

PRODUÇÃO DE UMA CORRENTE ALTERNADA SENOIDAL

No capítulo XI vimos que a força eletromotriz induzida num condutor que se movimenta num campo magnético é dada pela expressão

$$E = \beta l v \text{ sen } \alpha$$

e que o valor máximo dessa f. e. m. é

$$E_{\text{max}} = \beta l v$$

Isto significa que a força eletromotriz induzida é máxima quando a direção do movimento do condutor é perpendicular à direção do campo. Quando a direção do movimento do condutor é paralela à direção do campo, não há força eletromotriz induzida.

Observemos a Fig. XIII-1, em que um condutor (do qual se vê apenas um dos extremos) se movimenta num campo magnético uniforme, com movimento circular uniforme.

Na figura, o condutor é apresentado em várias posições, para que possamos analisar a f. e. m. induzida em cada situação.

Na posição "A", a direção do movimento do condutor é paralela à direção do campo magnético (indicada pelas linhas interrompidas, da esquerda para a direita) e, portanto, não há f. e. m. induzida. O mesmo acontece na posição "E",

onde apenas o sentido do movimento do condutor é diferente.

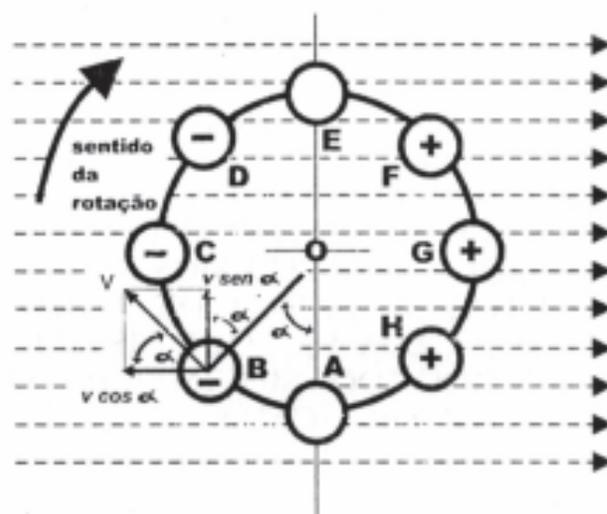


FIG. XIII-1

Na posição "B", a direção do movimento do condutor é dada pelo vetor "v", e forma o ângulo "α" com a direção do campo. O valor da f. e. m. induzida pode ser calculado com a equação acima citada:

$$E = \beta l v \text{ sen } \alpha$$

Vê-se que a força eletromotriz produzida é a mesma que seria produzida por um condutor que se movimentasse de acordo com a direção indicada pelo vetor "v sen α". Ora, "v sen α" nada mais é que o valor da componente do

vetor "v" (em qualquer posição) que é perpendicular à direção do campo.

Na posição "C", a f. e. m. induzida é máxima, pois o vetor "v" se confunde com a sua componente que é perpendicular ao campo magnético, ou, em outras palavras, o seno do ângulo "α" é igual a 1. O mesmo ocorre na posição "G", observado apenas o sentido oposto do movimento.

Nas posições "D", "F" e "H" a situação é semelhante à da posição "B".

Nas posições "B", "C", "D", "F", "G" e "H" foram colocados sinais indicando a situação elétrica do extremo do condutor que está sendo observado. Com auxílio da regra da mão esquerda (ou com a da mão direita) é fácil verificar a exatidão do que foi representado na gravura. **TRATA-SE, COMO SE VÊ, DE UMA FORÇA ELETROMOTRIZ ALTERNADA, PORQUE OS EXTREMOS DO CONDUTOR MUDARÃO DE POLARIDADE CADA VEZ QUE MUDAR O SENTIDO DO MOVIMENTO DO CONDUTOR (CADA VEZ QUE COMPLETAR A METADE DA TRAJETÓRIA CIRCULAR).**

O exame atento da figura mostramos que o ângulo formado pela direção do movimento do condutor com a direção do campo é igual ao ângulo descrito pelo condutor em seu movimento da posição "A" para a posição considerada. É muito mais conveniente considerar este novo ângulo, principalmente porque ele corresponde ao arco descrito pelo condutor. O valor desse arco ou desse ângulo é facilmente determinado, sendo conhecida a velocidade angular do condutor (ω), e é igual a

$$\alpha = \omega t$$

Em face do exposto, a equação referente à f. e. m. induzida tem a forma abaixo:

$$e = \beta l v \text{ sen } \omega t$$

ou

$$e = E_{\text{max}} \text{ sen } \omega t$$

e = valor instantâneo da força eletromotriz induzida, em VOLTS (V)

O valor instantâneo da intensidade da corrente produzida por uma tensão como essa é, evidentemente, dado pela expressão

$$i = I_{\text{max}} \text{ sen } \omega t$$

Verifica-se, do que foi estudado, que o valor da força eletromotriz induzida (ou da corrente por ela provocada) varia de acordo **SOMENTE** com a variação do seno do ângulo, pois o valor da densidade de fluxo magnético, o comprimento do condutor e a velocidade deste não variam.

Como poderia ser representada graficamente uma tensão ou corrente alternada produzida da maneira estudada?

Em face do exposto, nada melhor para isto do que uma **SENÓIDE**, isto é, a representação gráfica da variação do seno de um ângulo. (Fig. XIII-2.)

Uma tensão alternada que pode ser representada por uma senóide, como no caso que estamos estudando, é denominada **TENSÃO ALTERNADA SENOIDAL**.

A corrente produzida por uma tensão senoidal é uma **CORRENTE ALTERNADA SENOIDAL**.

O método em estudo não é o único para produção de tensões ou correntes senoidais, mas a sua apresentação é oportuna e continuaremos fazendo referência à figura inicial.

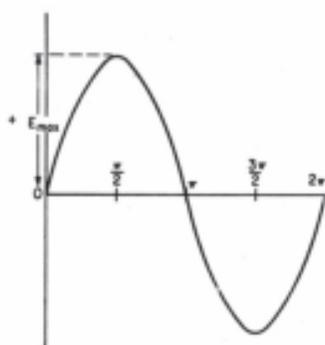


FIG. XIII-2

Uma senoide representa não só os diferentes valores por que passa a f. e. m. induzida, como também indica a mudança de polaridade nos extremos do condutor. Uma das metades da senoide representa a variação do valor da tensão, de zero (A) a um valor máximo (C) e depois a zero (E) (tudo quando o condutor corta o campo num sentido – subindo, na figura) e a outra metade representa a mesma seqüência de valores (pontos E, F, G e H) quando o condutor se movimenta no campo em sentido oposto (descendo, na figura).

Frequência de uma Corrente Alternada

Chamamos de CICLO à seqüência de valores representados pela senoide. Corresponde a todos os valores produzidos pelo movimento do condutor nos dois sentidos.

Qualquer das metades da senoide que representa o ciclo é chamada de ALTERNAÇÃO, e corresponde apenas aos valores produzidos pelo movimento do condutor num dos sentidos.

Um ciclo recebe também o nome de ONDA ou ONDA COMPLETA. Uma alternância é conhecida também por MEIO CICLO, MEIA ONDA ou ALTERNÂNCIA. Matematicamente dizemos que a alternância sobre o eixo de referência é POSITIVA e a outra é NEGATIVA.

Se o condutor continuar girando no campo magnético com velocidade uniforme, outros ciclos serão produzidos. O NÚMERO DE CICLOS PRODUZIDOS NA UNIDADE DE TEMPO É O QUE CHAMAMOS DE FREQUÊNCIA (f) DA CORRENTE ALTERNADA. Esta grandeza é expressa em uma unidade chamada HERTZ (Hz).

Um hertz corresponde a UM CICLO POR SEGUNDO (c/s). São usados normalmente os seguintes múltiplos do hertz:

$$\text{Megahertz (MHz)} = 1.000.000 \text{ Hz}$$

$$\text{Quilohertz (kHz)} = 1.000 \text{ Hz}$$

PERÍODO (T) de uma tensão ou corrente alternada é o tempo necessário para completar um ciclo. É fácil concluir que esta grandeza é o inverso da freqüência:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \text{em SEGUNDOS (s)}$$

$$f = \text{em HERTZ (Hz)}$$

Grau Elétrico de Tempo

Quando uma tensão senoidal é representada graficamente, sua grandeza é indicada ao longo do eixo vertical, e no eixo horizontal podem ser indicados os valores dos ângulos ou arcos descritos pelo condutor. No caso da figura que mostra a produção de uma corrente alternada senoidal, um ciclo de tensão seria completado quando o condutor descrevesse uma volta completa (360°). Assim, os valores mínimos e máximos da tensão produzida (pontos "A", "C", "E", "G" e "A") seriam referidos, respectivamente, a 0°, 90°, 180°, 270° e 360°.

A indicação dos valores dos ângulos (ou arcos) no eixo horizontal não é prática, pois quando são usados mais de dois pólos para produzir o campo magnético, vários ciclos podem ser produzidos com uma única volta do condutor. Isto significa, por exemplo, que numa máquina de 4 pólos o condutor teria de completar apenas meia volta (180°) para realizar um ciclo; numa máquina de 8 pólos, teria de completar um quarto de volta (90°), etc.

Outro sistema seria o de graduar o eixo horizontal com unidades de tempo, mas é fácil avaliar a desvantagem da medida, pois a duração de um ciclo (o seu período) varia com a frequência.

Para sair deste impasse, foi adotado o que se convencionou chamar de GRAU ELÉTRICO DE TEMPO.

O grau elétrico de tempo corresponde sempre a 1/360 do período, seja qual for a frequência. Deste modo, um ciclo sempre será realizado em 360 graus elétricos, e os valores da tensão ou da corrente alternada serão referidos a graus elétricos. Por exemplo, uma tensão alternada sempre é nula nos pontos do eixo horizontal marcados 0, 180 e 360 graus elétricos, e é máxima nos pontos marcados 90 e 270 graus elétricos. O tempo expresso por um grau elétrico de tempo depende, evidentemente, da frequência da tensão ou corrente representada.

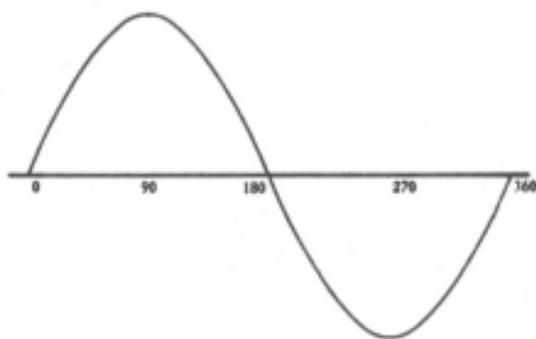


FIG. XIII-3

Quando é produzido um ciclo de tensão ou corrente alternada, o condutor passa por 360 graus elétricos de tempo, e o tempo necessário para completar o ciclo é igual a 1/f segundo. Se convertermos graus elétricos de tempo em radianos elétricos de tempo, concluiremos que a velocidade angular elétrica do condutor será:

$$\omega = \frac{2\pi}{1/f} = 2\pi f \text{ radianos por segundo (rd/s)}$$

Em conseqüência, as EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DOS VALORES INSTANTÂNEOS DE UMA TENSÃO OU CORRENTE ALTERNADA TOMAM AS FORMAS ABAIXO:

$$e = E_{\max} \text{ sen } 2\pi f t$$

$$i = I_{\max} \text{ sen } 2\pi f t$$

Relação entre Número de Pólos, Rotações por Minuto e Frequência de um Alternador

ALTERNADOR é o nome dado a uma máquina geradora de corrente alternada.

A frequência da tensão ou corrente alternada produzida por um alternador depende do número de rotações do mesmo, pois, como dissemos em um dos parágrafos anteriores, quanto maior o número de voltas que o condutor completar, maior o número de ciclos produzidos.

Também o número de pólos da máquina influi na frequência. Conforme o número de pólos, poderão ser completados vários ciclos em cada rotação da máquina. Há a seguinte relação entre o número de pólos da máquina e o número de ciclos produzidos para cada volta completa do condutor:

2 pólos – 1 ciclo
 4 pólos – 2 ciclos
 6 pólos – 3 ciclos
 etc.

As observações acima permitem escrever a equação que se segue, com a qual é possível determinar a frequência de um alternador:

$$f = \frac{np}{60}$$

f = frequência, em HERTZ (Hz)
 n = número de rotações por minuto (rpm) da máquina
 p = quantidade de pares de pólos

Valores Médio, Eficaz e Pico a Pico de uma Força Eletromotriz ou Corrente Senoidal

O valor médio (ou ordenada média) de uma tensão ou corrente senoidal é a média aritmética dos valores instantâneos de uma alternância. Considera-se apenas uma alternância porque o valor médio da onda completa é zero, visto que os valores de uma alternância se repetem na outra. Evidentemente, quanto maior o número de ordenadas consideradas na determinação do valor médio, maior a precisão do cálculo.

O valor médio pode ser determinado também dividindo-se a superfície limitada por uma alternância, pelo comprimento da alternância considerado no eixo dos tempos. Demonstra-se matematicamente que a área em questão é igual ao dobro do valor máximo da senoide. Como o comprimento a que nos referimos é igual a π radianos, podemos escrever que

$$E_m = \frac{2E_{\max}}{\pi} \quad E_m = \text{valor médio da tensão}$$

$$I_m = \frac{2I_{\max}}{\pi} \quad I_m = \text{valor médio da corrente}$$

Seja qual for o método usado para determinar a área correspondente à alternância, o que pode ser feito inclusive com um planímetro ou até com auxílio de papel milimetrado, o valor encontrado para o valor médio corresponderá a aproximadamente 63% do valor máximo:

$$E_m = 0,636 E_{\max}$$

e

$$I_m = 0,636 I_{\max}$$

De significativa importância é o que chamamos de VALOR EFICAZ ou VALOR RMS de uma tensão ou corrente alternada.

O valor eficaz de uma corrente alternada é o valor que ela deveria ter, se fosse constante (como uma C. C. constante), para produzir uma certa quantidade de calor num determinado tempo. Quando dizemos que uma corrente alternada tem, por exemplo, um valor eficaz de 1 ampère, isto quer dizer que ela é capaz de produzir tanto calor por segundo quanto uma corrente contínua constante de 1 ampère. Convém não esquecer que para apresentar esse valor eficaz ela estará variando entre zero e um valor maior que 1 ampère.

Matematicamente, o valor eficaz é A RAIZ QUADRADA DA MÉDIA DOS QUADRADOS DOS VALORES INSTANTÂNEOS DA CORRENTE. A designação de VALOR RMS corresponde às letras iniciais das palavras acima sublinhadas, quando a frase é escrita em inglês (ROOT – MEAN – SQUARE).

O resultado do cálculo em questão

mostra que o valor eficaz está relacionado com o valor máximo da seguinte maneira:

$$I_{ef} = 0,707 I_{max}$$

I_{ef} = valor eficaz da corrente

Naturalmente, o valor eficaz da tensão que produz um certo valor eficaz de corrente também está relacionado do mesmo modo com o valor máximo:

$$E_{ef} = 0,707 E_{max}$$

E_{ef} = valor eficaz da tensão

Geralmente, quando se fala de uma corrente alternada faz-se referência ao seu valor eficaz, e os medidores indicam comumente valores eficazes; assim, salvo se for feita qualquer referência, sempre que dermos um valor de tensão ou de corrente em um problema estaremos utilizando valores eficazes.

O valor pico a pico de uma tensão ou corrente senoidal é igual a duas vezes o seu valor máximo. Trata-se de um valor importante e que merece atenção especial no uso de certos componentes eletrônicos.

EXEMPLOS:

1 – Qual o tempo necessário para que uma força eletromotriz senoidal, cuja frequência é de 50 Hz, passe do valor zero à metade do seu valor máximo?

SOLUÇÃO:

$$e = E_{max} \text{ sen } \omega t$$

$$\omega t = \text{ângulo cujo seno é } \frac{e}{E_{max}}$$

$$\omega t = \text{ângulo cujo seno é } 0,5$$

$$\omega t = 30^\circ$$

O período (tempo correspondente a um ciclo) é:

$$\frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}$$

O tempo correspondente a um grau:

$$\frac{0,02}{360} = 0,00005 \text{ s}$$

Tempo correspondente a 30° , ou o tempo necessário para que a f. e. m. atinja a metade do seu valor máximo:

$$0,00005 \times 30 = 0,0015 \text{ s}$$

2 – Uma onda senoidal de força eletromotriz tem uma frequência de 60 Hz e um valor máximo de 220 V. Determinar o valor instantâneo da tensão, quando ωt é igual a 50° , e a velocidade angular da onda.

SOLUÇÃO:

$$e = E_{max} \text{ sen } \omega t$$

$$e = 220 \text{ sen } 50^\circ$$

$$e = 220 \times 0,76604$$

$$e = 168,5 \text{ V}$$

$$\omega = 2 \pi f$$

$$\omega = 6,28 \times 60 = 376,8 \text{ rd/s}$$

PROBLEMAS

PRODUÇÃO DE UMA C. A. SENOIDAL. VALORES DE UMA C. A. SENOIDAL

1 – A quantos graus elétricos corresponde um grau de ângulo em um alternador de 6 pólos? E de 4 pólos?

R.: 3; 2

2 – O período de uma onda senoidal é 0,04 segundo: Determinar:

- a) a frequência;
- b) o tempo necessário para que a onda passe de zero a um valor máximo positivo;
- c) o tempo correspondente a cada grau elétrico.

R.: 25 Hz; 0,01 s; 0,000 111 s

3 – Uma onda senoidal tem uma frequência de “f” hertz. Expressar em termos de “f” o tempo correspondente a uma alternância e o tempo correspondente a um grau elétrico.

R.: $1/2f$ s; $1.360f$ s

4 – Um alternador funciona a 600 r. p. m. Sabendo que possui 10 pólos, determinar sua frequência.

R.: 50 Hz

5 – A quantas r. p. m. deve funcionar um alternador de 6 pólos, para que

a frequência da tensão que produz seja de 25 Hz?

R.: 500 r. p. m.

6 – Qual é a frequência de uma onda senoidal cuja velocidade angular é de 314 radianos por segundo?

R.: 50 Hz

7 – Calcular o valor médio de uma corrente senoidal cujo valor máximo é 10 A.

R.: 6,36 A

8 – Sabendo que o valor médio de uma força eletromotriz senoidal é 200 V, determinar o seu valor máximo e o seu valor instantâneo a 10° .

R.: 314 V; 54,51 V

9 – Sabendo que uma corrente alternada senoidal tem um valor eficaz de 80 A, calcular seus valores médio e máximo.

R.: 72 A; 113 A