

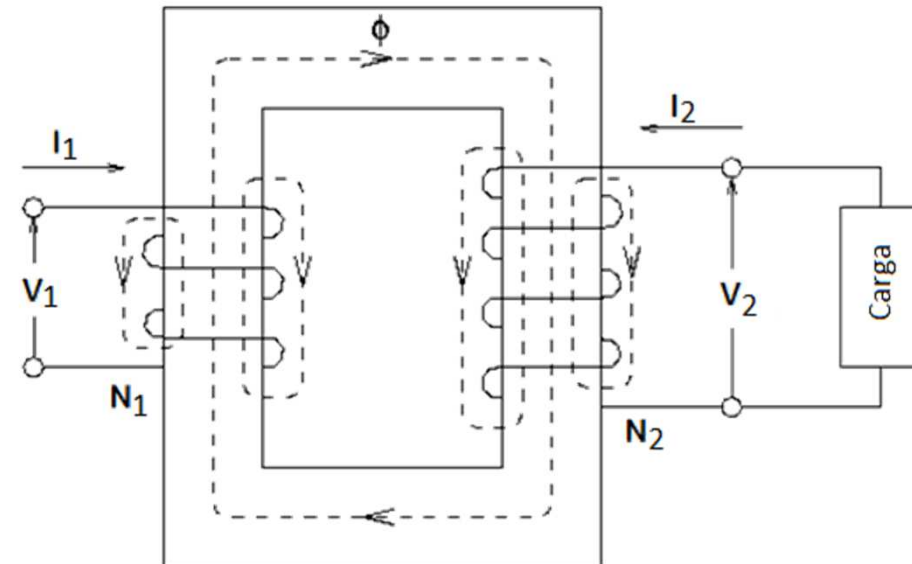
---



# TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

# Características

- $V_1$  - Tensão aplicada ao primário
- $N_1$  - Número de espiras do enrolamento primário
- $I_1$  - Corrente no enrolamento primário
- $V_2$  - Tensão induzida no secundário
- $N_2$  - Número de espiras do enrolamento secundário
- $I_2$  - Corrente induzida “entregue” à carga ligada ao secundário
- Um núcleo de ferro laminado, fechado, sobre o qual estão enroladas duas bobinas, isoladas entre si



# Tensão induzida

A Tensão induzida depende:

- ▶ do número de Espiras **N**
- ▶ da frequência **f**
- ▶ do fluxo magnético  $\phi$

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

Aplicando a derivada da equação cima obtemos o valor eficaz dessa tensão induzida:

$$e = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N \cdot \phi_m$$

Em Wb

Para a bobina do primário:

$$e_1 = 4.44 \times f \times \phi_m \times N_1$$

Para a bobina do secundário:

$$e_2 = 4.44 \times f \times \phi_m \times N_2$$

# Explicando

Considerando que o fluxo de indução magnética  $\phi$  responde a tensão que a causa, podemos definir:

$$\phi(t) = \phi_{MAX} \times \cos(\omega t)$$

Mas:

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

$$e(t) = -N \times \frac{d(\phi_{max} \times \cos(\omega t))}{dt}$$

Considerando que:  $\phi_{MAX}$  e  $\omega$  são constantes, e que temos a seguinte regra de derivada:

$$\text{Se } f(x) = \cos(x) \Rightarrow d(f(x)) = -\sin(x)$$

Então:

$$e(t) = N \times \phi_{max} \times \omega \times \sin(\omega t)$$

$$e_{max} \cos(\omega t) = N \times \phi_{max} \times 2\pi f \times \sin(\omega t)$$

Considerando que  $e_{MAX} \cos(\omega t)$  representa a tensão no tempo, em termos de tensão eficaz temos  $e_{MAX} \cos(\omega t) = e_{MAX} / \sqrt{2}$ , e o máximo valor do seno é 1 então:

$$e_m \sqrt{2} = N \times \phi_m \times 2\pi \times f$$


$$e_m \sqrt{2} = 2\pi f \times N \times \phi_m$$

$$e_m = \frac{2\pi f \times N \times \phi_m}{\sqrt{2}}$$

Juntando as constantes:

$$e_m = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times f \times \phi_m \times N$$

$$e_m = 4.44 \times f \times \phi_m \times N \quad \text{c. q. d.}$$

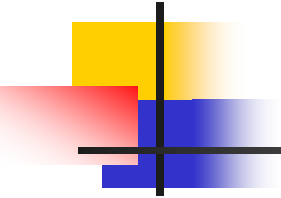


Como  $f$  e  $\phi_m$  são a mesma no primário e secundário e são constantes, temos a seguinte relação:

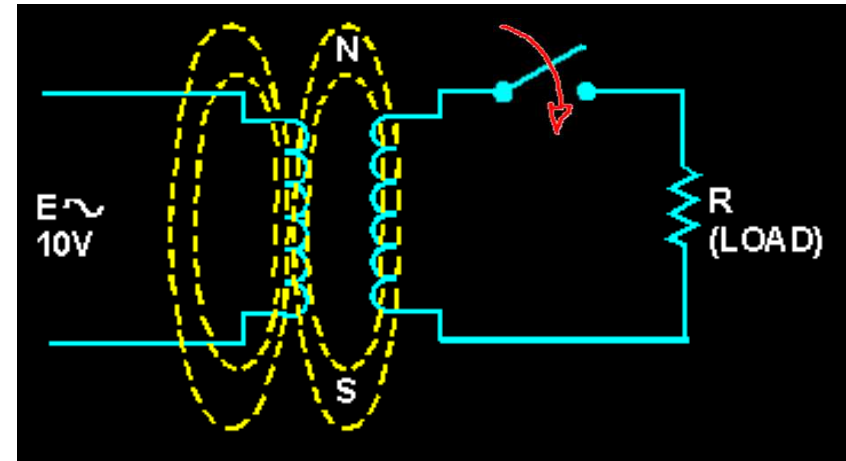
$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{4.44 \times f \times \phi_m \times N_1}{4.44 \times f \times \phi_m \times N_2} \quad \boxed{\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}}$$

E chamamos:  $\frac{V_1}{V_2} = a$  de Relação de transformação

Se  $a > 1 \Rightarrow V_1 > V_2$  Transformador abaixador  
Se  $a < 1 \Rightarrow V_1 < V_2$  Transformador elevador



Com o interruptor aberto e aplicando-se uma tensão AC no primário, ocorre uma corrente muito pequena no primário chamada de corrente de excitação



Essencialmente, o que a corrente de excitação faz é "excitar" o enrolamento do primário e criar um campo magnético.



# Corrente de excitação

A quantidade de corrente de excitação é determinada através de três fatores:

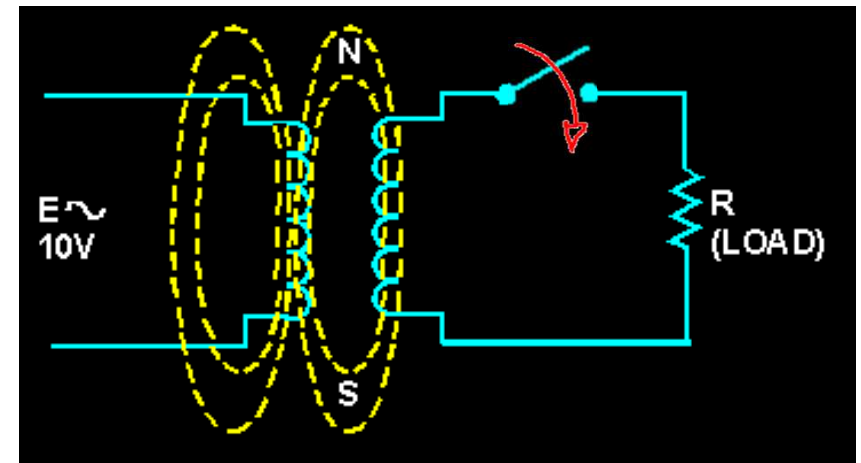
- (1) a quantidade de tensão aplicada ( $V_1$ )
- (2) a resistência ( $R$ ) do fio do enrolamento do primário + perdas no núcleo
- (3) a  $X_L$  que depende da frequência da corrente de excitação.

Estes dois últimos fatores são controlados através do projeto do transformador.

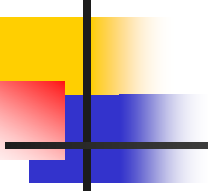
## Esta pequena corrente de excitação têm duas funções:

1. A maioria da energia de excitação é usada para manter o campo magnético do primário.
2. Uma pequena quantia de energia é usada para superar as perdas da resistência do fio e do núcleo que são dissipadas na forma de calor (perda de potência).

- ▶ Quando um dispositivo de carga é conectado no enrolamento do secundário a corrente flui pelo secundário e pela carga.
- ▶ O campo magnético produzido pela corrente no secundário interage com o campo magnético produzido pela corrente no primário.
- ▶ Esta interação resulta numa indutância mútua entre os enrolamentos primários e secundários.





- 
- 
- ▶ O fluxo magnético total no núcleo do transformador é comum aos enrolamentos primário e secundário.
  - ▶ É também o meio pelo qual é transferida a energia do enrolamento primário para o enrolamento secundário.
  - ▶ Considerando que este fluxo interage com ambos os enrolamentos, este é chamado FLUXO MÚTUO
  - ▶ A indutância que produz este fluxo é também comum aos enrolamentos, e é chamada INDUTÂNCIA MÚTUA.



# O transformador real

---

- ▶ No transformador real os fluxos dispersos, no primário e no secundário, são considerados, produzindo uma reatância primária,  $X_{L1}$  e secundária,  $X_{L2}$ , respectivamente.
- ▶ Além disso, as resistências dos enrolamentos também são consideradas, sendo  $R_1$  a resistência do enrolamento no primário e  $R_2$  a resistência do enrolamento no secundário.
- ▶ Essas resistências somadas às reatâncias produzem quedas de tensão internas no transformador

## Exemplo

O enrolamento primário de um transformador tem 880 espiras e é ligado à rede de 220V. Qual o número de espiras que o enrolamento secundário deve ter para que a tensão secundária tenha o valor de 5V ?

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow N_2 \times \frac{V_1}{V_2} = N_1$$

$$\frac{N_2 \times V_1}{V_2} = N_1 \Rightarrow N_2 \times V_1 = V_2 \times N_1$$

$$N_2 = \frac{V_2 \times N_1}{V_1} = \frac{5 \times 880}{220} = \boxed{20 \text{ espiras}}$$

# Exemplo

Um transformador de 220/125V , tem a disposição um núcleo de ferro de 44 x 22 mm.

**Calcule** o número de espiras , para um rendimento igual a unidade ( $n = 1$ ) e ambos os enrolamentos para  $B = 10000$  Gauss e  $f = 50$  Hz.

Assim,  $V_1 = 220V_{CA}$ ,  $V_2 = 125V_{CA}$

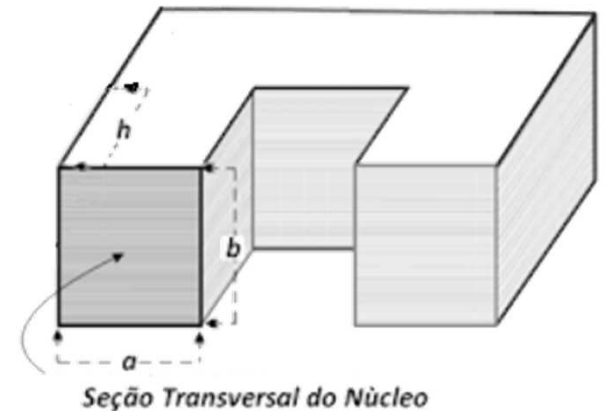
$$\phi_m = B \times A = 10000 \times 4,4 \times 2,2 = 96800 \text{ G x cm}^2$$

Mas  $1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ G x cm}^2$  ou  $\text{G x cm}^2 = 10^{-8} \text{ Wb}$

*Trata-se de uma necessidade de unidade*

$$\phi_m = 10^{-8} \times 96800 \text{ Wb}$$

$$V_1 = 4.44 \times f \times \phi_m \times N_1 \Rightarrow N_1 = \frac{V_1}{4.44 \times f \times \phi_m} = \frac{220 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 96800} = 1024 \text{ espiras}$$



# Weber

O **weber** (símbolo Wb) é a unidade do **SI** para o **fluxo magnético**. A unidade leva esse nome em homenagem a **Wilhelm Eduard Weber**, físico alemão do século XIX. Disso tiramos as dimensões para o weber que, em **unidades do SI**, é expresso por:

$$Wb = \frac{kg \times m^2}{S^2 \times A}$$

Mas a unidade de fluxo magnético também pode ser expressa em termos de outras unidades do SI: Tesla x metro<sup>2</sup>, Volt-Segundo (V x s), Joule por Ampère (J/A).

$$Wb = 1T \times m^2 = 1V \times s = 1 \frac{J}{A}$$

Comparando as unidades do **CGS**, do sistema CGS de Gauss e do SI temos:

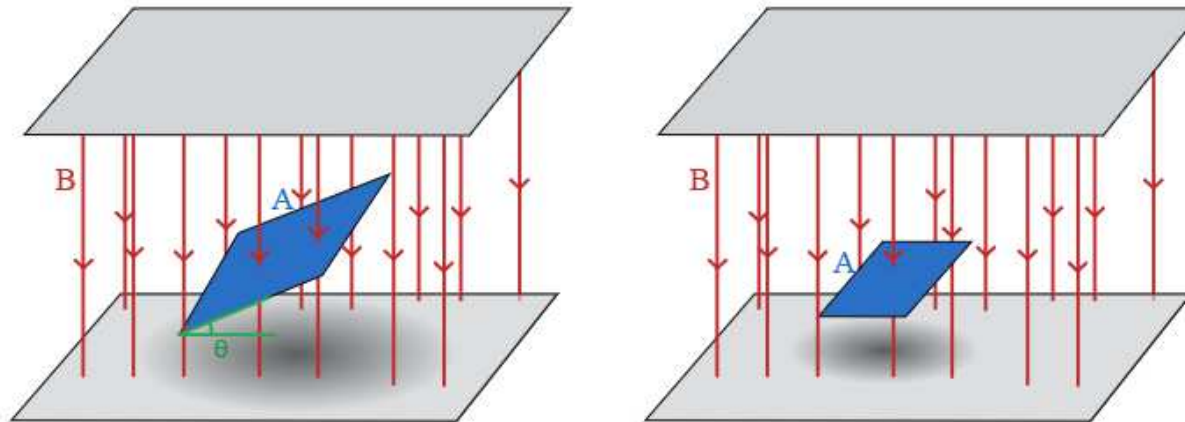
$$1Mx = 1G \times cm^2 = 10^{-8} \times Wb$$

Onde Mx é Maxwell

# fluxo magnético

- Fluxo magnético é a medida do campo magnético total que atravessa uma área específica
- É uma ferramenta útil para ajudar a descrever os efeitos da força magnética sobre um corpo que ocupa uma determinada área.
- A medida de fluxo magnético está particularmente ligada à área escolhida.

$$\Phi = BA \cos \theta$$





# Densidade de fluxo magnético

---

- ▣ Densidade de fluxo magnético ou Indução Magnética  $B$ , cuja unidade é o Tesla  $T$  ou Webber por metro quadrado  $Wb/m^2$ , é a medida da concentração do fluxo magnético  $\varphi$  [ $Wb$ ] em um dado material.
- ▣ Existem materiais que para um mesmo campo magnético  $H$  aplicado permitem diferentes passagens de densidade de fluxo magnético



## Calcular o número de espiras do secundário

---


$$N_2 = \frac{V_2 \times N_1}{V_1} = \frac{125 \times 1126}{220} = 640 \text{ espiras}$$



# Referências

 [https://pt.wikipedia.org/wiki/Weber\\_\(unidade\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Weber_(unidade))

28/05/2020

 <https://pt.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-magnetic-flux>

 28/05/2020

