

Máquinas Eléctricas II

Transformadores

Introdução

- Os transformadores são dos aparelhos eléctricos mais comuns, dado que permitem:
 - Alterar os valores de tensão e corrente.
 - Isolar galvanicamente vários circuitos eléctricos.
 - Alterar o “valor aparente” de uma impedância

Força Electromotriz induzida

- Numa bobina de N espiras, mergulhada num fluxo alternado sinusoidal, induz-se uma f.e.m. sinusoidal

$$e(t) = N \frac{d\phi(t)}{dt}$$

- O valor eficaz será:

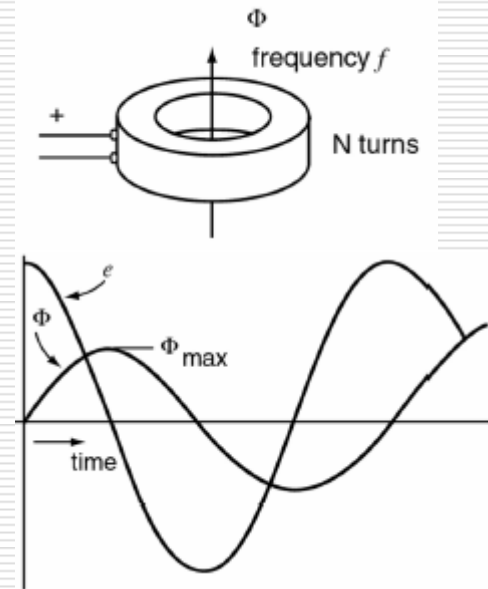
$$E = \sqrt{2} \pi f N \Phi_{\max} = 4.44 f N \Phi_{\max}$$

- Em que

- f é a frequência

- Φ_{\max} é o valor de pico do fluxo, tal como em

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin(2\pi f t + \phi)$$

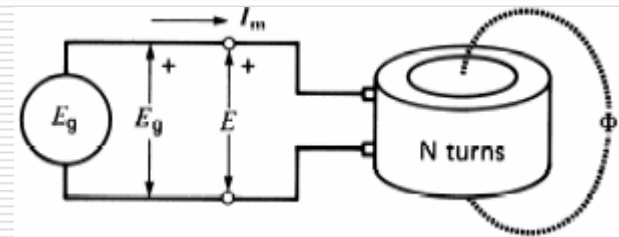


- O valor de pico tem interesse na análise da saturação e perdas dos núcleos ferromagnéticos

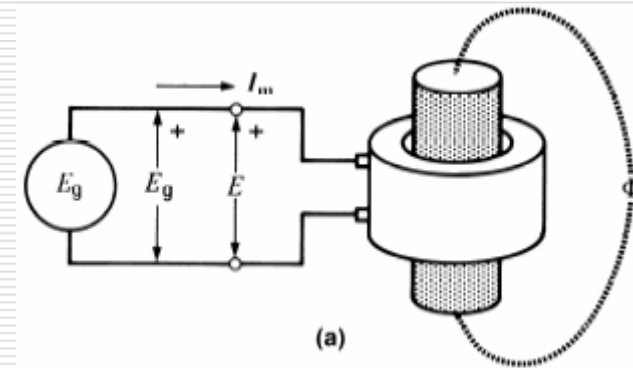
$$\Phi_{\max} = B_{\max} A_{\text{core}}$$

Tensão aplicada

- Considere uma bobina alimentada por uma fonte AC:
 - As resistências da fonte e da bobina são desprezáveis
 - A fem induzida E tem de igualar a tensão aplicada (leis de Kirschof)
 - Tem de existir um fluxo alternado para gerar E na bobina
 - Φ_{\max} varia na proporção de E_g
 - Colocar um núcleo ferromagnético não alterará o fluxo
 - A corrente de magnetização cria o fluxo
 - Está atrasada 90° em relação à tensão
 - Com um núcleo magnético é necessária uma menor corrente de magnetização



$$\Phi_{\max} = \frac{E_g}{4.44 f N}$$



Fem induzidas

□ Exemplo

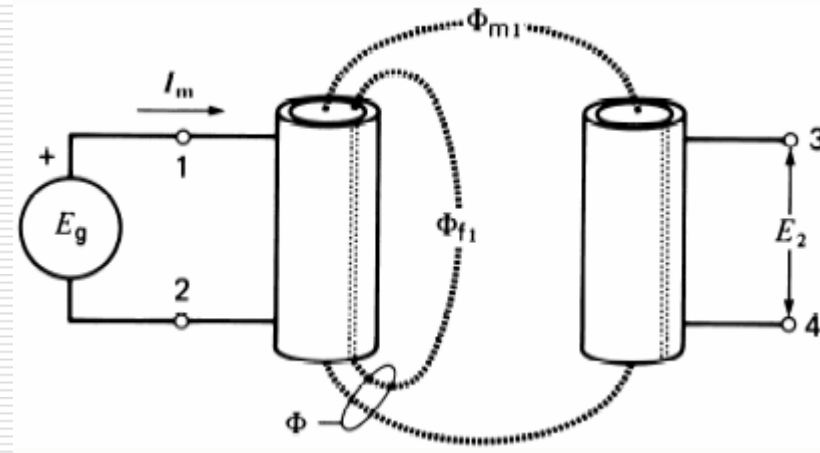
- Uma bobina, de 4000 espiras, abraça um fluxo de 60Hz de 2mWb de pico.
 - Calcule o valor eficaz da fem induzida
 - Qual é a frequência da fem induzida?

□ Exemplo

- Uma bobina, com 90 espiras, está ligada a uma fonte de 120 V, 60 Hz.
- A corrente tem um valor eficaz de 4A
 - Calcule o valor de pico do fluxo e da *fmm*
 - Calcule a *Indutância L* e a *reactância Indutiva XL* da bobina

Transformador Elementar

- Considere uma bobina com núcleo de ar
 - Alimentada por uma fonte AC
 - Absorve uma corrente I_m
 - Produz um fluxo total Φ
- Uma 2.ª bobina é colocada junto da 1.ª
 - Uma parte do fluxo Φ_{m1} abraça a 2.ª bobina (fluxo mútuo)
 - Uma fem alternada E_2 é induzida
 - O fluxo que abraça apenas a 1.ª bobina, chama-se fluxo de fugas Φ_{f1} .
- Melhoria da ligação magnética
 - Núcleo magnético, com enrolamentos concêntricos
 - Uma fraca ligação, induz pouca E_2



- A corrente de magnetização produz os 2 fluxos (Φ_{m1} e Φ_{f1}).
 - Os fluxos estão em fase
 - As fem E_g e E_2 estão em fase
 - Diz-se que os terminais têm a mesma polaridade quando as correspondentes f.e.m. estão em fase.

Transformador Ideal

- O transformador Ideal
 - Não tem perdas
 - O núcleo tem permeabilidade infinita
 - Todas as linhas de fluxo são "comuns" a todos os enrolamentos
 - Não há fluxos de fugas

- Relação de tensões
 - Considere um transformador com 2 enrolamentos de N_1 e N_2 espiras
 - Uma corrente de magnetização I_m cria um fluxo Φ_m .
 - *O fluxo é sinusoidal e tem um valor de pico $\Phi_{m\text{áx}}$.*

- As fem induzidas são:

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_{\text{max}}$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_{\text{max}}$$

- Destas expressões pode deduzir-se:

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

- A razão das fem é igual à razão do n.º de espiras
 - E_1 e E_2 estão em fase
 - As marcas de polaridade mostram os terminais de cada enrolamento que têm pico positivo simultaneamente

Transformador Ideal

- Relação de correntes
 - Considere uma carga ligada aos terminais do secundário
 - Circulará imediatamente uma corrente I_2

$$I_2 = E_2 / Z$$

- Quando a tensão aplicada é fixa, as fem E_1 e E_2 não se alteram, dado que o fluxo Φ_m também não se altera.
- A corrente I_2 produz uma Fmm
$$Fmm_2 = N_2 I_2$$
- Esta Fmm tende a alterar o fluxo mútuo (Φ_m)

- O fluxo Φ_m apenas pode continuar fixo se aparecer no primário uma Fmm que contrabalance exactamente esta Fmm_2 do secundário
- A corrente I_1 tem de aumentar de modo a que

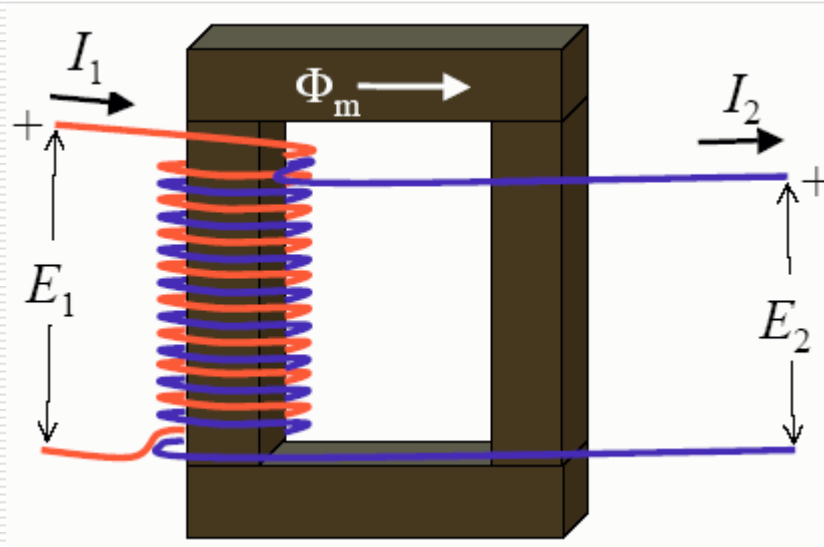
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

- I_1 e I_2 têm de estar em fase
- Quando a corrente I_1 entra no terminal primário com marca de polaridade a corrente I_2 "sai" do terminal com marca de polaridade do secundário.

Transformador Ideal

□ Modelo de Transformador ideal

- Seja $a = N_1/N_2$
- Então $E_1/E_2 = a$ e $I_1 = I_2/a$



Transformador Ideal

□ Exemplo

- Um transformador “quase” ideal tem 200 espiras no primário e 10 espiras no secundário.
 - A ligação magnética é perfeita, mas a corrente de magnetização é de 1 A.
- O enrolamento primário está ligado a uma fonte de 480V, 60 Hz.
- Calcule o valor eficaz e de pico da tensão secundária.

□ Exemplo

- Liga-se uma carga ao secundário do transformador anterior, que absorve 80A, com um factor de potência de 0.8 em atraso.
- Calcule o valor eficaz da corrente do primário e esboce um diagrama vectorial.

Razão de Impedâncias

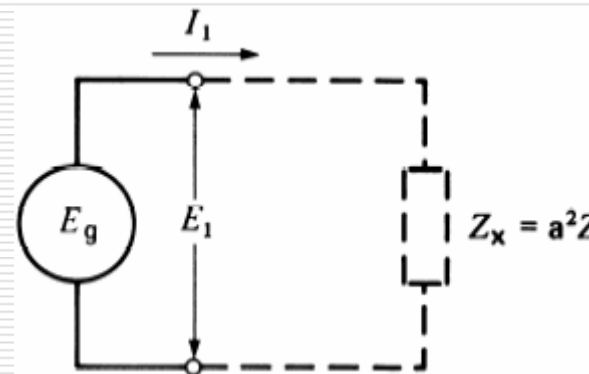
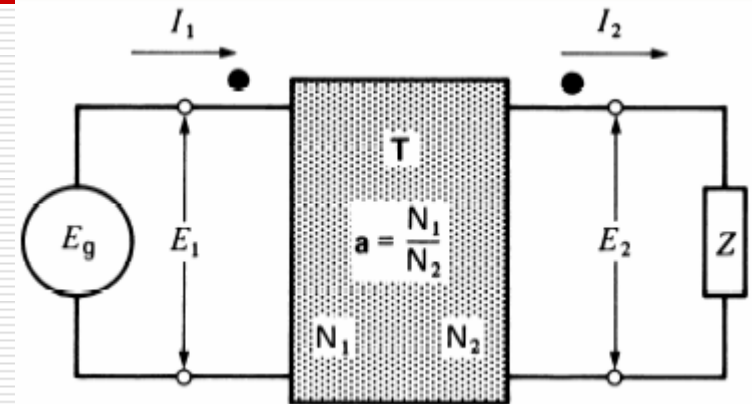
□ Os transformadores podem também ser utilizados para transformar impedâncias

■ A fonte “vê” efectivamente a impedância $Z_X = E_1/I_1$

■ A impedância vista relaciona-se com a “real” da seguinte

forma:

$$Z_X = \frac{E_1}{I_1} = \frac{a E_2}{I_2/a} = \frac{a^2 E_2}{I_2} = a^2 Z$$



Passagem de impedâncias

- Impedâncias do secundário podem ser “passadas” para o primário.
 - A configuração do circuito fica igual (em série ou em paralelo), mas o valor da impedância multiplica-se pelo quadrado da razão de espiras.
- De igual forma, as impedâncias do primário podem passar para o secundário, mas de forma inversa.
 - Os valores das impedâncias dividem-se pelo quadrado da razão de espiras.

