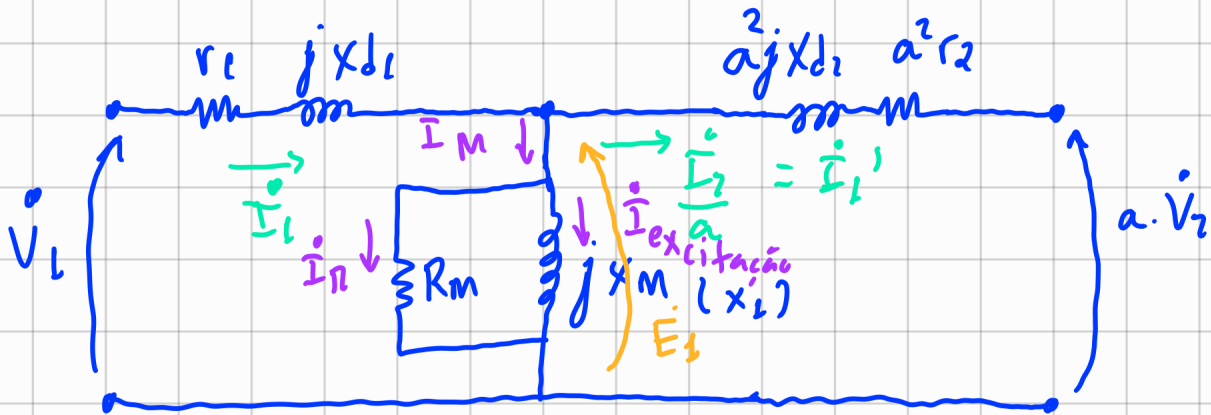
$$a \dot{V}_2 = j X_1 \left(\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{a} \right) - a^2 (r_2 + j X_{d2}) \frac{\dot{I}_2}{a}$$

Expressão copiada por conveniência

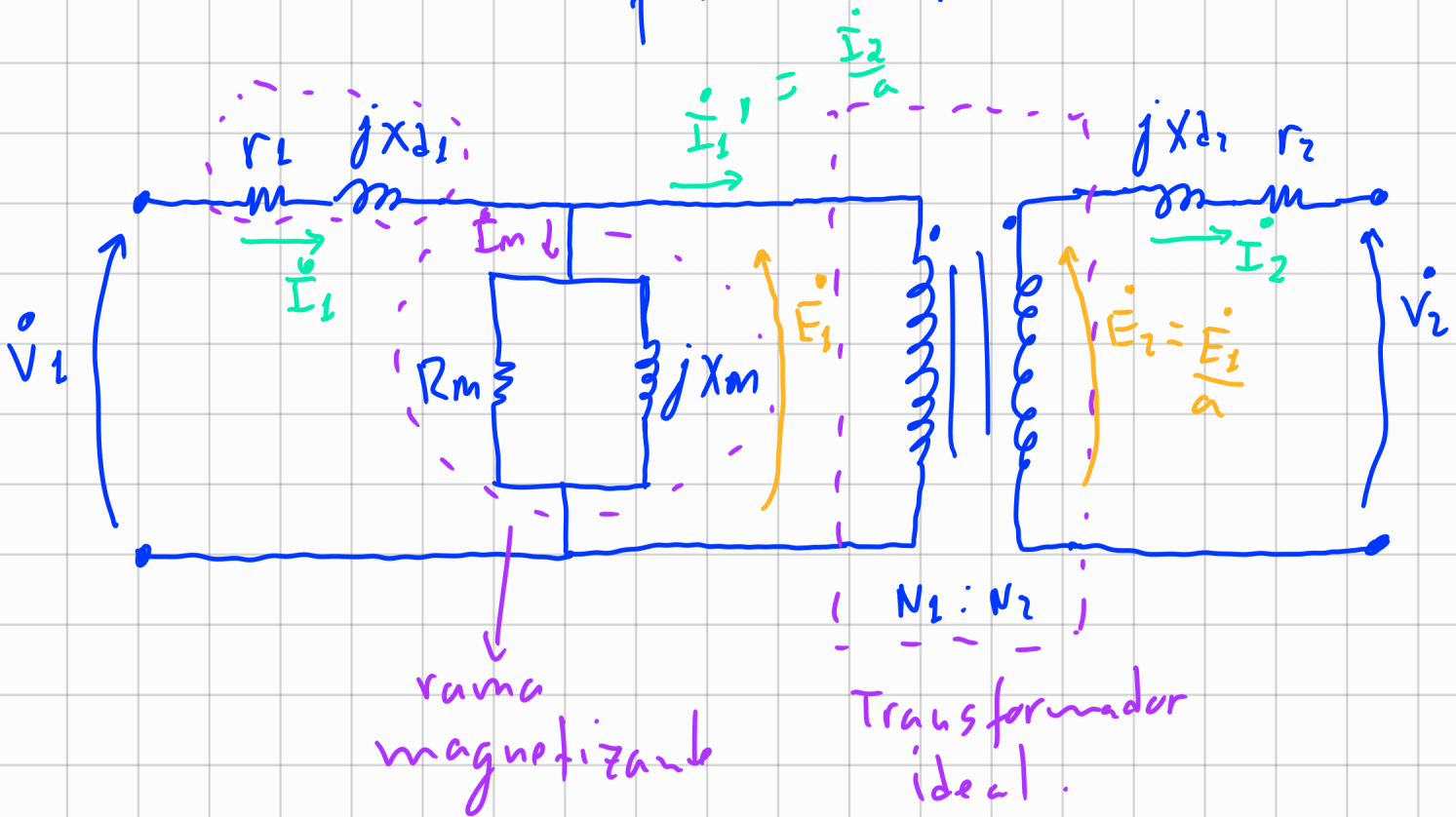
$$\dot{V}_1 = j X_{d1} \dot{I}_1 + j X_1 \left(\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{a} \right) + r_1 \dot{I}_1$$



Circuito equivalente completo:



Incluindo o transformador ideal:



r_1 : resistência elétrica da bobina do primário
 X_{d1} : reatância de dispersão de fluxo no primário

r_2 : resistência elétrica da bobina do secundário
 x_{d2} : reatância de dispersão de fluxo no secundário.

R_m : resistência que representa as perdas por histerese e Foucault no núcleo.

$X_m (X_l)$: reatância indutiva que representa a magnetização do núcleo do transformador.