

Capítulo III

Correntes contínua e alternada, número complexo, fasor e circuitos resistivo, indutivo e capacitivo

Por Cláudio Mardegan*

CORRENTE CONTÍNUA

Em 1879, Thomas Alva Edison aperfeiçoou a lâmpada e inventou geradores, comutadores, soquetes e fusíveis, tudo em corrente contínua. Em 1882, energizou a primeira usina geradora em corrente contínua em Nova Iorque, nos Estados Unidos.

Os valores de tensão e corrente, em corrente contínua, não passam por zero e em regime, praticamente não variam com o tempo. A Figura 1 ilustra o exposto.

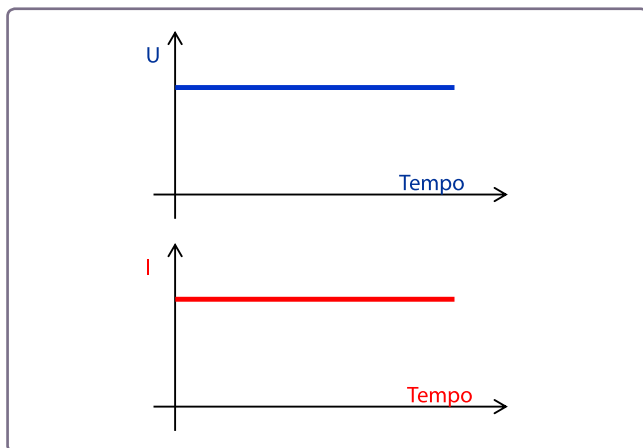


Figura 1 – Variação da tensão e corrente com o tempo em corrente contínua.

Ficou constatado, desde aquela época que, para a corrente contínua:

- A Lei de Ohm é aplicável;
- É também aplicável a Lei de Kirchoff das tensões;

- É também aplicável a Lei de Kirchoff das correntes;
- O valor médio da tensão é diferente de zero;
- O valor médio da corrente é diferente de zero, em condições de carga.

CORRENTE ALTERNADA

Em 1886, George Westinghouse e Nikola Tesla (Figura 2) inventam a corrente alternada. É o primórdio dos sistemas em corrente alternada. Os primeiros sistemas eram monofásicos e, inicialmente, não aterrados.



Figura 2 - George Westinghouse e Nikola Tesla.

A corrente alternada varia com o tempo como indicado na Figura 3.

Como a tensão e a corrente agora variavam senoidalmente com o tempo, as dúvidas que advieram foram:

- Lei de Ohm é aplicável?
- Lei de Kirchoff das tensões é aplicável?
- Lei de Kirchoff das correntes é aplicável?
- O valor médio das tensões e corrente agora são nulos.

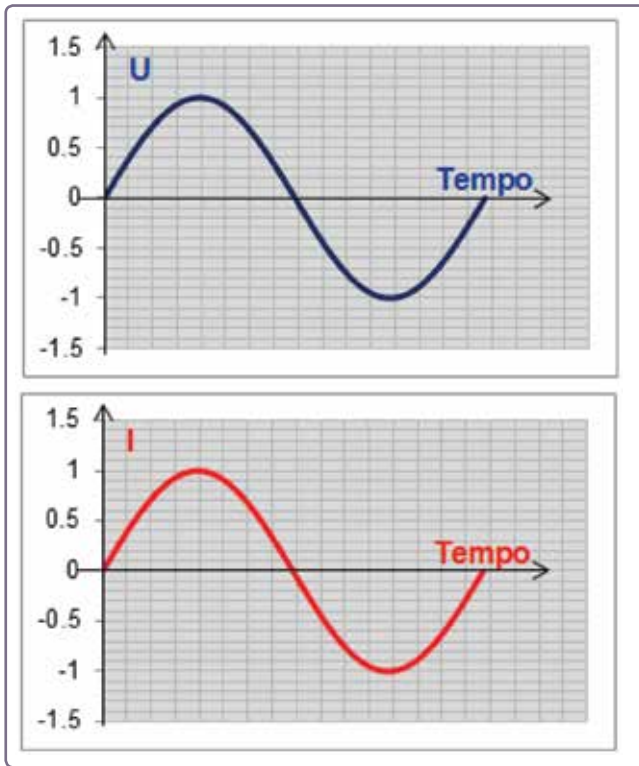


Figura 3 – Variação da tensão e da corrente com o tempo em corrente alternada.

Como calcular estas grandezas nesse novo sistema?
Inventou-se o valor eficaz. Veja definição a seguir.

O VALOR EFICAZ

Hoje é sabido que o valor eficaz de uma grandeza alternada é o valor máximo dividido por raiz de 2. Este valor é conhecido também como valor RMS, que deriva da língua inglesa Root Mean Squared.

Este conceito se baseou no valor de potência.

$$P = R \times I_{RMS}^2 = R \times i(t)^2$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T I_{Máx}^2 \times \text{sen}^2 t \, dt}$$

$$I_{RMS} = \frac{I_{Máx}}{\sqrt{2}}$$

Em outras palavras, o valor eficaz de um valor senoidal será:

$$\text{Valor EFICAZ (RMS)} = \frac{\text{Valor máximo}}{\sqrt{2}} = 0.707 \times \text{Valor máximo}$$

A definição do valor eficaz pode ser visualizada na Figura 4.

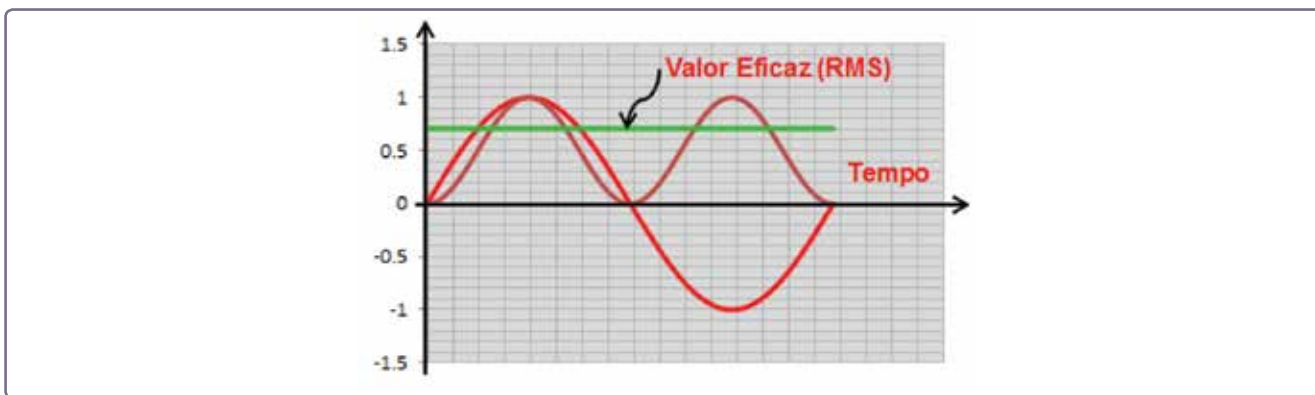


Figura 4 - Visualização gráfica do valor eficaz.

A partir dos esclarecimentos informados anteriormente, as dúvidas foram sanadas:

- Lei de Ohm é aplicável!
- Lei de Kirchoff das tensões é aplicável!
- Lei de Kirchoff das correntes é aplicável!

FASOR

O termo fasor surgiu com o conceito do campo girante. Os geradores síncronos possuem o enrolamento de campo no rotor e este enrolamento é alimentado em corrente contínua, gerando um fluxo constante. Para haver tensão induzida no estator, é necessário haver variação de fluxo. Girando-se o rotor, um ponto no estator irá enxergar o campo constante do rotor variando senoidalmente. A Figura 5 mostra o exposto.

NÚMERO COMPLEXO

Examinando o conceito de fasor, percebe-se que tem tudo a ver com o círculo trigonométrico e também com os números complexos.

Em eletricidade utilizam-se muito os números complexos, cuja forma é dada por:

$$Z = A + j B$$

Em que: A e B são números reais.

O j é um número complexo ($j = \sqrt{-1}$).

O operador “ j ” tem a função apenas de dar um giro de 90° no número real B, para definir então o par ordenado no plano cartesiano (A;B) e desta forma identificar o número complexo Z. Vide Figura 6.

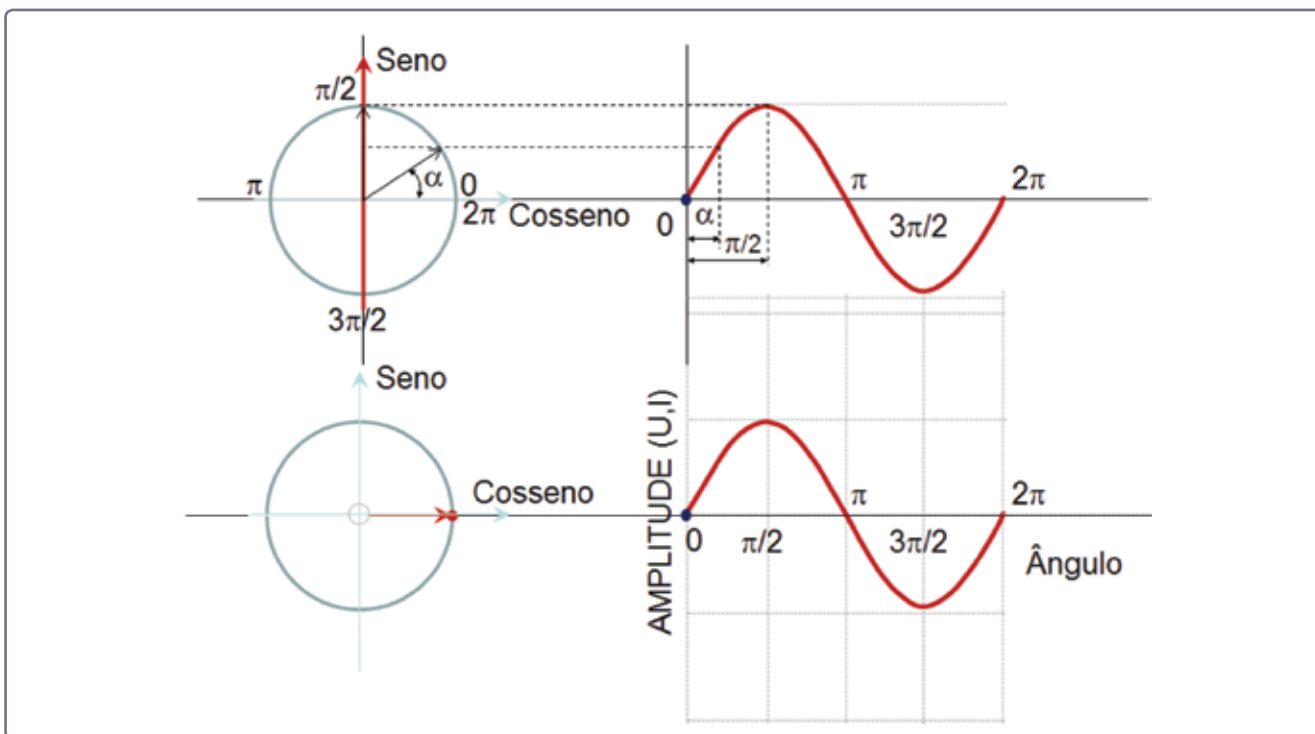


Figura 5 - Fasor girando com uma velocidade constante ω .

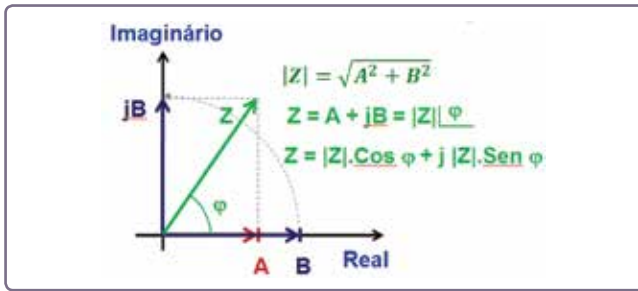


Figura 6 – Número complexo – definição.

CIRCUITOS RESISTIVOS, INDUTIVOS E CAPACITIVOS E SUAS RESPECTIVAS FORMAS DE ONDA

Circuito resistivo é um circuito dito resistivo quando a tensão e a corrente estão em fase, ou seja, a defasagem angular entre suas formas de onda de tensão e corrente é nula.

Circuito indutivo - Um circuito é dito indutivo quando a corrente está atrasada em relação à tensão, ou seja, a defasagem angular (ϕ) entre a forma de onda de corrente em relação à tensão varia entre $0.0 > \phi > -90^\circ$. O caso mais extremo é o circuito puramente indutivo em que a corrente fica atrasada de 90° da tensão.

Circuito capacitivo - Um circuito é dito capacitivo quando a corrente está adiantada em relação à tensão, ou seja, a defasagem angular (ϕ) entre a forma de onda de corrente em relação à tensão varia entre $0.0 < \phi < 90^\circ$. O caso mais extremo é o circuito puramente capacitivo em que a corrente fica adiantada de 90° da tensão.

Fasorialmente, a tensão e as correntes e as formas de onda em circuitos indutivos e capacitivos se comportam como mostrado na Figura 7.

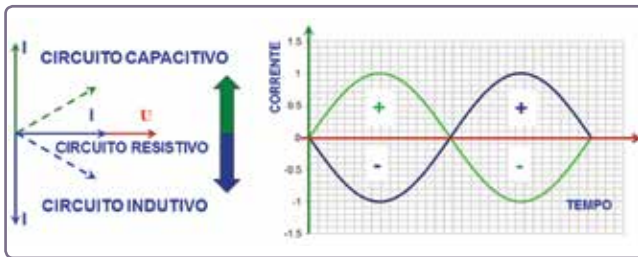


Figura 7 – Fasores de tensão e corrente e forma de onda de corrente indutiva e capacitiva.

DIAGRAMAS FASORIAIS E FORMAS DE ONDA

Uma das maiores dificuldades observadas é que as pessoas quando baixam uma oscilografia, muitas vezes, não conseguem interpretá-la adequadamente. Um dos motivos principais disso deve-se ao fato de não se saber analisar a forma de onda. Por esse motivo, mostram-se a seguir as formas de onda de tensão e corrente para as diversas possibilidades: fator de potência unitário (circuito resistivo), fator de potência atrasado (circuito indutivo) e fator de potência adiantado (circuito capacitivo). Como mencionado, os diversos tipos de circuito, bem como fator de potência, estão

vinculados a uma “certa” direção de circulação de corrente.

As Figuras 8, 9 e 10 mostram a defasagem angular entre a tensão e a corrente para circuitos resistivos, puramente indutivos e puramente capacitivos, respectivamente.

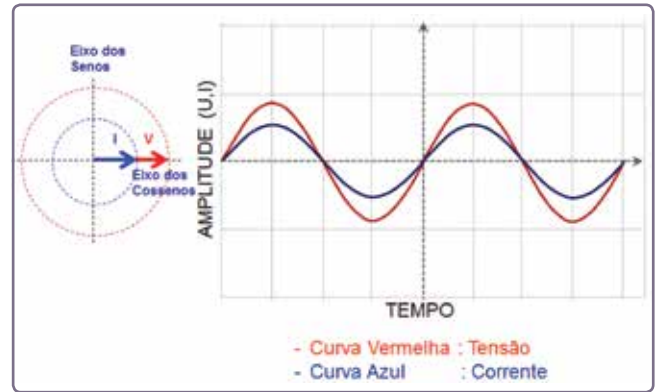


Figura 8 - Forma de onda para um circuito resistivo.

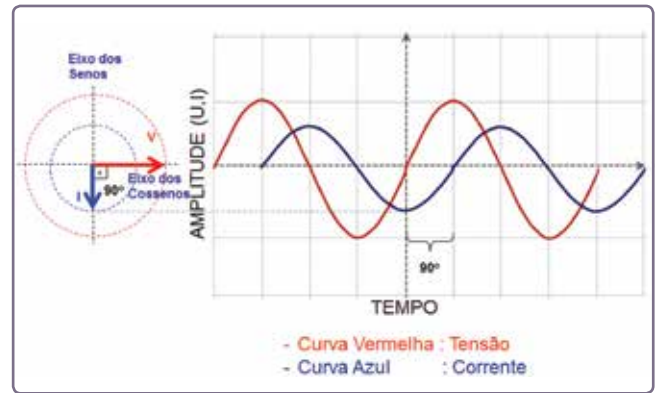


Figura 9 - Forma de onda para um circuito puramente indutivo.

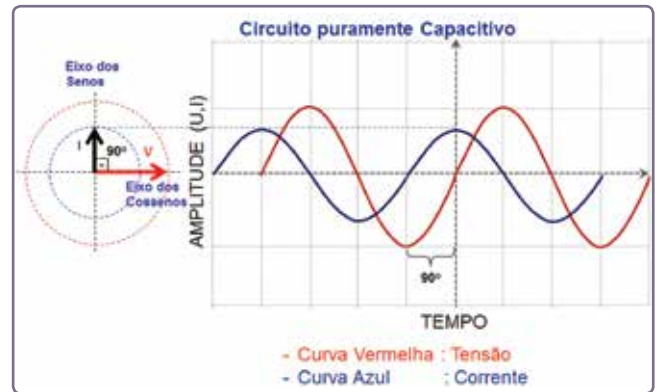


Figura 10 - Forma de onda para um circuito puramente capacitivo.

**Cláudio Sérgio Mardegan é diretor da EngePower Engenharia e Comércio Ltda. É engenheiro electricista formado pela Unifei, especialista em proteção de sistemas elétricos industriais e qualidade de energia, com experiência de mais de 35 anos nesta área. É autor do livro “Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais”, patrocinado pela Schneider, e coautor do “Guia O Setor Elétrico de Normas Brasileiras”. É membro sênior do IEEEE e participa também dos Working Groups do IEEEE que elaboram os “Color Books”. É Chairman do Capítulo 6 do Buff Book, atual 3004 series (3004.6) sobre Ground Fault Protection e também participa de Forensics.*

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br