Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina
Gerência Educacional de Eletrônica

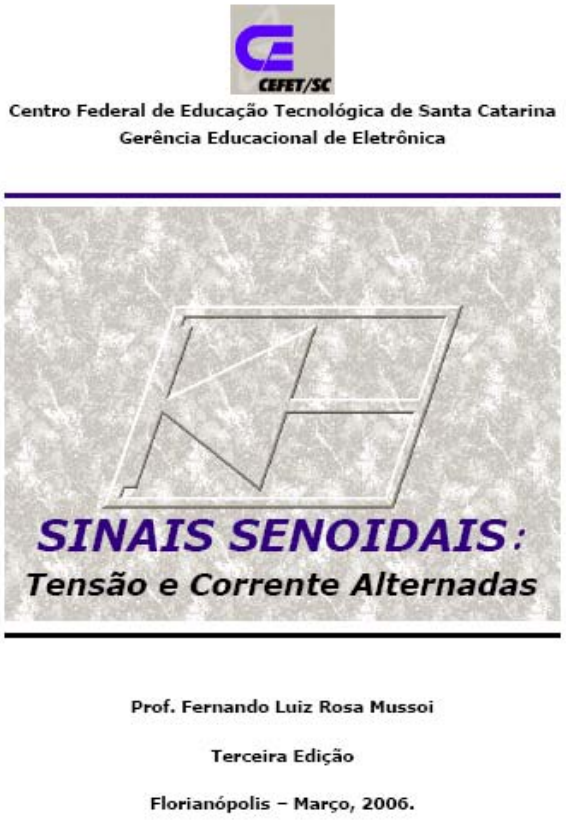
Fundamentos de Eletricidade

Geração de Corrente Alternada

Clóvis Antônio Petry, professor.

Florianópolis, novembro de 2006.

Bibliografia



Agradecemos ao Prof. Fernando L. R. Mussoi pela permissão de usar sua apostila para as aulas de Fundamentos de Eletricidade.

http://www.cefetsc.edu.br/~mussoi/sistemas_digitais/Apostila_Eletromagnetismo_v32.pdf

Nesta aula

Seqüência de conteúdos:

1. Revisão dos pontos principais da aula de eletromagnetismo;
2. Geração de corrente alternada:
    - Indução eletromagnética;
    - Princípio de funcionamento do gerador de CA;
    - Tensão e freqüência do gerador;
    - Geradores de corrente alternada.

Parte 1

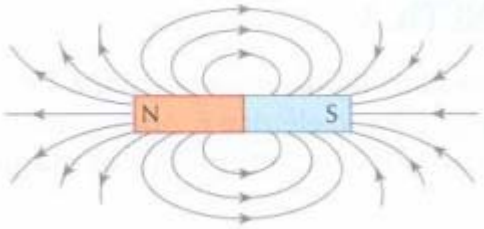
Revisão Eletromagnetismo

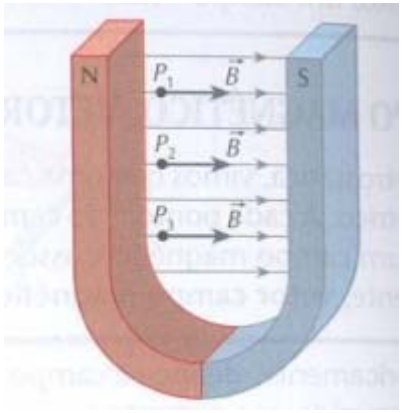
Campo magnético

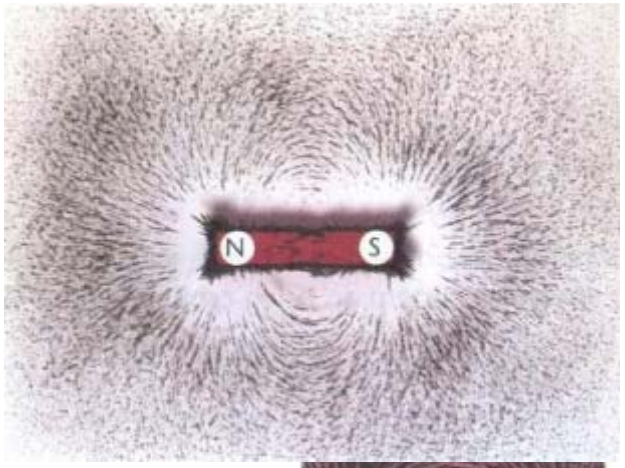
Definição:

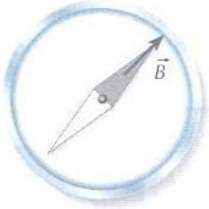
Define-se como campo magnético como toda região do espaço em torno de um condutor percorrido por corrente ou de um imã.

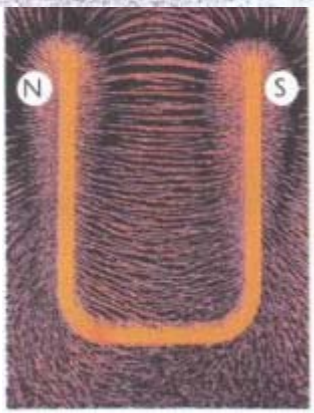
Linhas de indução (ou de força)











Campo magnético uniforme:

- Vetor B tem mesmas direção, sentido e intensidade.

Campo magnético

Vetor indução magnética:

Caracteriza cada ponto do campo magnético. Também chamado de vetor campo magnético.

$\vec{B}$ Unidade de medida: Tesla [T]

$$B = \mu \cdot H$$

B – intensidade do vetor indução magnética, em tesla [T]

H – intensidade de campo magnético, em ampères · espira/metro [Ae/m]

μ – permeabilidade magnética do meio em tesla · mestro/ampères · espira [Tm/Ae]

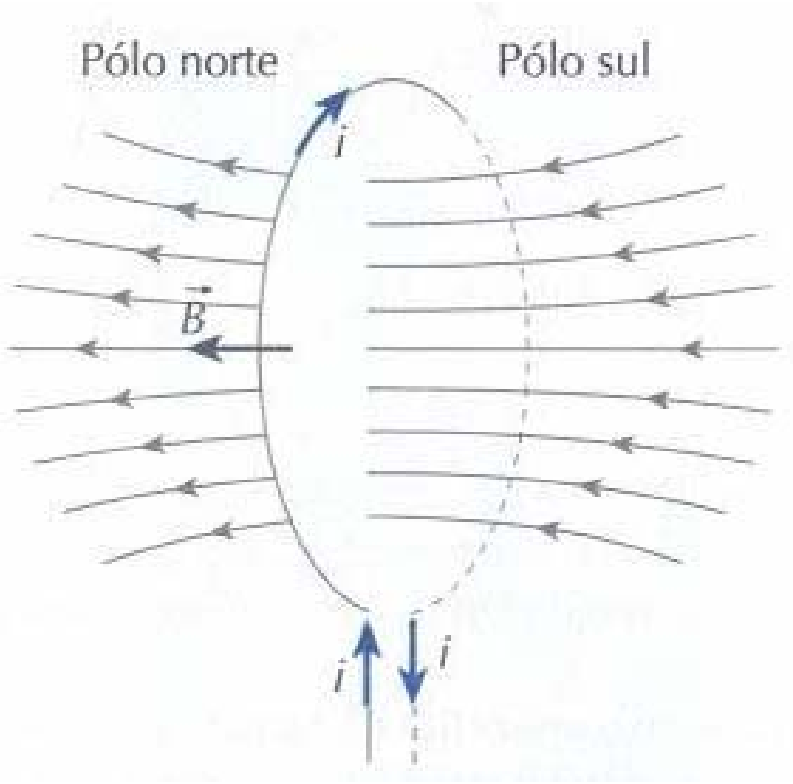
Campo magnético de uma espira circular

Lei de Biot-Savart

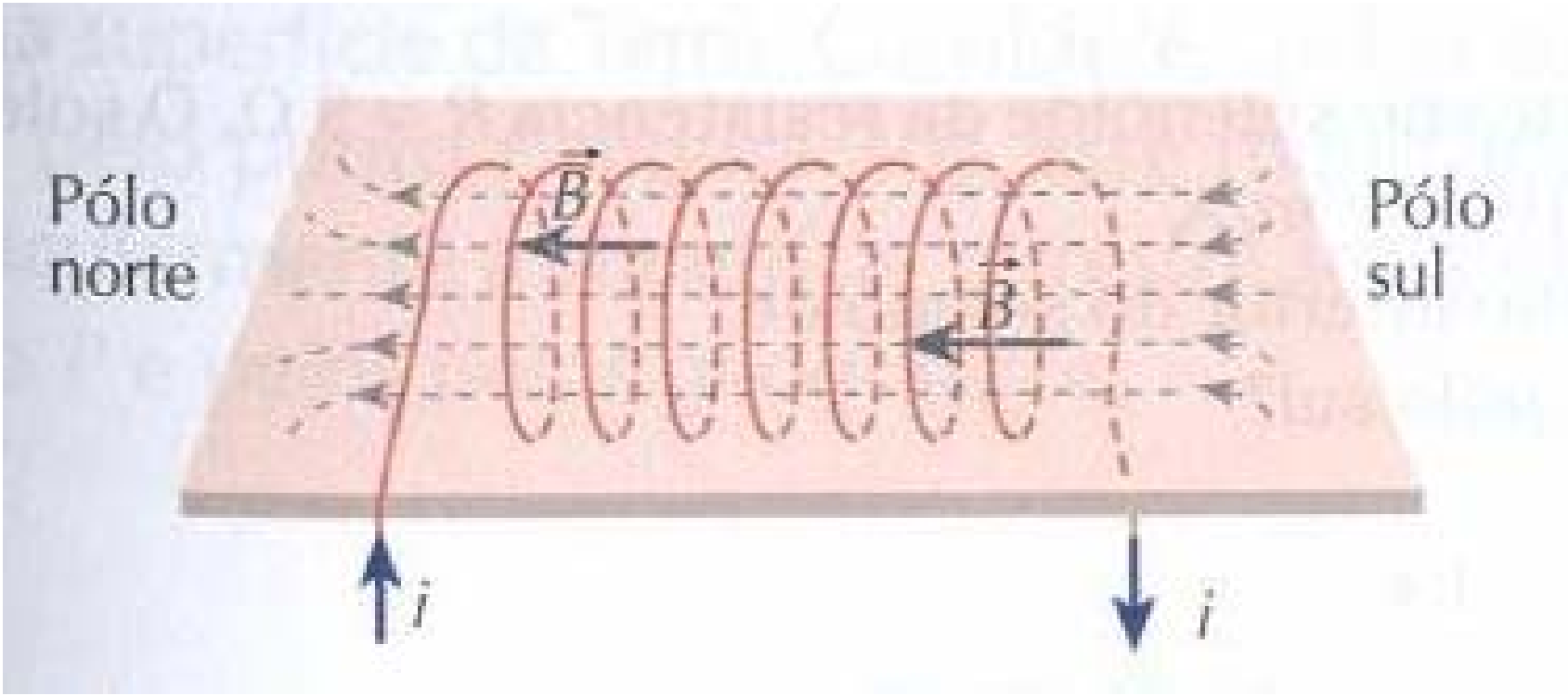
- A direção do vetor indução é perpendicular à corrente i;
- Intensidade determinada por:

$$\Delta B = \frac{\mu_o \cdot i \cdot \Delta L \cdot sen(\alpha)}{4\pi \cdot r^2}$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}\ N / A^2$$



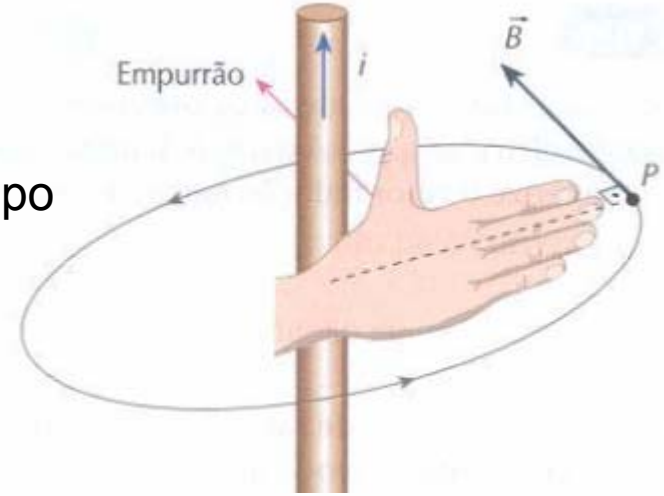
Campo magnético de uma bobina

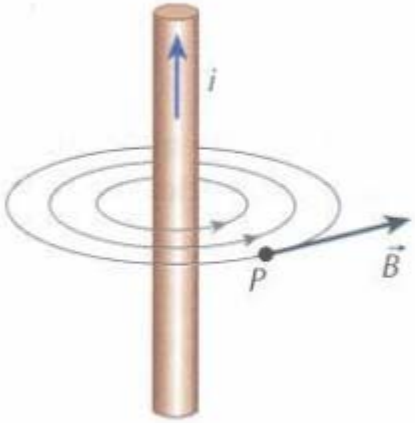


$$B = \frac{N \cdot \mu_o \cdot i}{L}$$

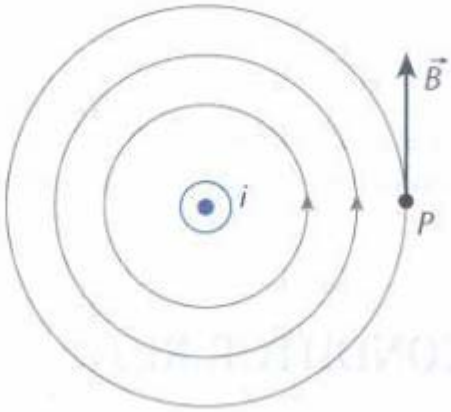
Campo magnético de um condutor reto

Caracterização do campo magnético





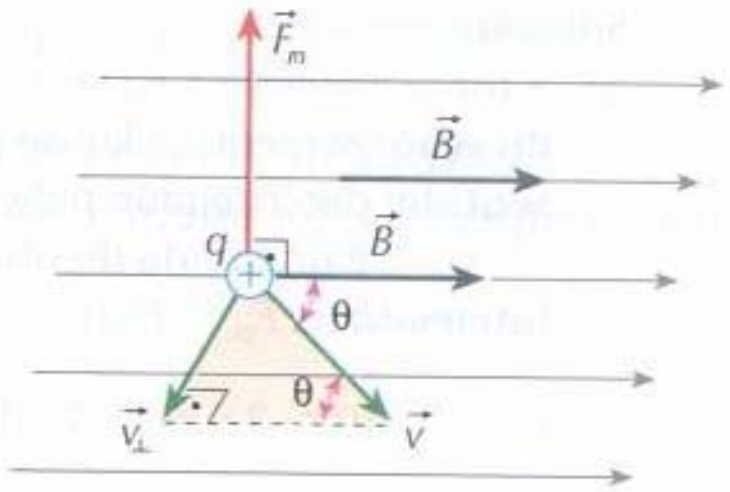
Campo gerado



Vista superior

Vista lateral

Força magnética sobre uma carga móvel



$$F = B \cdot q \cdot v \cdot sen(\theta)$$

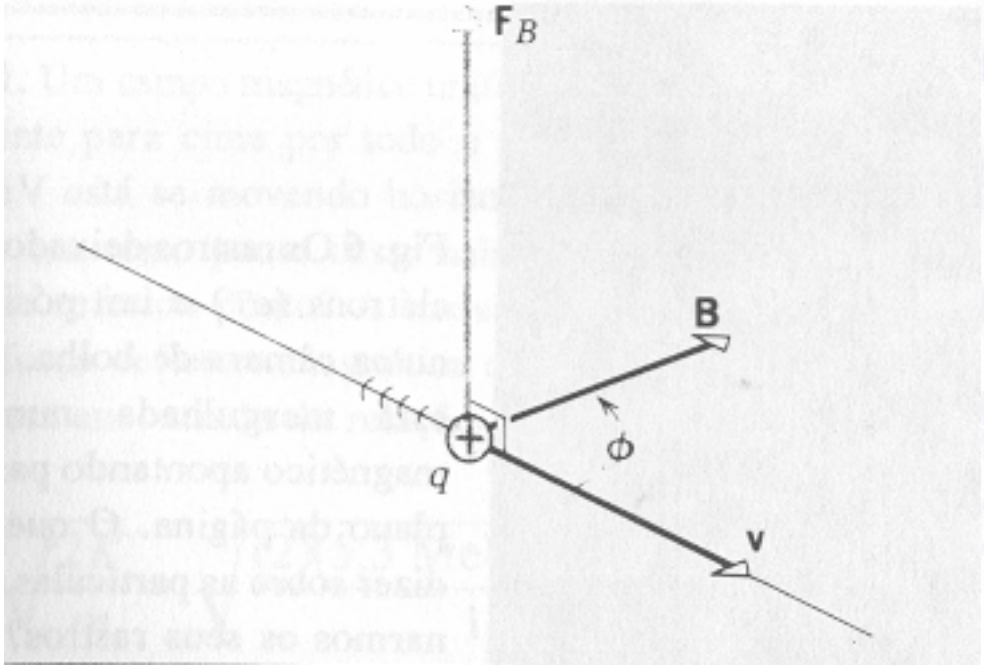
F – força magnética agente na carga, em newtons [N]

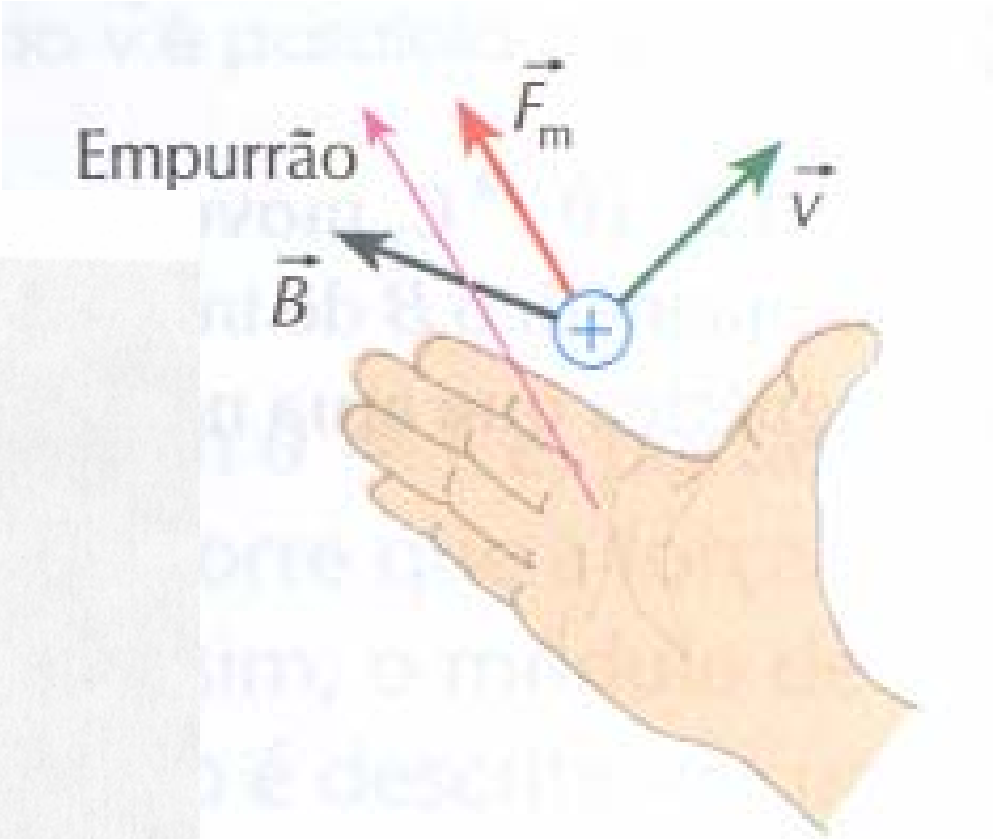
B – indução magnética, [T]

q – valor da carga elétrica, em coulombs [C]

v – velocidade da carga elétrica em [m/s]

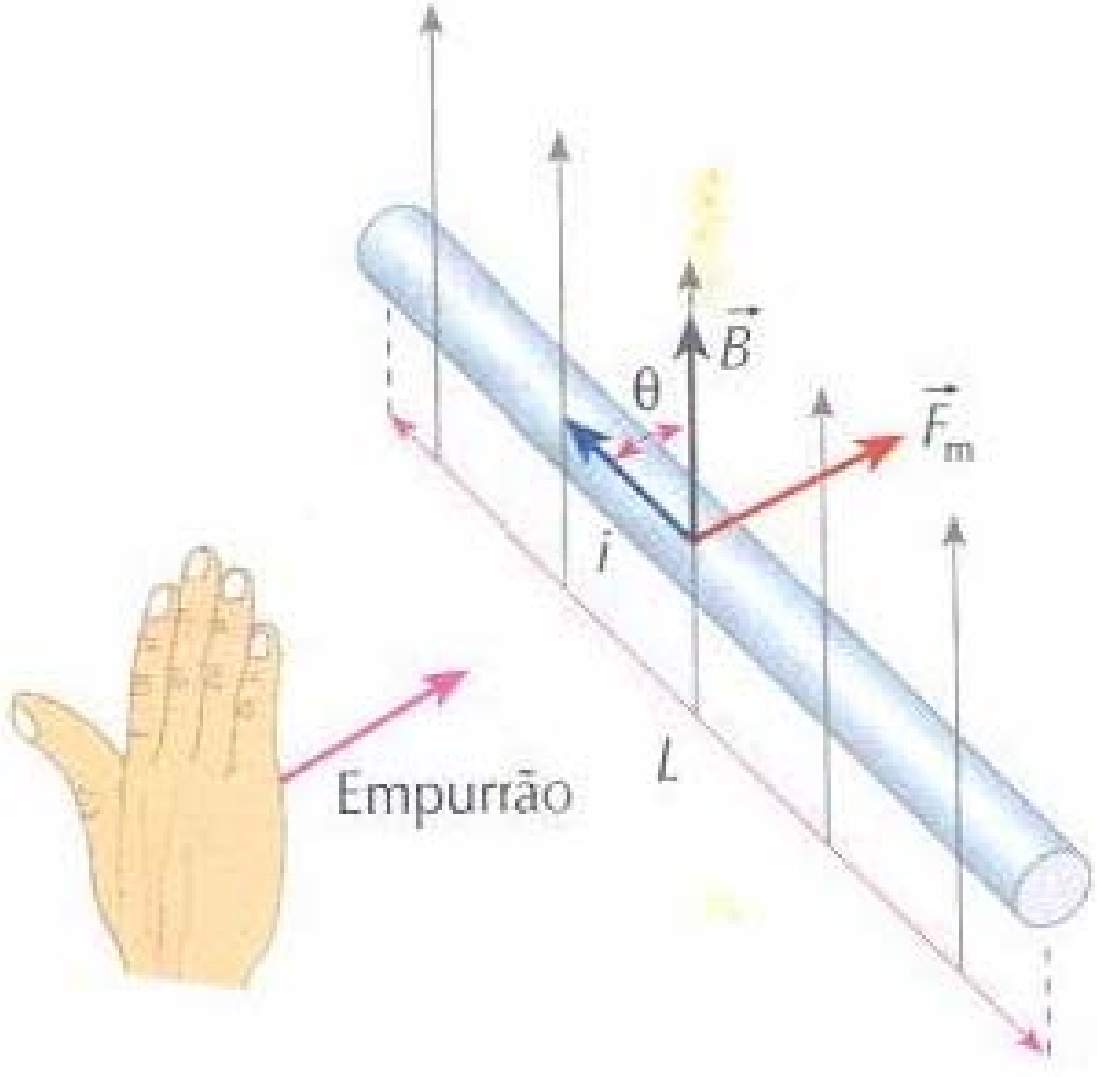
Força magnética sobre uma carga móvel



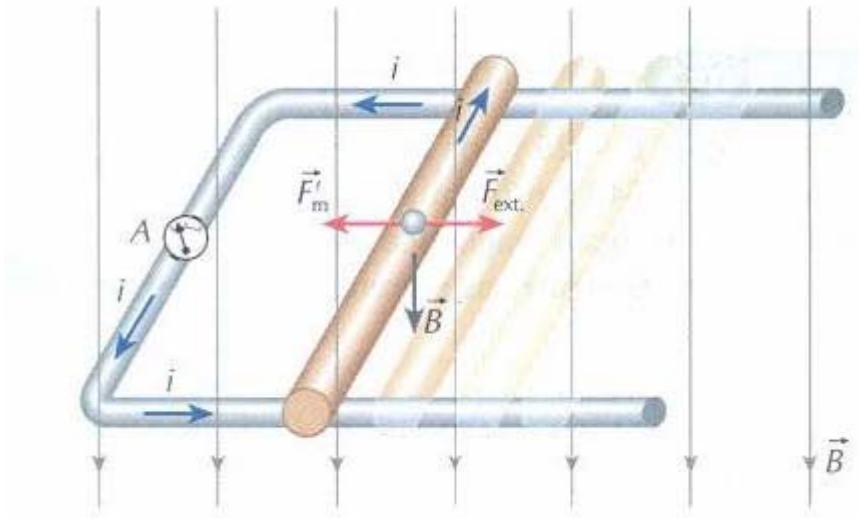


Regra da mão direita

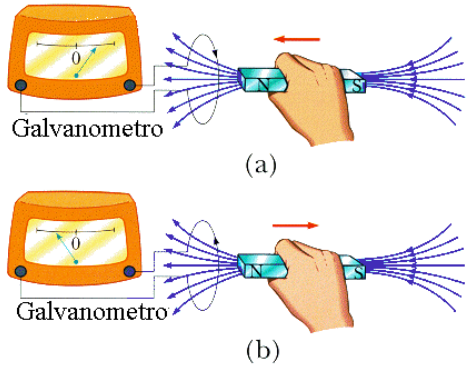
Força magnética sobre uma carga móvel

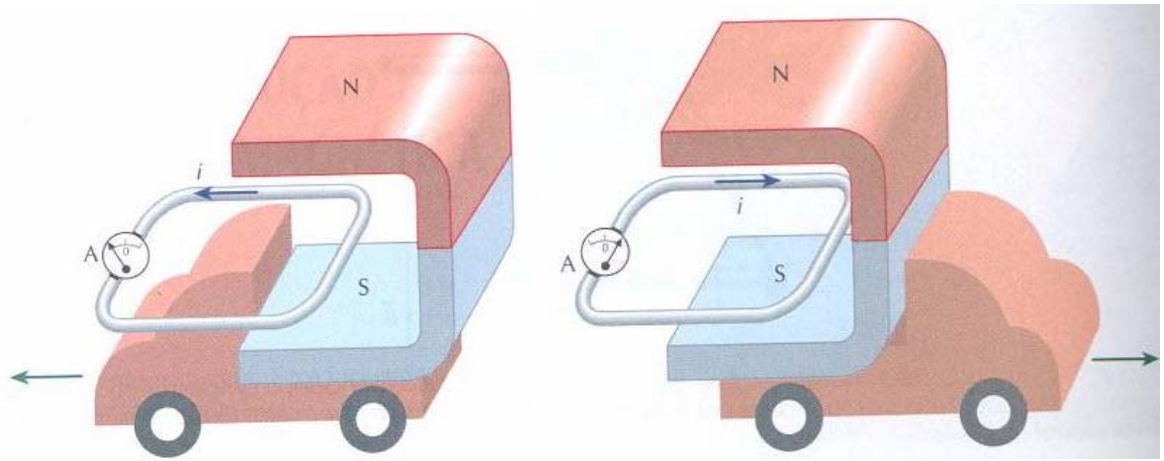


Corrente induzida



Para se obter corrente induzida num condutor, é importante o movimento relativo entre o circuito e o campo magnético.





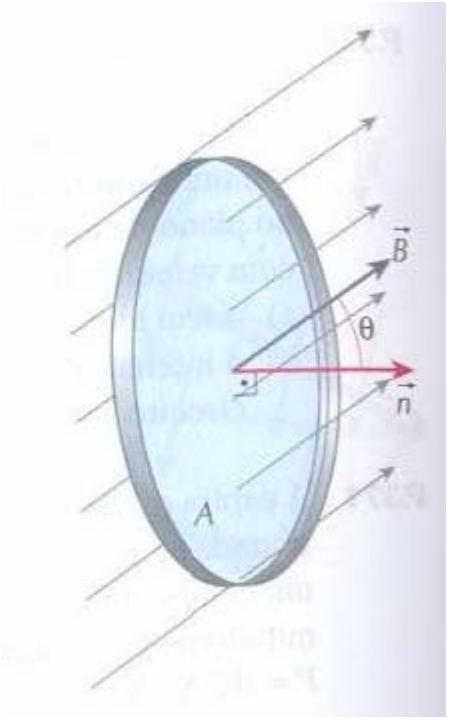
Necessidade do movimento relativo

Fluxo magnético

Definição:

Quantidade de linhas de indução que atravessam a área A de uma espira imersa num campo magnético de indução B.

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos(\theta)$$



Φ – fluxo magnético, em weber [Wb]

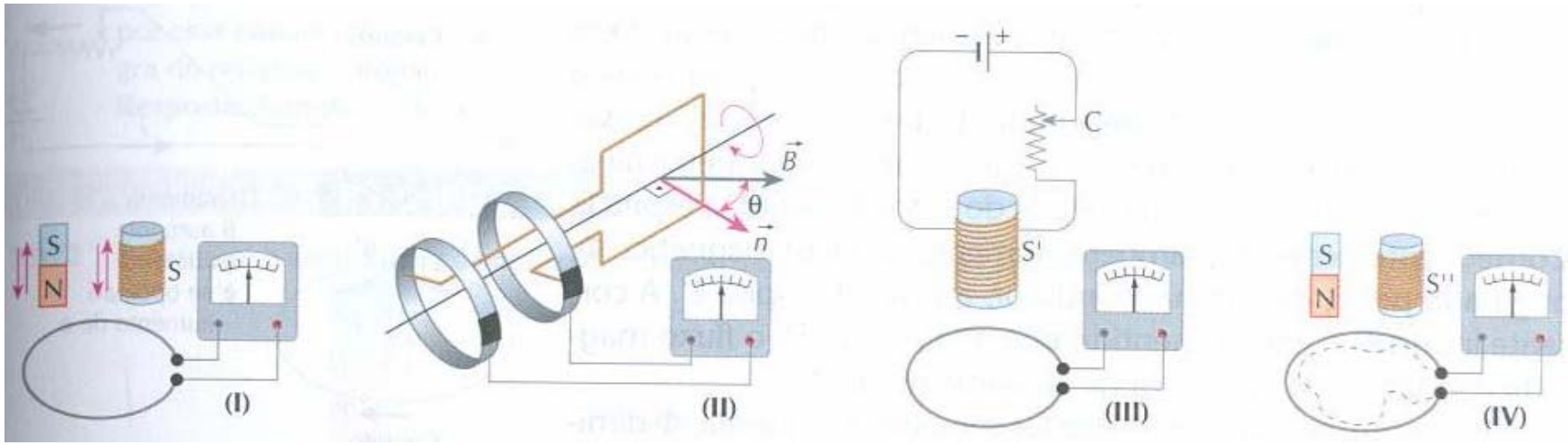
B – indução magnética, em tesla [T]

A – área da superfície atravessada pelas linhas de indução, em [m^2]

Indução eletromagnética

Toda vez que o fluxo magnético através de um circuito varia, surge, neste circuito, uma fem induzida.

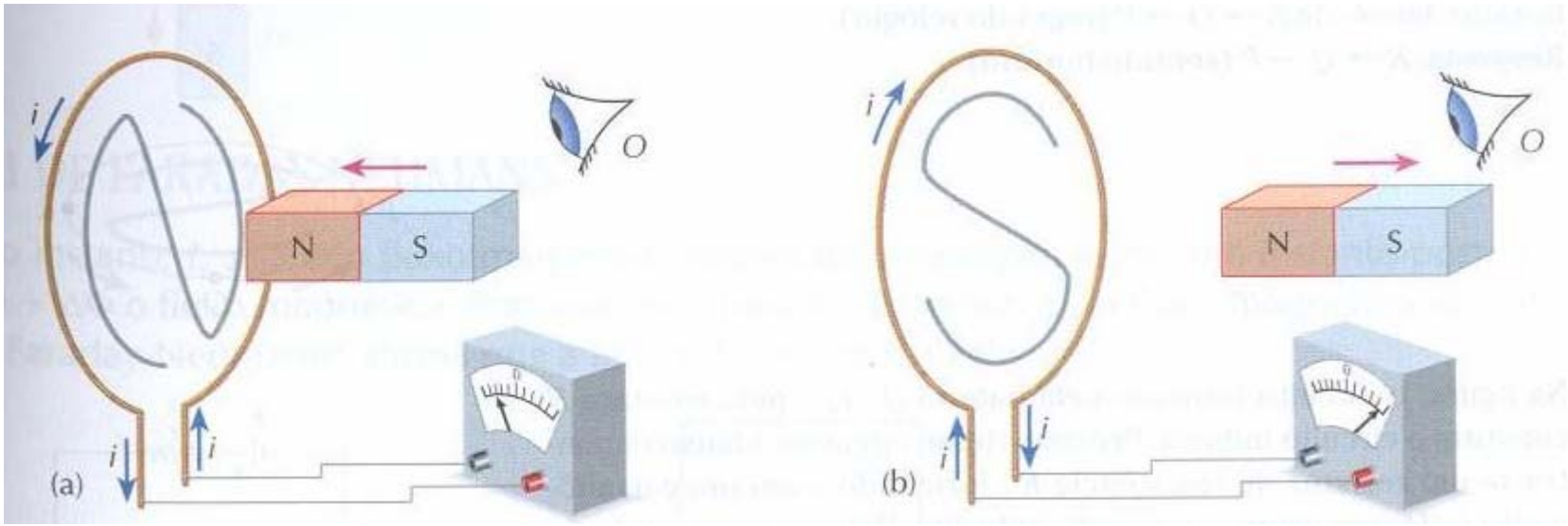
Fem – força eletromotriz.



- I – variação de B;
- II – variação de Φ;
- III – variação de B;
- IV – variação de A.

Lei de Lenz

O sentido da corrente induzida é tal que, por seus efeitos, opõe-se à causa que lhe deu origem.



Sentido da corrente induzida

Lei de Faraday-Neumann

A fem induzida média em um circuito é igual ao quociente da variação do fluxo magnético pelo intervalo de tempo em que ocorre, com sinal trocado.

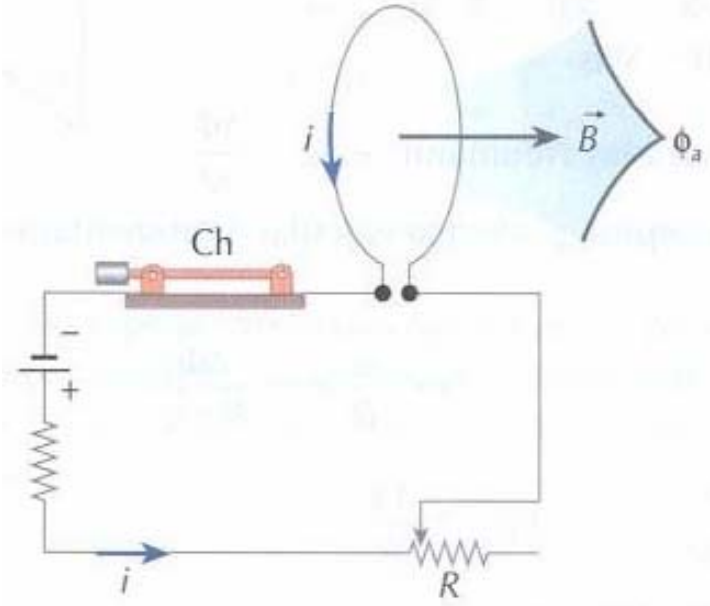
$$e_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

e_m – é a fem induzida, [V]

$\Delta\Phi$ – variação no fluxo magnético, [Wb]

Δt – intervalo de tempo em que ocorre a variação, [s]

Auto-Indução



$$\phi_a = L \cdot i$$

Φ_a – é o fluxo auto-induzido através da espira, [Wb]

i – corrente elétrica que percorre a espira, [A]

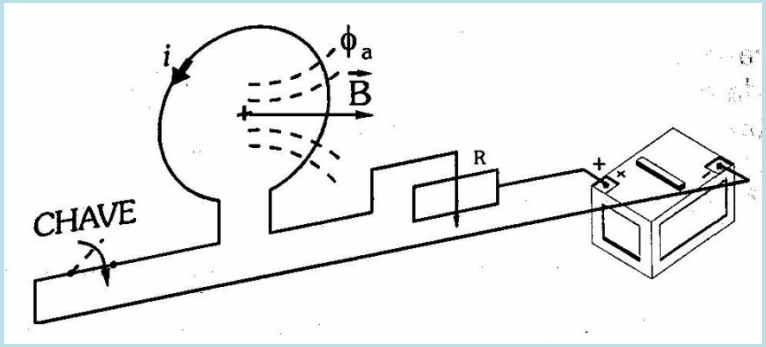
L – coeficiente que depende da configuração do circuito e do meio, chamado de **indutância** e medido em Henrys [H].

Auto-Indução

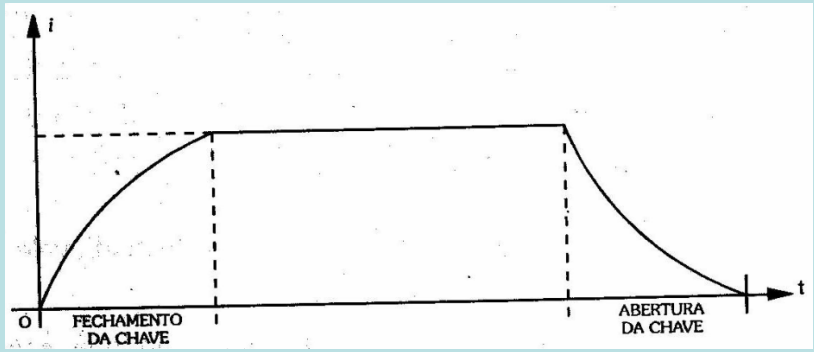
$$e_a = -\frac{\Delta\phi_a}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad \Delta\phi_a = L \cdot \Delta i$$

(L é uma constante)

$$e_a = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$



Circuito e corrente resultante



e_a – fem auto-induzida, [V]

L – indutância do circuito, [H]

Δi – variação da corrente elétrica, [A]

Δt – intervalo de tempo em que ocorre a variação, [s]

Parte 2

Geração de Corrente Alternada

Tensão e corrente alternadas senoidais

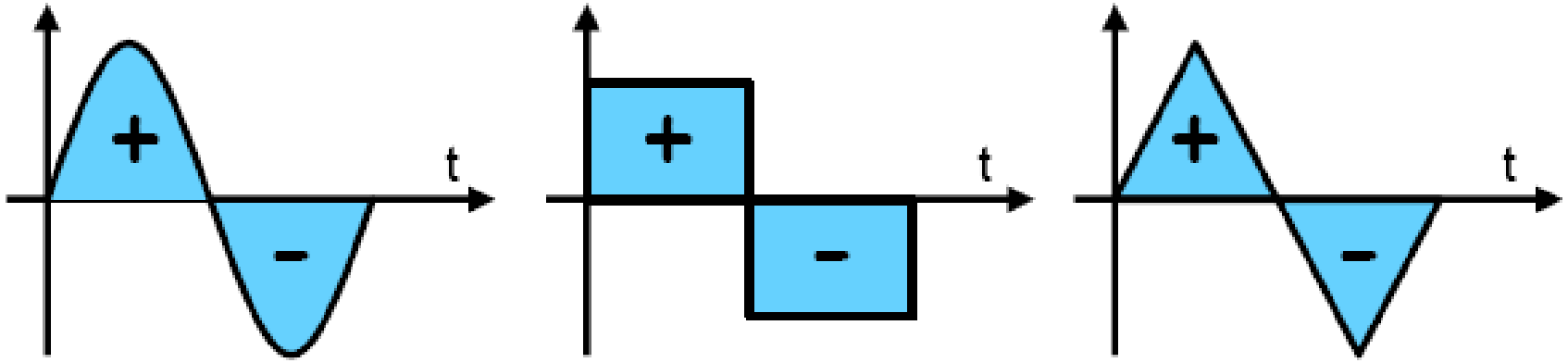


Figura 1.1 – formas de onda alternadas e periódicas

Indução eletromagnética

Lei de Faraday-Neumann:

$$e = \frac{-N \cdot \Delta\Phi}{\Delta t}$$

Lei de Lenz:

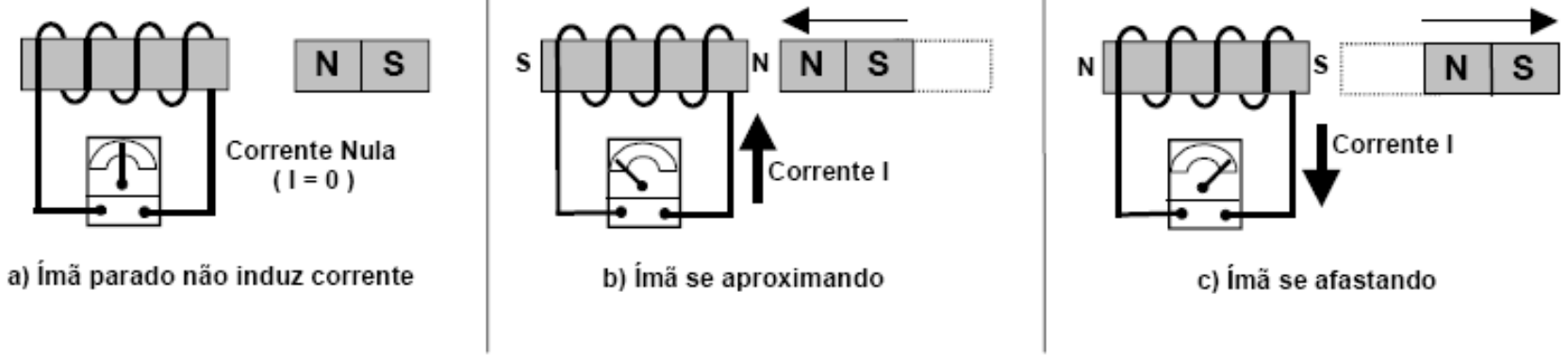


Figura 2.1.1 – Indução Eletromagnética

Indução eletromagnética

Há três condições fundamentais que devem existir antes que uma tensão possa ser produzida por magnetismo.

- Deve haver um CONDUTOR no qual a tensão será induzida.
- Deve haver um CAMPO MAGNÉTICO na vizinhança do condutor.
- Deve haver movimento relativo entre o campo e o condutor.

$$\phi = B \cdot A \cdot \text{sen}\theta$$

onde:

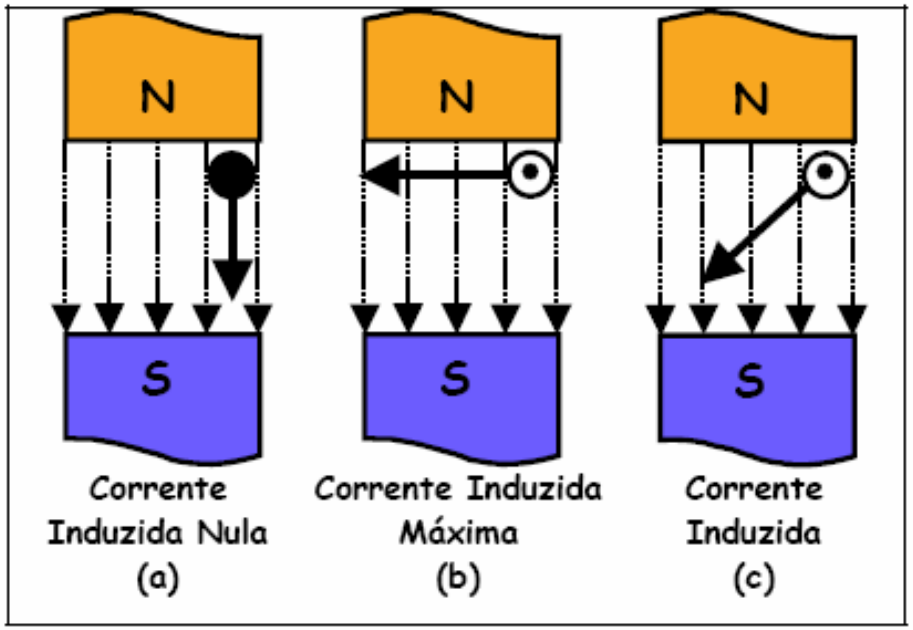
ϕ - fluxo magnético [Wb]

B – intensidade do campo magnético [T]

A – área do condutor [m^2]

θ - ângulo de incidência da linhas de campo no condutor [^{o} ou rad]

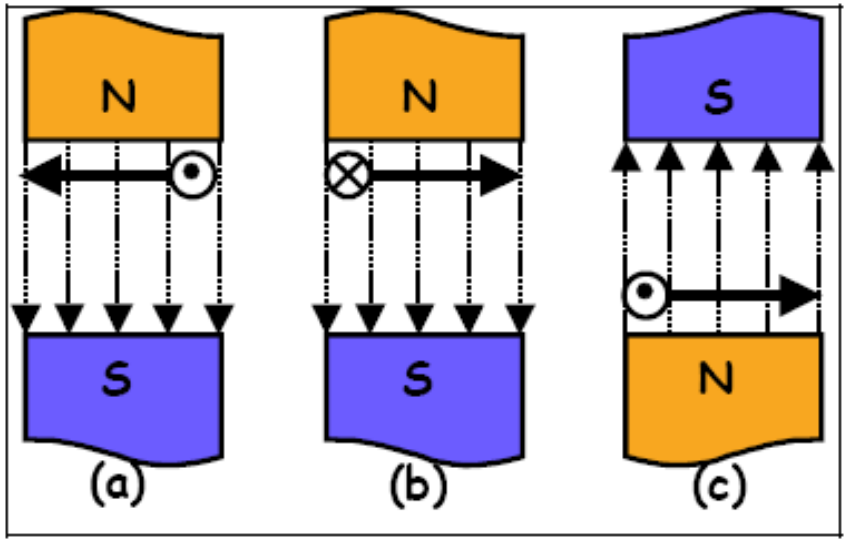
Indução eletromagnética



Influência do ângulo do condutor em relação às linhas de força

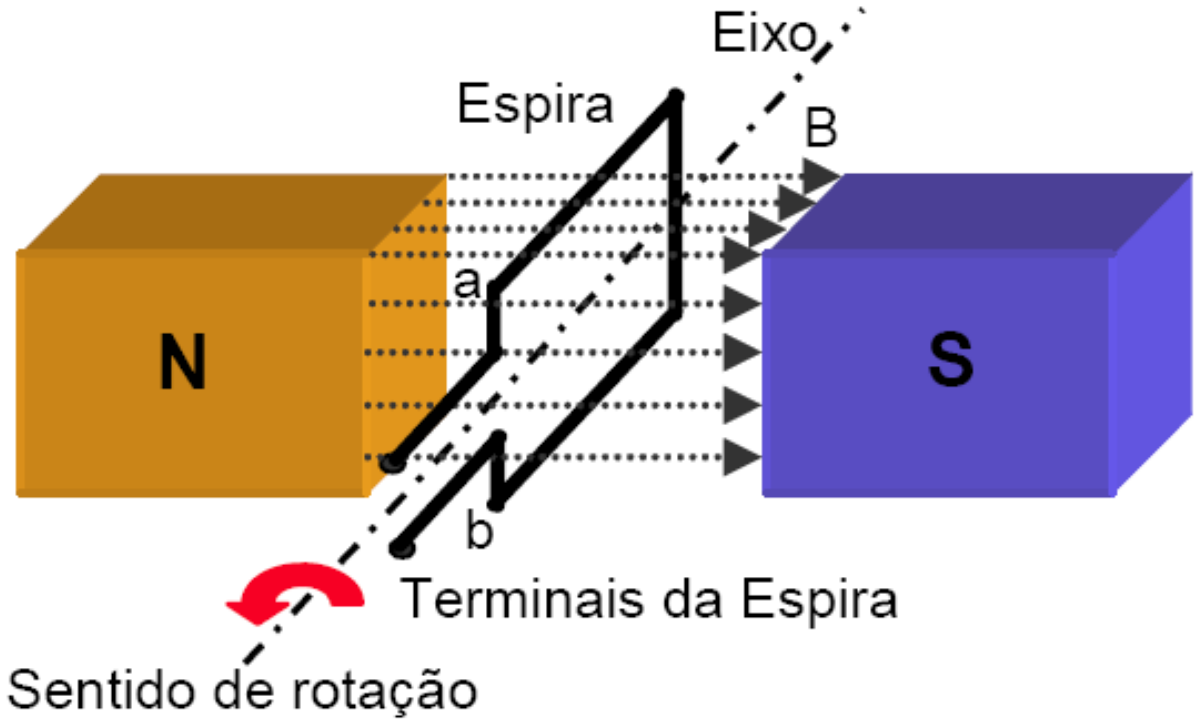
Movimento de um condutor dentro de um campo magnético

Influência da direção do movimento do condutor ou a polaridade do campo



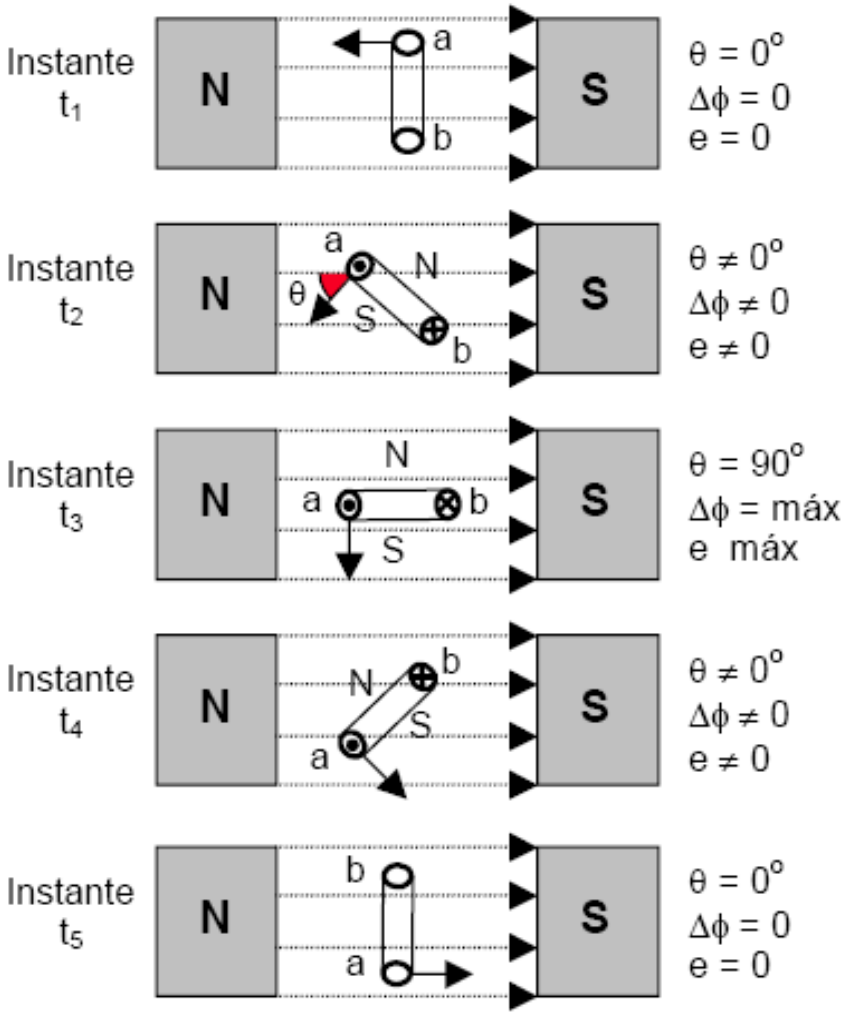
Princípio de Funcionamento do Gerador de CA

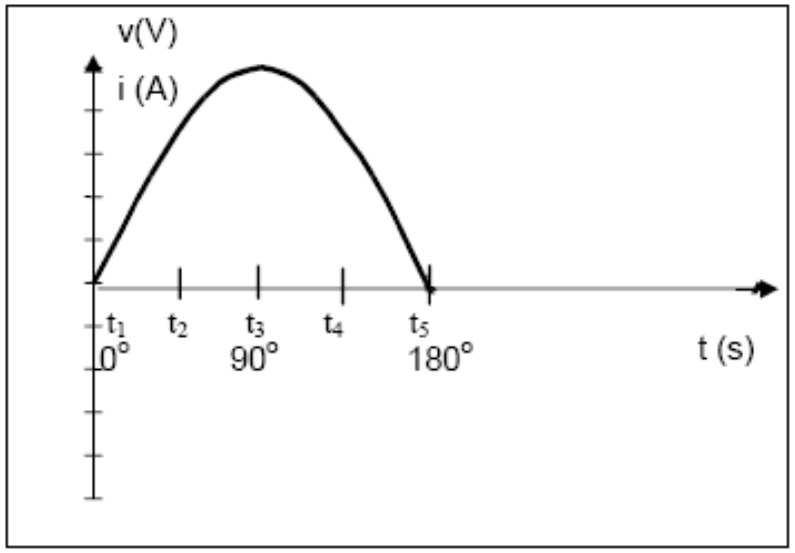
Gerador de corrente alternada elementar:



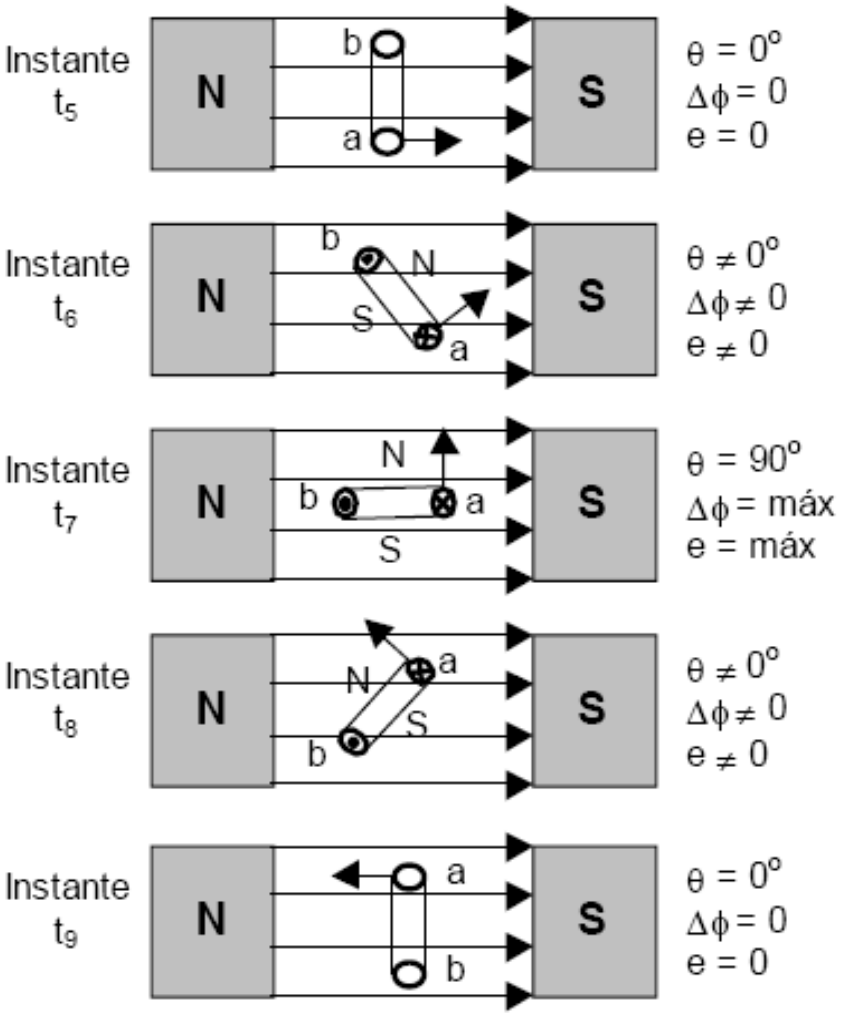
$$\phi = B \cdot A \cdot \text{sen}\theta$$

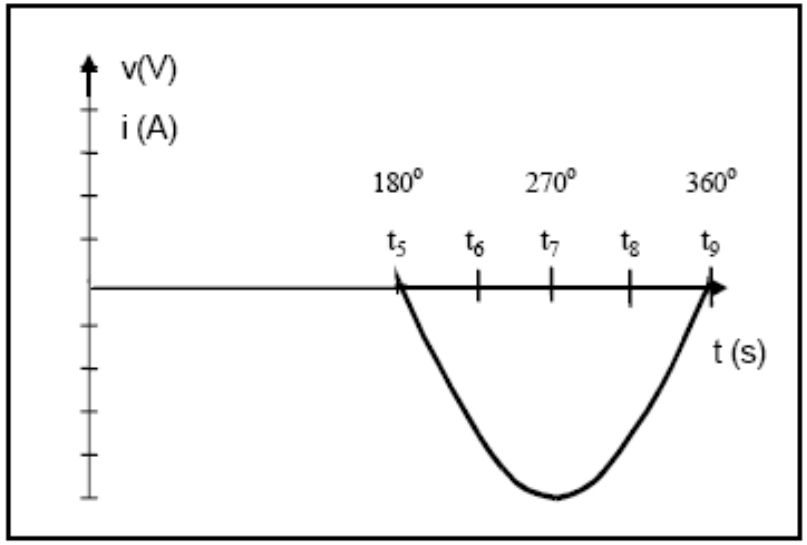
Princípio de Funcionamento do Gerador de CA





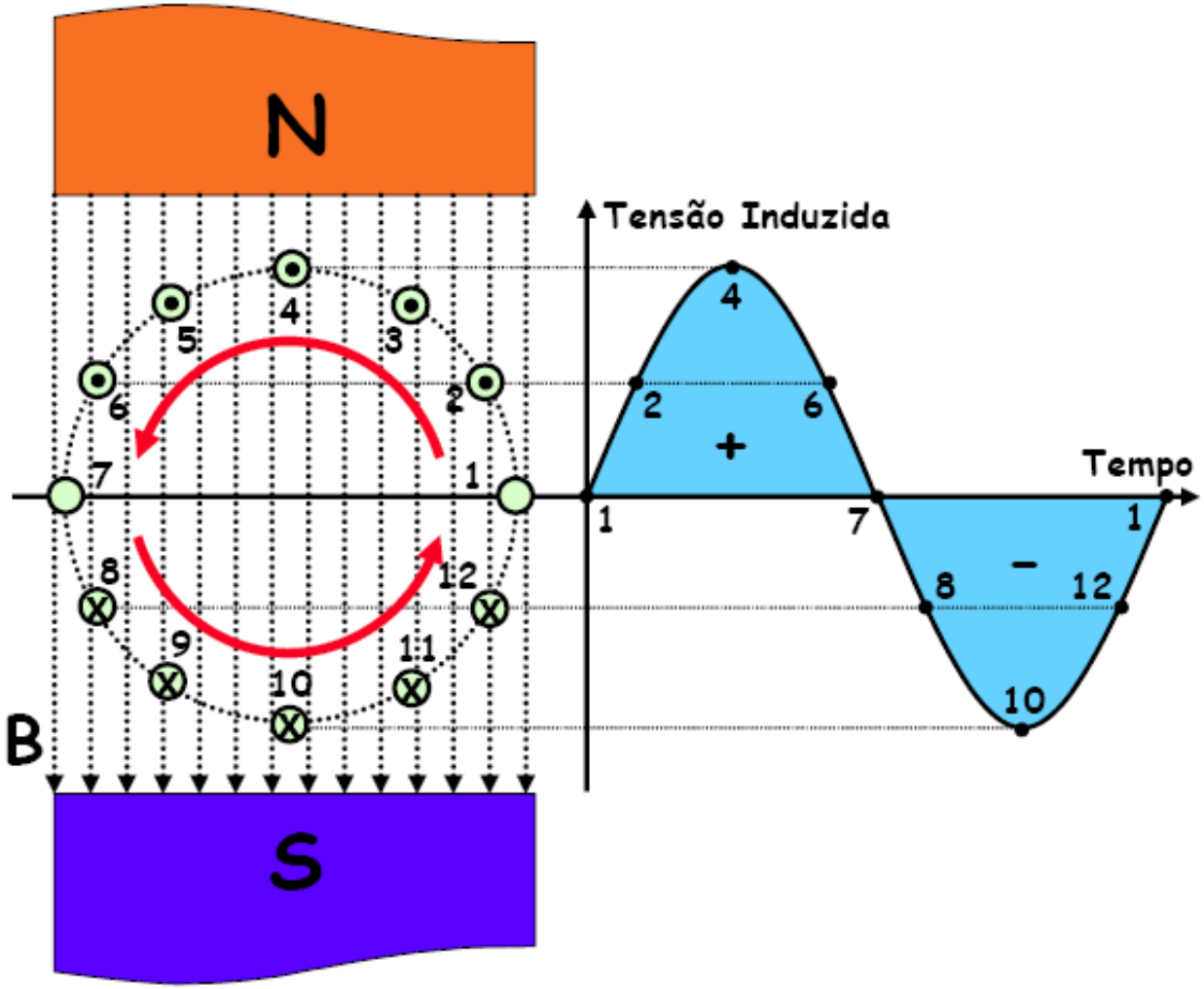
Princípio de Funcionamento do Gerador de CA





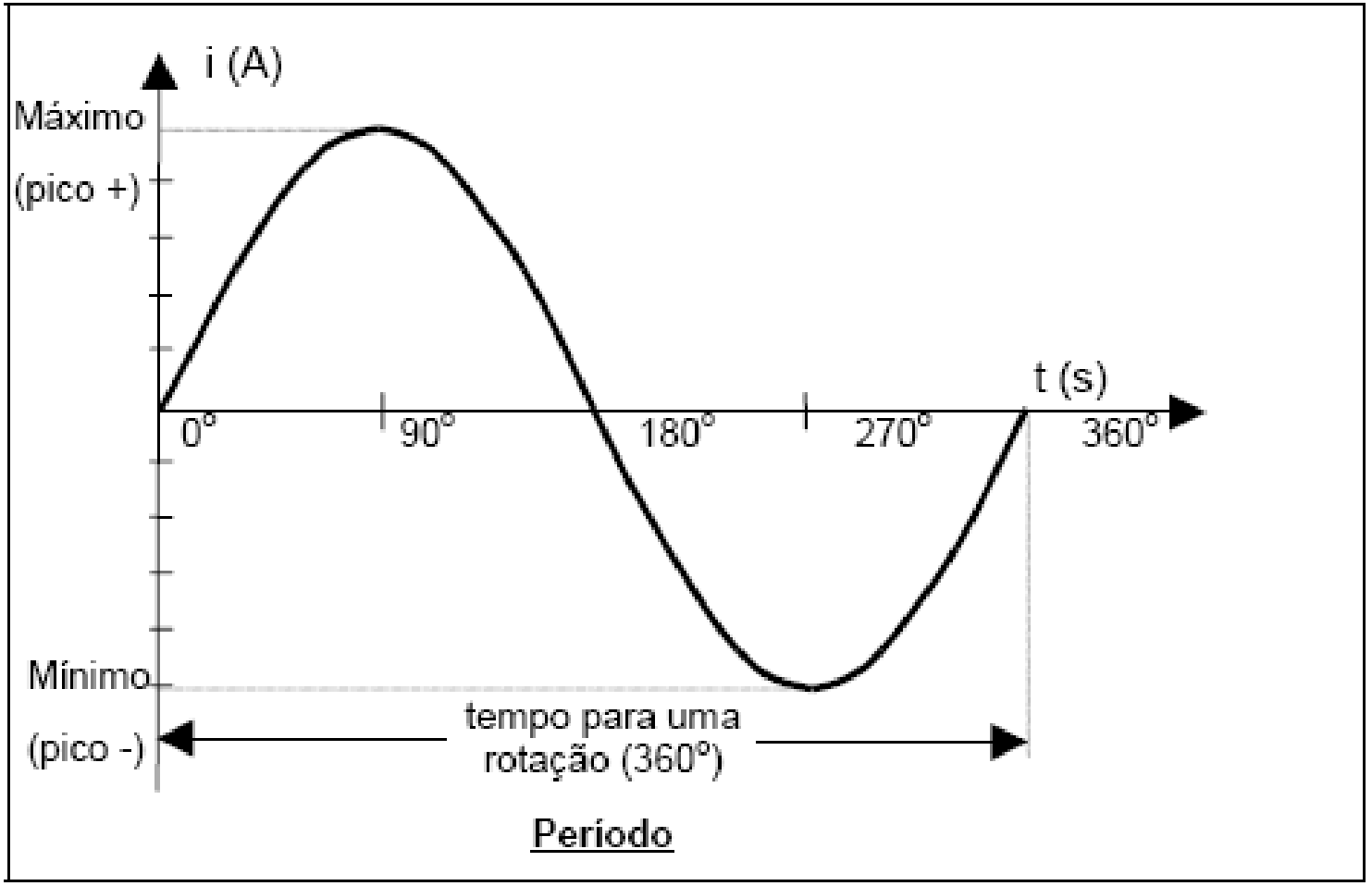
Princípio de Funcionamento do Gerador de CA

Síntese da geração de uma onda senoidal:



Princípio de Funcionamento do Gerador de CA

Gráfico da corrente produzida pelo gerador:



Tensão e Freqüência do Gerador

Para um gerador de dois pólos:

$$\Delta\phi = +\phi_{max} - (-\phi_{max}) = 2\phi$$

Δt	—	½ rotação
60s (1min)	—	n rotações

$$\Delta t = \frac{30}{n}$$

Para um gerador de **p** pólos:

$$\Delta\phi = p \cdot \phi$$

$$e = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$e = -N \cdot \frac{p \cdot \phi}{\frac{30}{n}}$$

$$e = -N \cdot \frac{p \cdot \phi \cdot n}{30}$$

onde:

e – força eletromotriz (tensão) média induzida [V];

ϕ - fluxo magnético por pólo [Wb];

p – número de pólos;

n – velocidade [rpm];

N – número de espiras

Tensão e Freqüência do Gerador

Freqüência da corrente gerada:

2 pólos — n/60 rotações por segundo

p pólos — f rotações por segundo

$$f = \frac{n \cdot p}{120}$$

onde:

f – freqüência da tensão induzida em ciclos por segundo, Hertz [Hz];

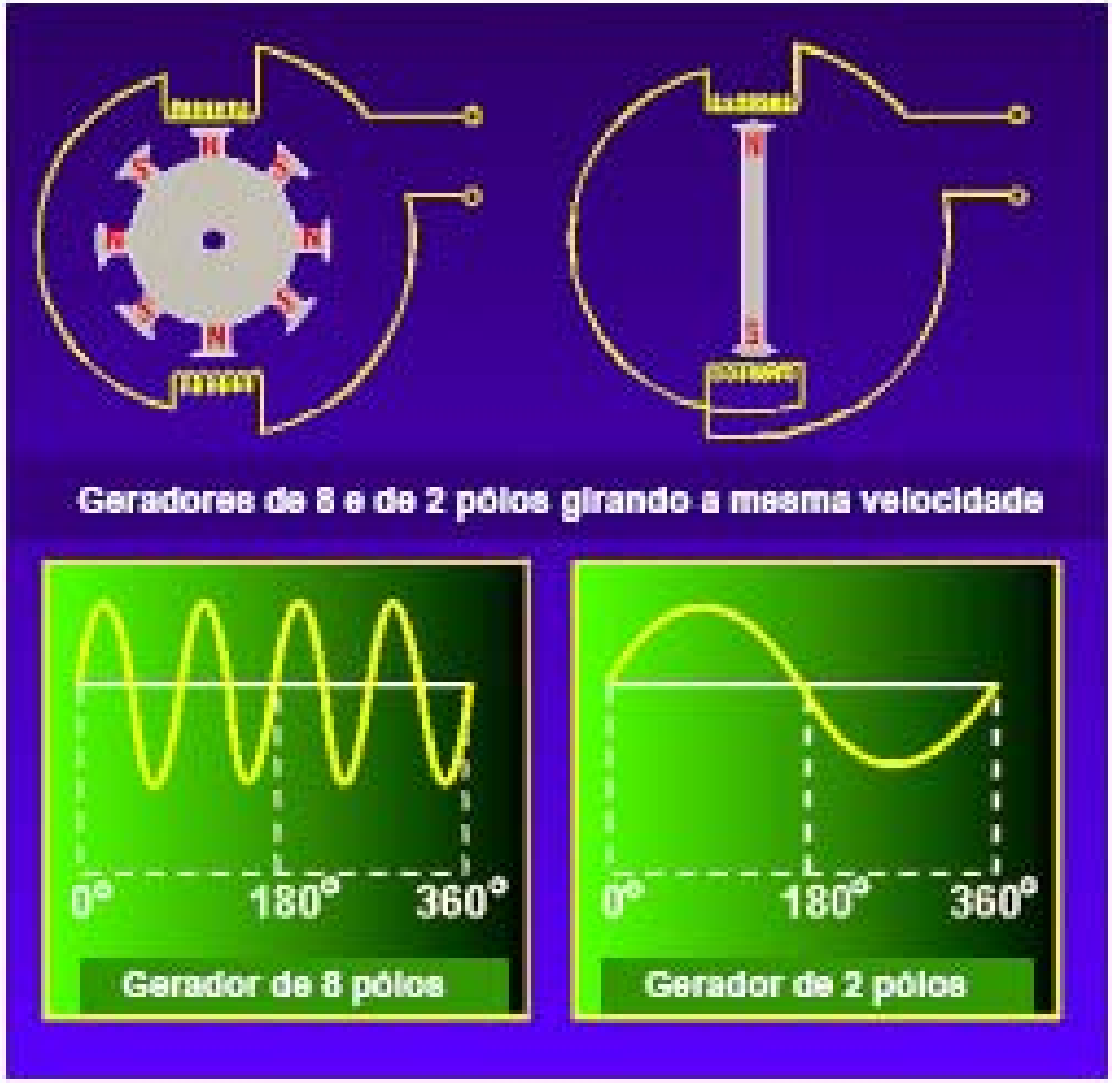
p – número de pólos;

n – rotação em rpm.

$$e = -4 \cdot \phi \cdot f \cdot N$$

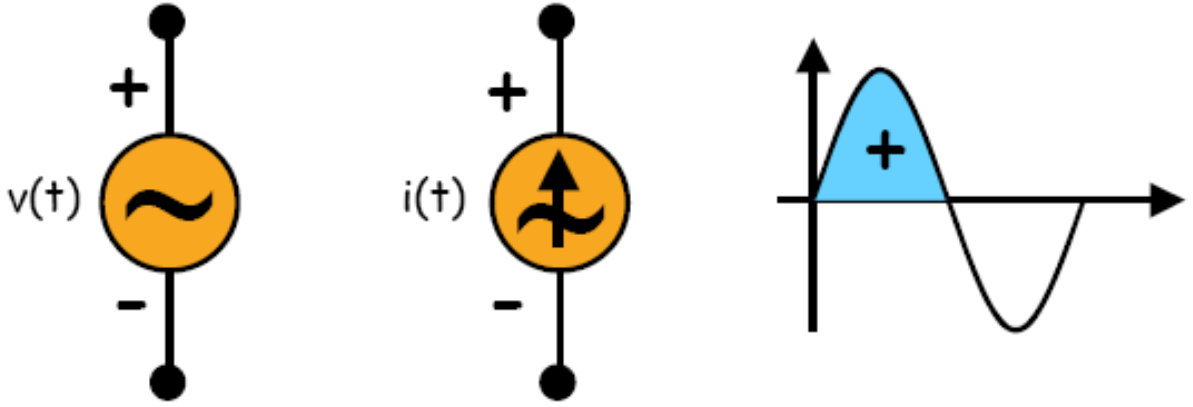
Tensão e Freqüência do Gerador

Influência do número de pólos do gerador na freqüência da tensão gerada.

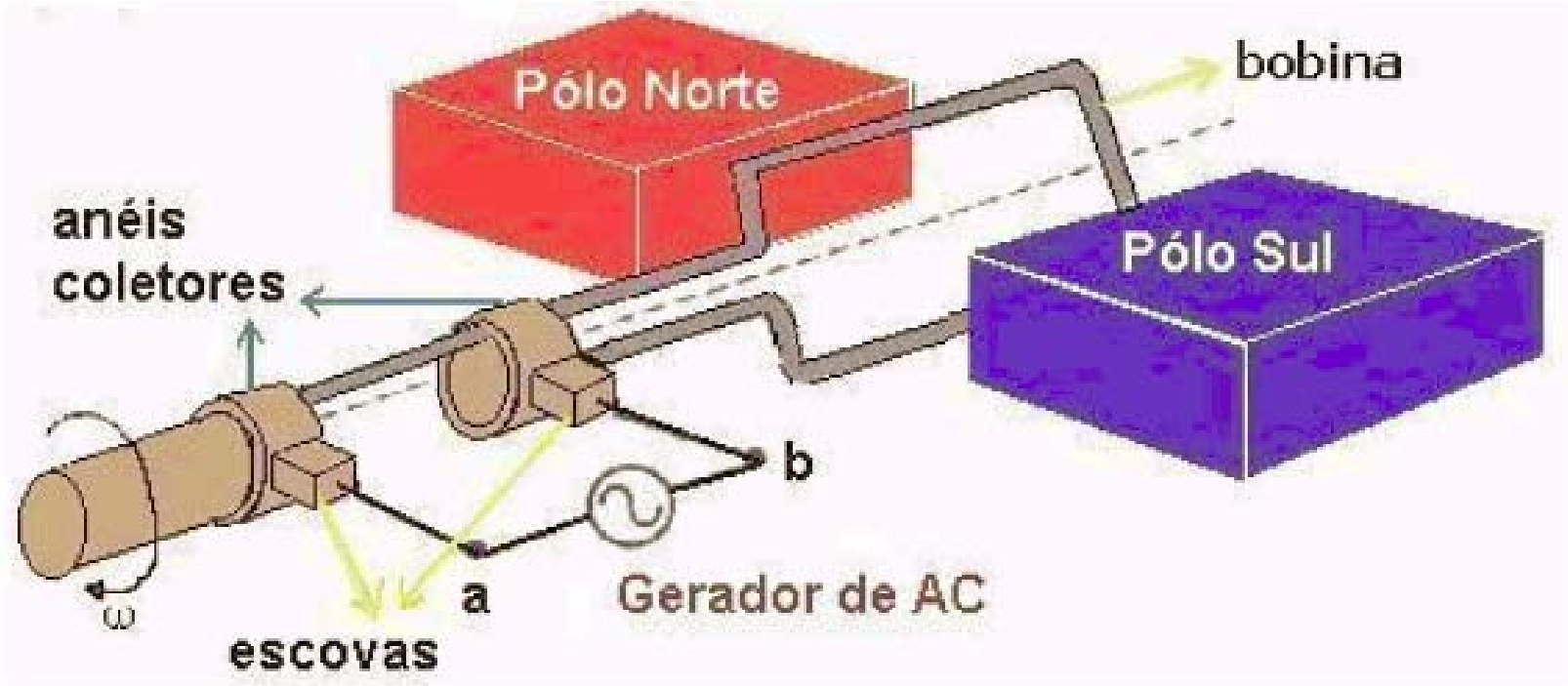


Tensão e Freqüência do Gerador

Símbolos de fontes de tensão e corrente alternadas senoidais:

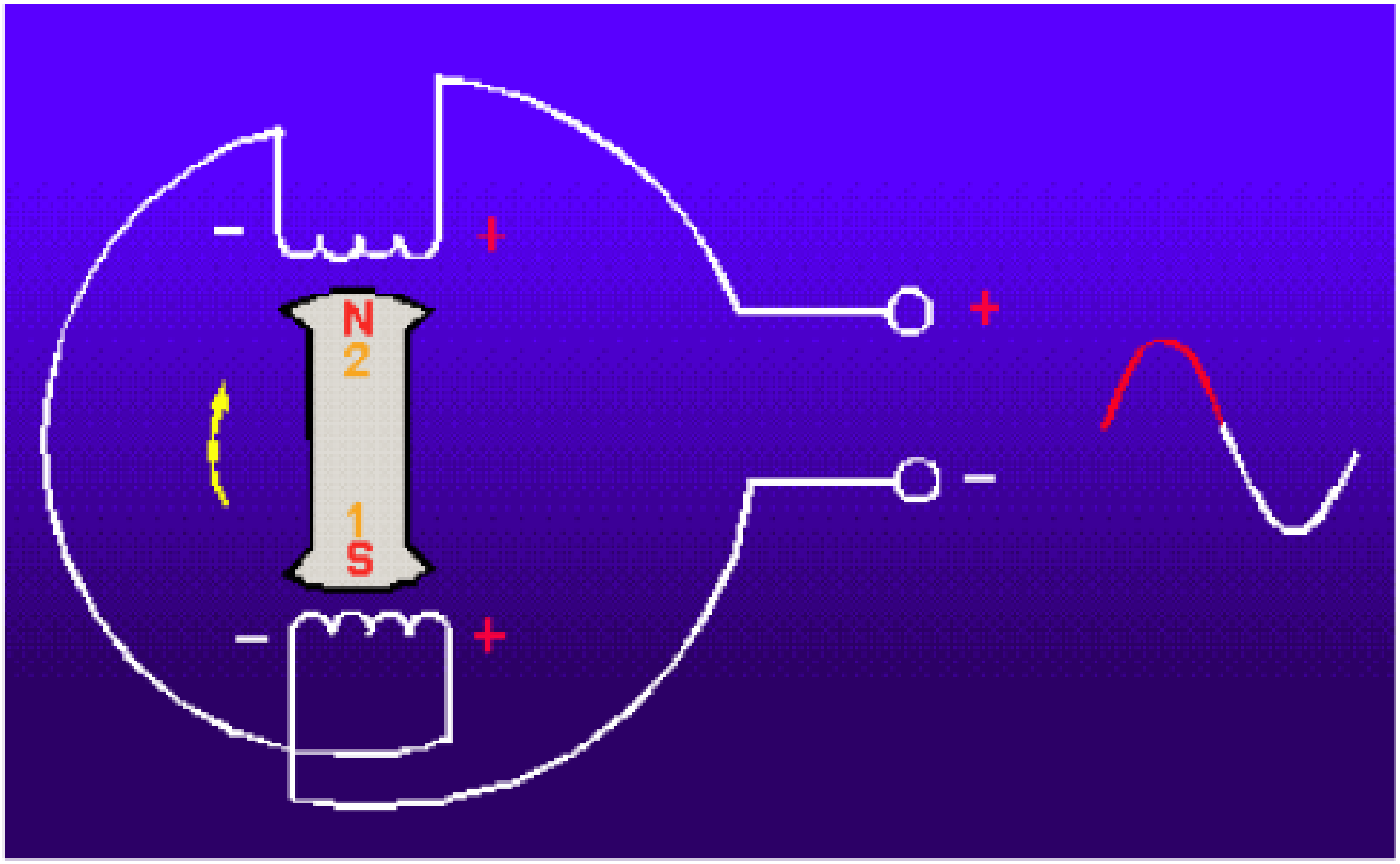


Geradores de Corrente Alternada



Geradores de Corrente Alternada

Gerador de corrente alternada de pólos girantes e armadura estacionária:

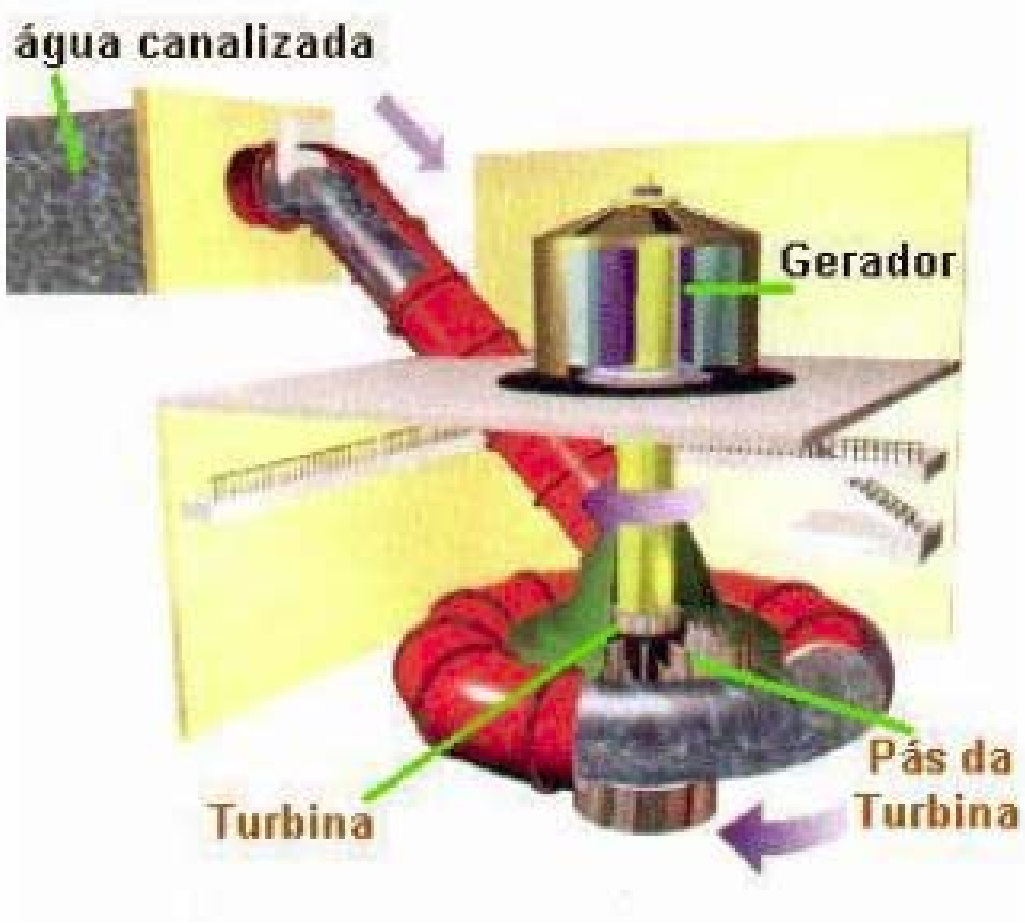


Geradores de Corrente Alternada

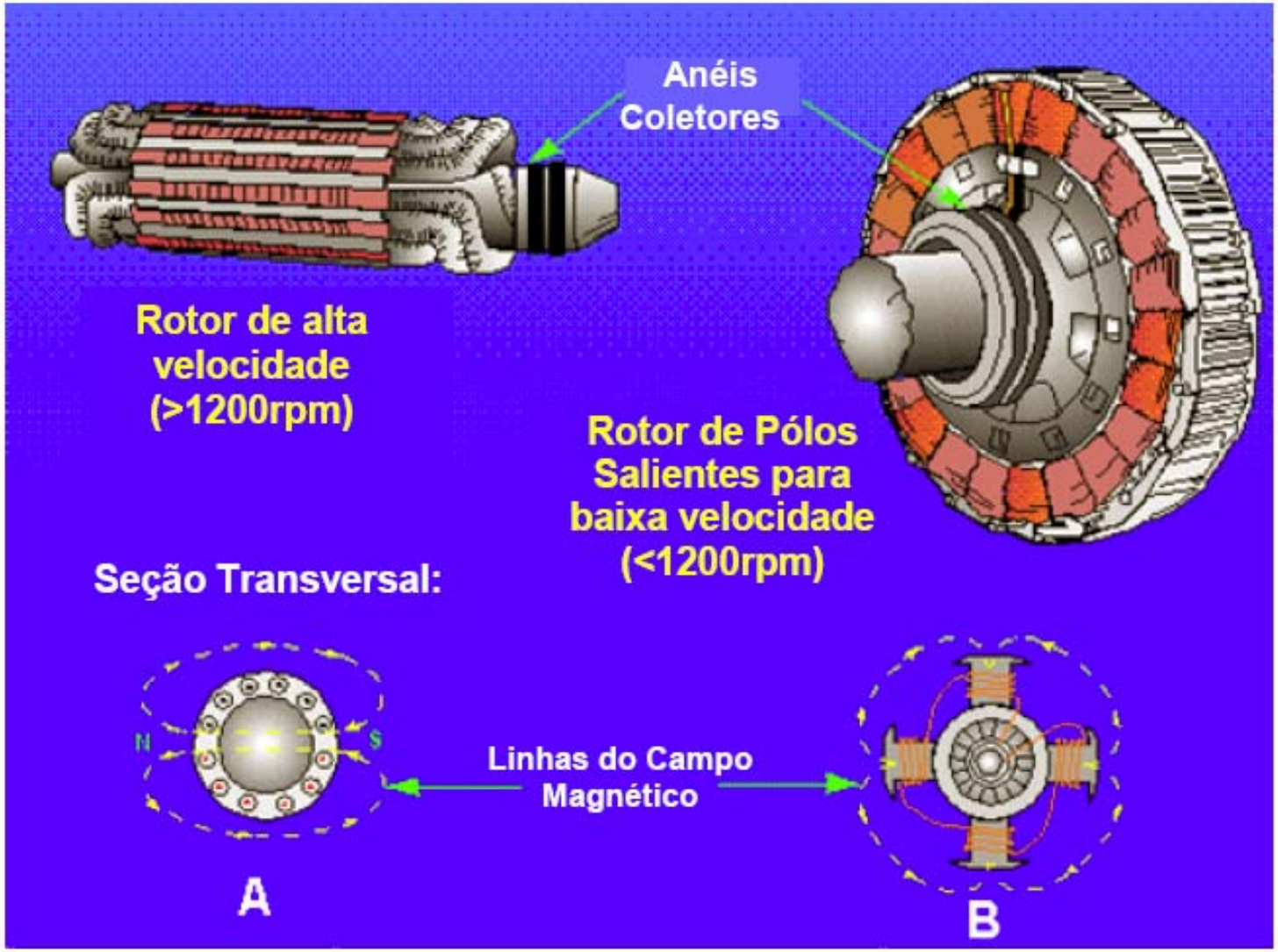
Armadura do estator de um gerador de CA:

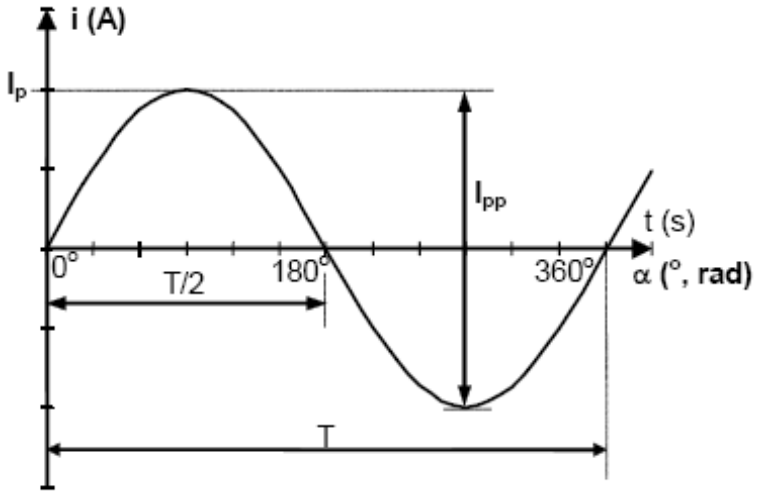
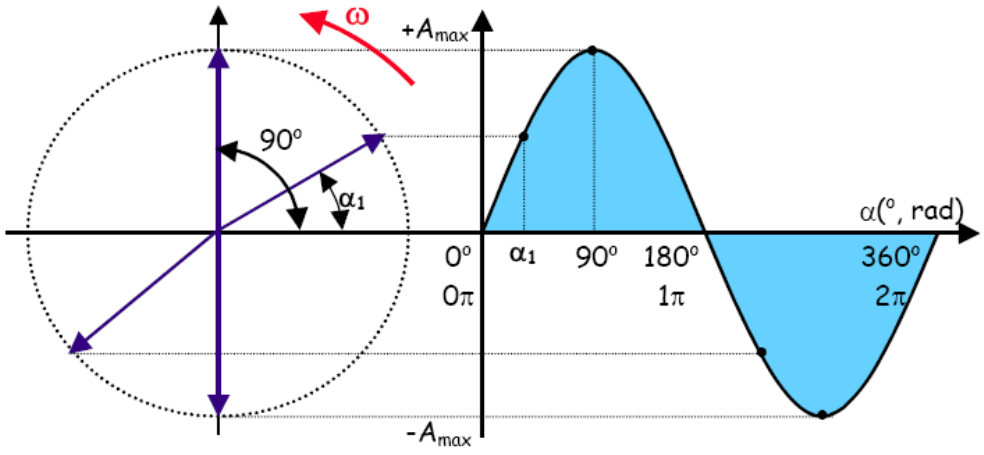
Geradores de Corrente Alternada

Turbina hidráulica acionando o gerador:



Geradores de Corrente Alternada



Próximo assunto

Parâmetros da Forma de Onda da Tensão e da Corrente Alternada Senoidal