

# TRANSFORMADORES

---

MÁQUINAS ELÉTRICAS  
INST. PABLO BOSCO

# EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

---

Se hoje temos a energia elétrica nas indústrias, residências, devemos agradecer as contribuições que Oersted, Faraday e Lenz deram, quando se dedicaram ao estudo do comportamento da corrente contínua e da corrente alternada.



# EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

---

Seus estudos levaram ao transformador, equipamento de grande importância em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.



# EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

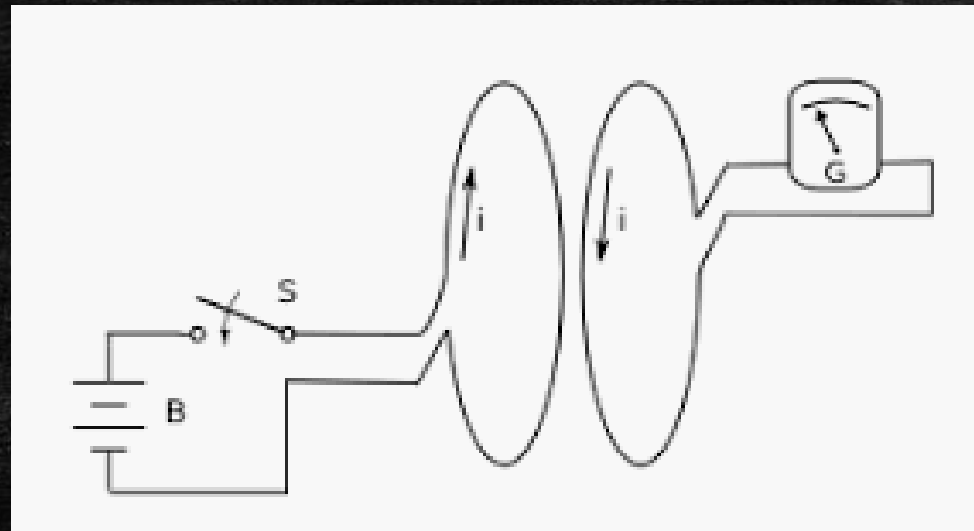
---

Oersted descobriu que um condutor ao ser percorrido por uma corrente elétrica, essa corrente produz um campo eletromagnético.



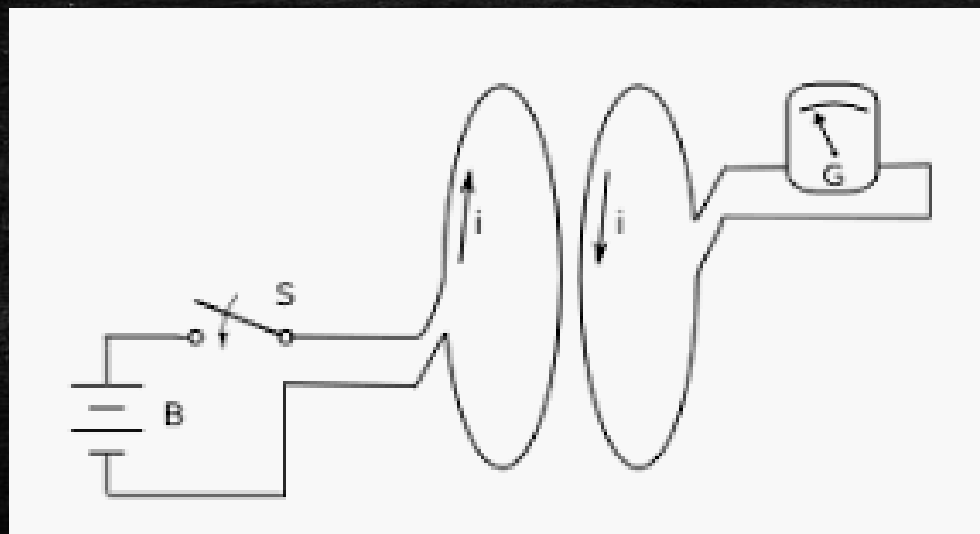
# EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

Através da descoberta de Oersted, Faraday tentou verificar que se aproximar um condutor a um campo eletromagnético surgia nesse condutor uma corrente.



## EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

Faraday não obteve sucesso com seu experimento, mas conseguiu perceber algo. Toda vez que ele fechada a chave S nada acontecia, mas ao abri-la o galvanômetro indicava uma corrente.



# EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

---

Faraday então fez novos experimentos e descobriu que era possível um campo eletromagnético induzir uma corrente em um condutor, desde que esse campo eletromagnético fosse oscilante, alternado.



# Experimento de Faraday



# EXPERIMENTOS DE OERSTED, FARADAY E LENZ

---

Diante dos experimentos de Faraday, Lenz quis descobrir o sentido da corrente induzida de Faraday. Segundo Lenz o campo eletromagnético produzido pela corrente induzida é contrário a variação do campo eletromagnético que lhe deu origem.



# Experimento de Lenz



## O TRANSFORMADOR

---

A invenção do transformador é concebida a Michael Faraday em 1831. Em 1885 o húngaro Ottó T. Bláthy apresentou o transformador como o temos hoje.

O transformador ZBD, de Bláthy, se tornou a base dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica em corrente alternada.



# O TRANSFORMADOR

---

O transformador (Trafo) é uma máquina elétrica que funciona pelo princípio de indução eletromagnética, sendo capaz de alterar o valor da tensão, corrente e impedância do circuito.



## O TRANSFORMADOR

---

Os trafos são comumente usados para elevar ou abaixar um determinado valor de tensão.

Se o trafo é empregado para abaixar um determinado nível de tensão ele é denominado de transformador abaixador.

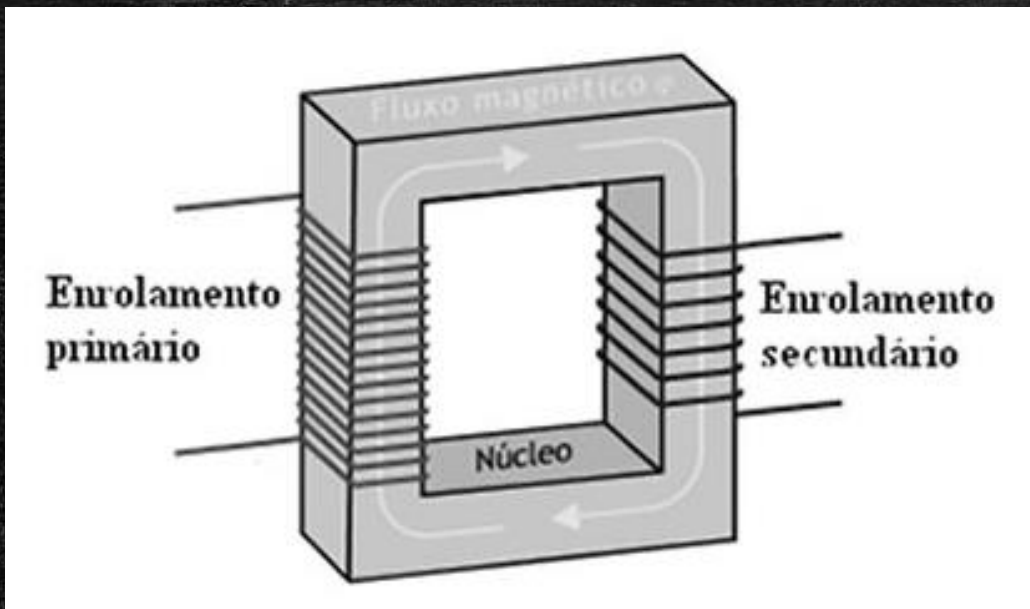
Se ele é empregado para elevar um determinado nível de tensão ele é denominado de transformador elevador.



TRANSFORMADOR IDEAL

---

# O TRANSFORMADOR

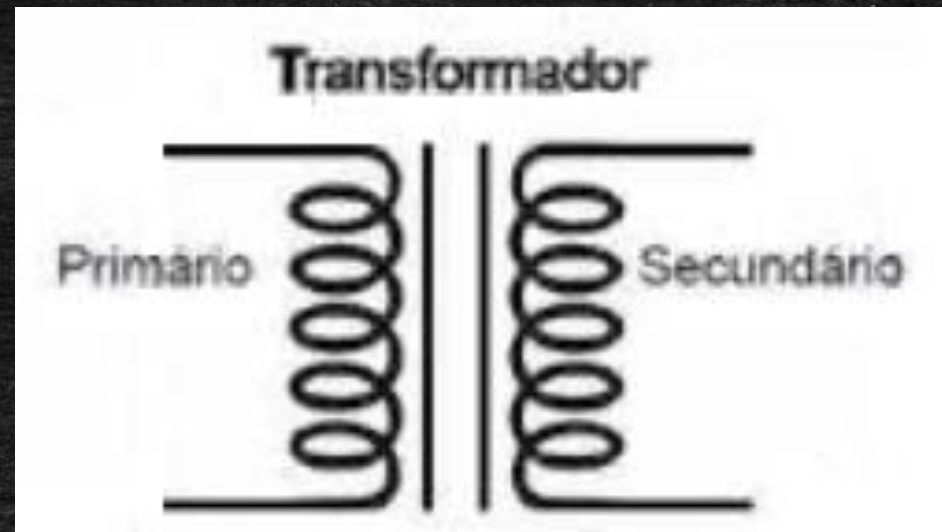


O Trafo basicamente é constituído por um núcleo e dois enrolamentos, primário e secundário.

# O TRANSFORMADOR

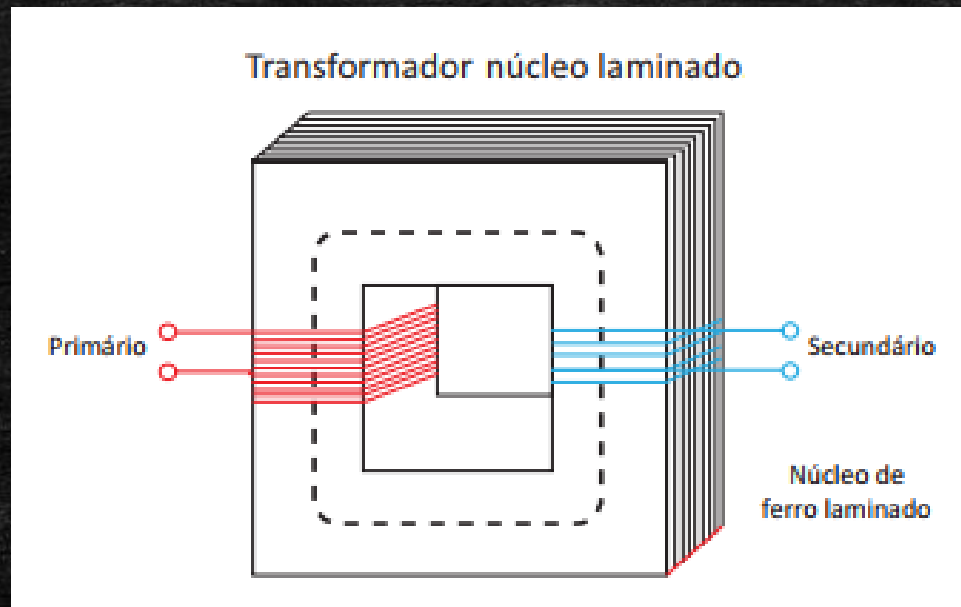
---

Ele é representado pelo seguinte símbolo:



# O NÚCLEO

O núcleo do transformador é confeccionado a partir de laminas de material ferro magnético.



## ENROLAMENTOS

---

O enrolamento, também denominado bobina, são construídos por condutores de cobre esmaltados.

O Trafo possui dois enrolamentos, primário -  $N_1$  (entrada), e secundário  $N_2$  (saída).

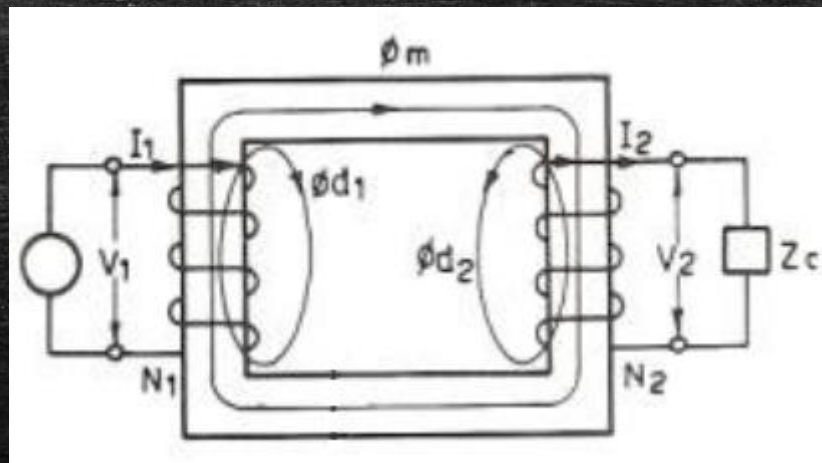
Os enrolamentos são também denominados de enrolamento de alta (lado de alta) e baixa (lado de baixa).



PRINCÍPIO DE  
FUNCIONAMENTO DOS  
TRANSFORMADORES

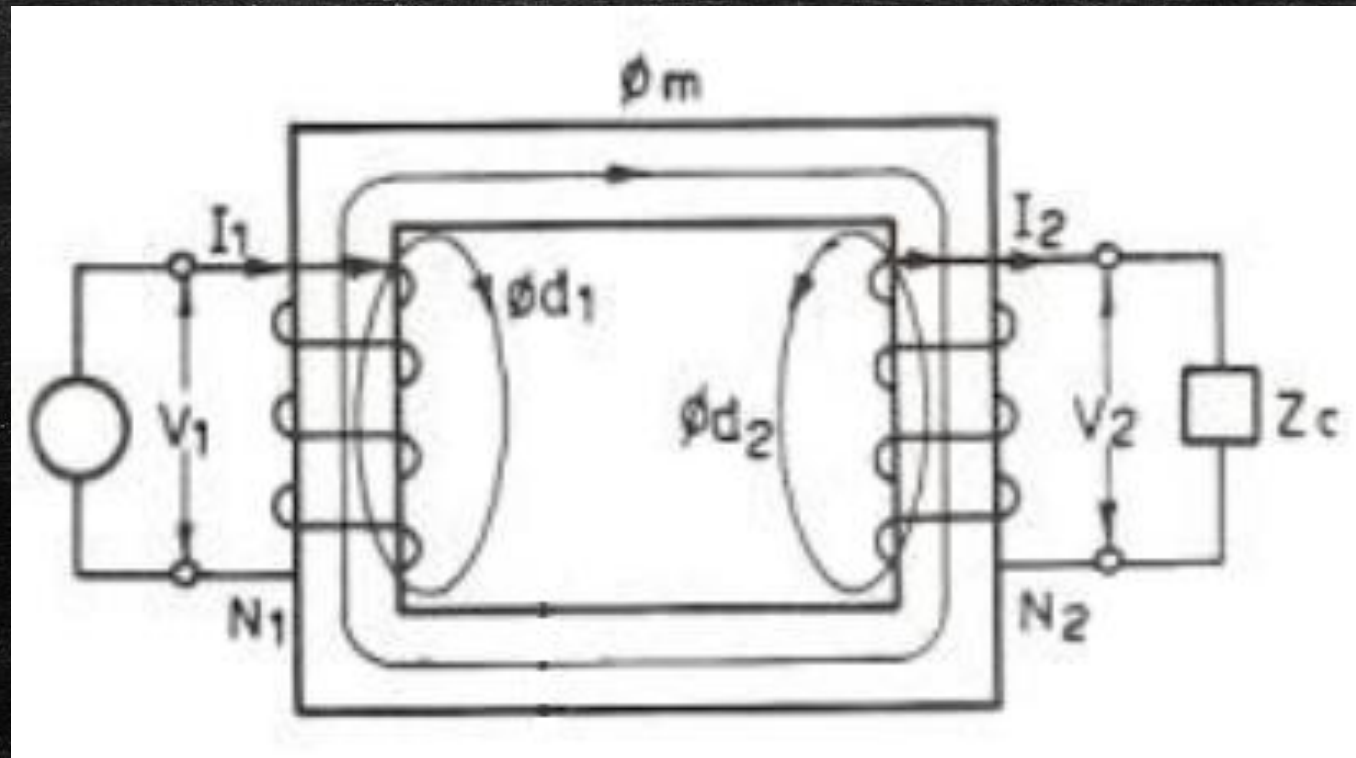
---

## PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO



O enrolamento, também denominado bobina, são construídos por condutores de cobre esmaltados.

# PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO



# EQUACIONAMENTO

## Equacionando

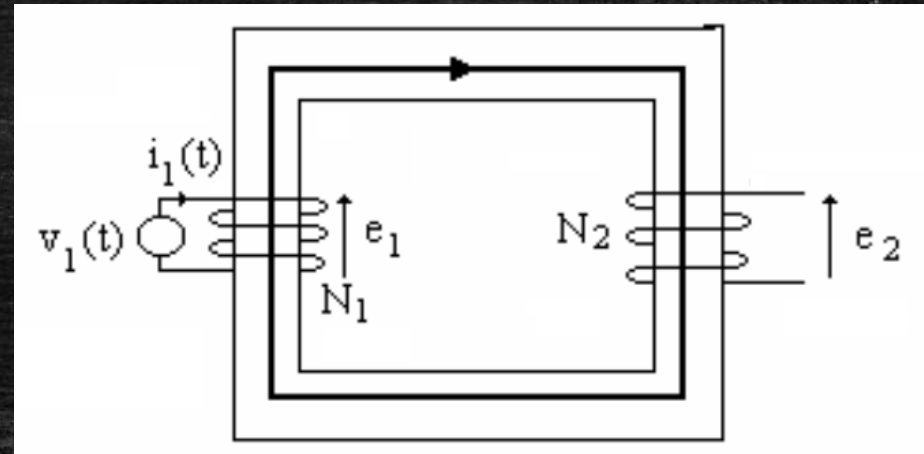
$e$  é a força eletromotriz dada

$$\text{por } e = N \frac{d\phi}{dt}$$

$e$  - força eletromotriz

$N$  - número de espiras

$\frac{d\phi}{dt}$  - variação do fluxo magnético no tempo



## EQUACIONAMENTO

---

### Equacionando

No enrolamento primário terá  $e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}$

e o mesmo se dará no secundário  $e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$

como o fluxo ( $\frac{d\phi}{dt}$ ) é o mesmo no primário e no secundário,  
tem-se:

# EQUACIONAMENTO

## Equacionando

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \gg \gg \frac{e_1}{N_1} = \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{e_1}{N_1} = \frac{e_2}{N_2}$$

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \gg \gg \frac{e_2}{N_2} = \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

# EQUACIONAMENTO

---

Equacionando

Considerando  $e = V$

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

Equação 1

$V_1$  - tensão no primário

$V_2$  - tensão no secundário

$N_1$  - espiras no primário

$N_2$  - espiras no secundário



Desenvolvimento Industrial

## EQUACIONAMENTO

---

Pela equação 1 pode-se observar que a tensão de entrada,  $V_1$ , será alterada, (elevada ou abaixada, produzindo  $V_2$ ) pela relação existente entre o número de espiras do primário e secundário.

Essa relação é chamada de Relação de Transformação, representada pela letra grega alfa -  $\alpha$



# EQUACIONAMENTO

---

Relação de Transformação –  $\alpha$

$$\frac{N_1}{N_2} = \alpha$$

## EQUACIONAMENTO

---

Como mencionado anteriormente, o transformador é capaz de alterar o valor de tensão e corrente, mas ele não modifica o valor da potência, logo

$$P_1 = P_2$$

## EQUACIONAMENTO

---

$$P_1 = P_2$$
$$P_1 = V_1 i_1 \quad \text{e} \quad P_2 = V_2 i_2$$

$$V_1 i_1 = V_2 i_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

EXERCÍCIOS

---

Na prática um transformador não possui um lado dito como correto para ser ligado.

Exemplo, um Trafo 13,8kV/220V, tanto pode funcionar como abaixador, como elevador.



---

Isso faz com que os enrolamentos do trafo sejam denominados como lado de alta e lado de baixa.

O lado de alta é o enrolamento que possui mais espiras, e o lado de baixa menos espiras.

Ficando: Enrolamento de Alta Tensão e Enrolamento de Baixa Tensão.



## Comumente adota-se um espira por volt

---

O Trafo 13,8kV/220V, possui 13800 espiras do lado de alta e 220 espiras do lado de baixa.

Se ele for usado como elevador o primário é o lado de baixa e o secundário o lado de alta.

Se ele for usado como abaixador o primário é o lado de alta e o secundário o lado de baixa.



EXERCÍCIOS

TRANSFORMADOR REAL

---

---

As equações que vimos anteriormente se referem ao transformador ideal.

Transformador ideal é aquele que não apresenta perdas no seu de transformação.



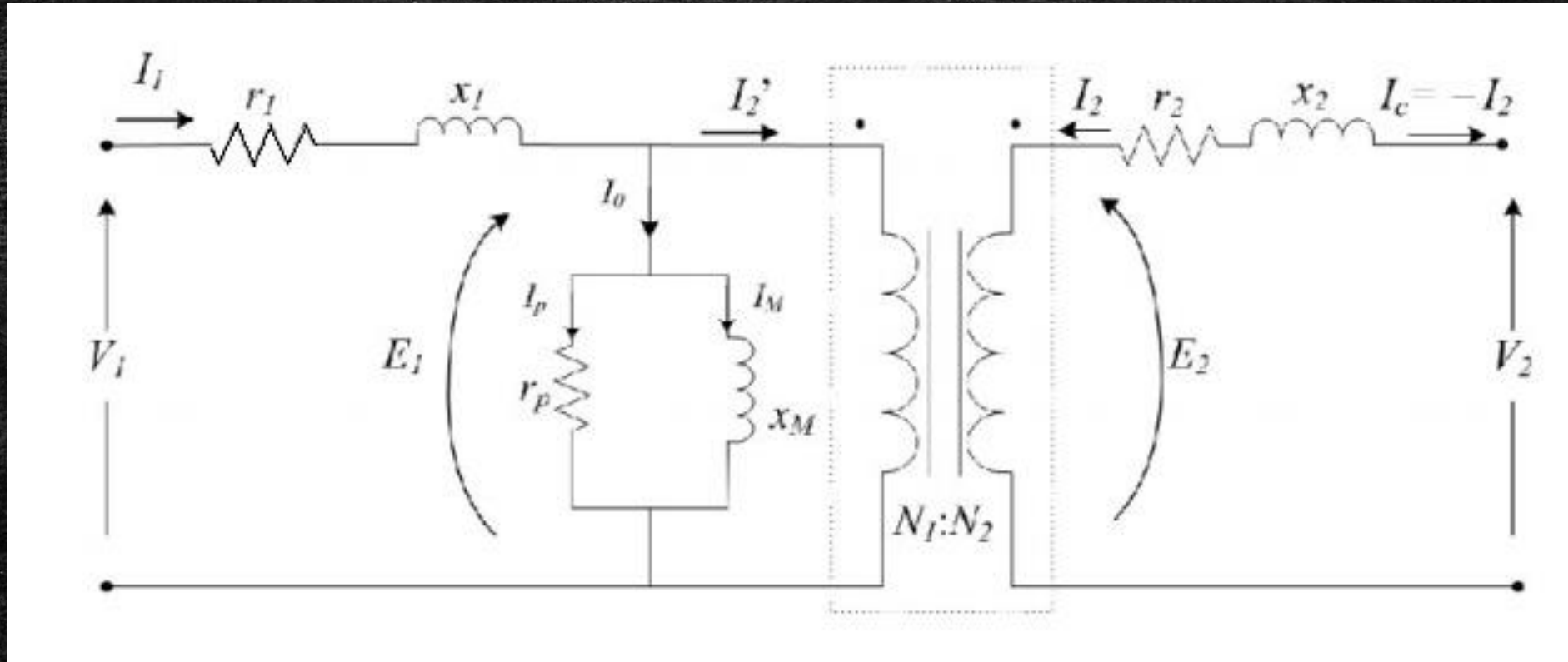
---

Na prática o transformador ideal não existe, pois em todo processo de transformação de energia há perdas.

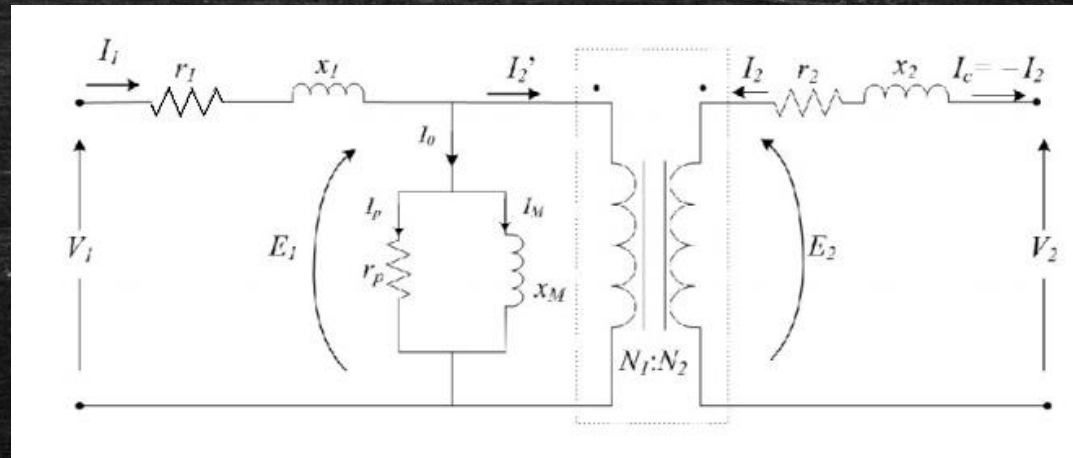
As perdas no transformador estão relacionada a dois fatores, que são: perdas elétricas e perdas magnéticas.



# Circuito equivalente do transformador real



# Circuito equivalente do transformador real



$r_1$  e  $r_2$  - perdas elétricas nos enrolamento  $N_1$  e  $N_2$ .

$x_1$  e  $x_2$  - perdas magnéticas nos enrolamento.

$R_p$  - perdas elétricas no núcleo.

$X_m$  - perdas magnéticas no núcleo.



---

As perdas elétricas estão associadas a resistência dos condutores dos enrolamentos e a dissipação da corrente, Efeito Joule, que também ocorre no núcleo do transformador.

O aquecimento do núcleo do transformador é gerado pelas correntes que circula por ele e também por correntes parasitas, chamadas de Correntes de Foucault.



---

As perdas magnéticas estão associadas a dispersão  
do fluxo magnético.

E a magnetização do núcleo do transformador.



---

Devido as perdas, no transformador real a potência de entrada não é a mesma da potência de saída.

$$P_1 \neq P_2$$

A potência de saída será a potência de entrada menos as perdas.

$$P_2 = P_1 - \text{Perdas}$$



---

A potência do Trafo se refere a potência nominal (potência de saída -  $P_2$ ), já considerando as perdas.

Com isso teremos que:

$$P_1 = P_2 + \text{Perdas}$$

Isso significa que, um trafo de 3KVA solicita da rede que o alimenta uma potência superior a 3KVA.



EXERCÍCIOS