Autor: Roberto Salmeron

Eletromagnetismo - Noções elementares sobre Correntes Alternadas

1: Geradores de corrente alternada

a. Corrente alternada

Chama-se **corrente alternada** aquela que muda de sentido. Por exemplo, nos metais a corrente é constituída por elétrons que se deslocam. Então, num metal, a corrente alternada é aquela em que os elétrons se deslocam, ora num sentido, ora noutro, executando um movimento de vaivém.

b. Geradores

Vimos, no capítulo 16, que os geradores de corrente alternada são formados pelos quadros plano sem movimento de rotação uniforme num campo magnético uniforme. Já vimos que, sendo $\vec{B}$ a indução magnética do campo, S a área do quadro, ω a velocidade angular, a força eletromotriz induzida no quadro no instante t é:

$$e = \omega\left|\vec{B}\right|S.sen\omega t$$

As grandezas ω, $\vec{B}$, S são constantes. Então o valor máximo da força eletromotriz é aquele em que o $sen\omega t$ é máximo, isto é, $sen\omega t = +1$:

$$E_{máx} = \omega.\left|\vec{B}\right|S$$

O valor da força eletromotriz num instante t pode ser escrito do seguinte modo:

$$e = E_{máx}.sen\omega t$$

A figura 324 é uma representação gráfica da força eletromotriz em função do tempo. Vemos que no primeiro meio período a f.e.m. é positiva, e no segundo meio período é negativa. Fisicamente, isso significa que, quando ligamos aos polos A e B do gerador o circuito externo, durante o

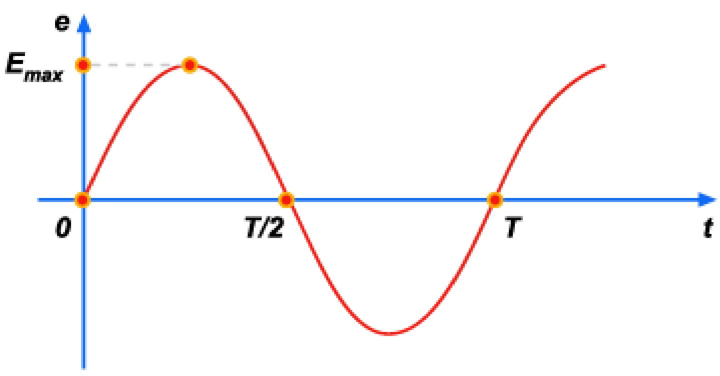

Figura 324

primeiro meio período o potencial de uma das extremidades do circuito é maior que o da outra, por exemplo, o de A é maior que o de B: a corrente passa de A para B (fig. 325).

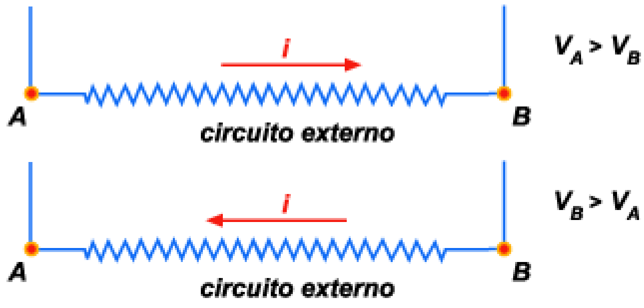

Figura 325

E no segundo meio período, o potencial de B é maior que o de A: a corrente passa de B para A (figura ao lado). No circuito externo os elétrons executam um movimento de vaivém.

c. Caso de n espiras

Os geradores não são formados de um só quadro, mas de muitos, ligados em série, como indica a Figura abaixo. Neste caso, cada quadro é chamado uma **espira**. Sendo **n** o número de quadros ligados em série, a f.e.m. induzida no instante **t** vale:

$$e = n\omega\left|\vec{B}\right|S.sen t\omega t$$

e a f.e.m. máxima:

$$E_{máx} = n\omega.\left|\vec{B}\right|S$$

Autor: Roberto Salmeron

Exemplo

Um alternador é constituído por 50 quadros ligados em série, cada um de 150 cm^2, que giram com movimento de rotação uniforme executando 1.500 rotações por minuto, em um campo magnético uniforme de 10.000 gauss.

Pede-se:

a) a f.e.m. induzida máxima;

b) a lei de variação da f.e.m. em função do tempo;

c) um gráfico, em escala, da f.e.m. em função do tempo, para um período.

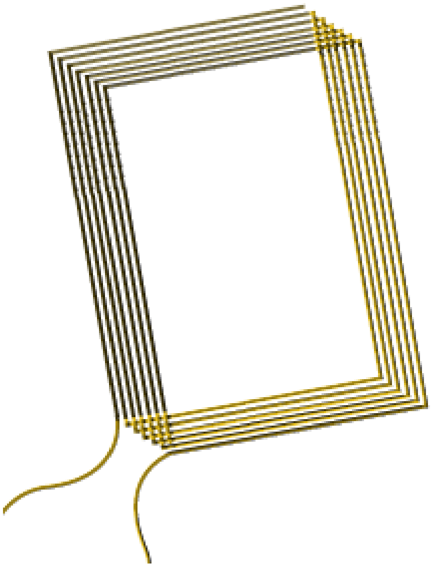

Figura 326

Solução

$$n = 50$$

$$\left|\vec{B}\right| = 10.000\,gauss$$

$$S = 150cm^2$$

frequência: $f = 1.500\dfrac{rotações}{minuto} = 25\dfrac{rotações}{segundo}$

A velocidade angular do quadro é: $\omega = 2\pi f$

$$\omega = 2.3{,}14.25 \text{ ou } \omega = 157\frac{radianos}{segundo}$$

a) **F.E.M. máxima**:

$$E_{máx} = n\omega\left|\vec{B}\right|S = 50.157.10.000.140$$

$$E_{máx} = 117{,}75.10^8\,abvolts = 117{,}75volts$$

b) $e = E_{máx}sen\omega t$

$$e = 117{,}75.sen\ 175\ t\ volts$$

Autor: Roberto Salmeron

c) Se a frequência é 25 rotações/segundo, o período é $T = \dfrac{1}{25seg}$.

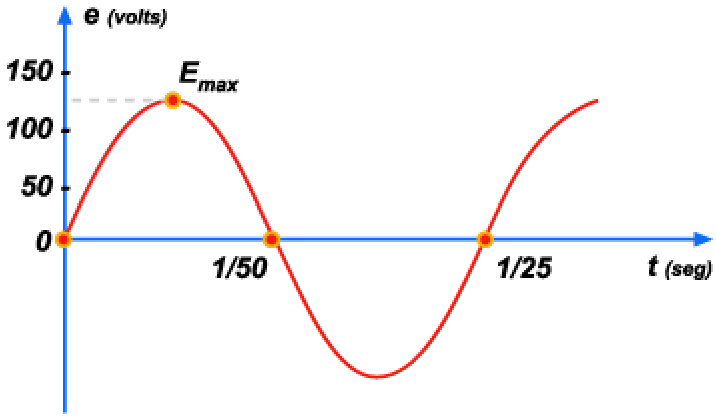

Figura 327

Nota

A velocidade angular ω, é avaliada em radianos/segundo. O tempo t é avaliado em segundos. Então, o ângulo ωt é avaliado em radianos, pois $\dfrac{radiano}{segundo} \times segundo = radiano$. Se necessitarmos calcular o $sen\omega t$ que aparece nas fórmulas estudadas, precisamos transformá-lo de radianos para graus.

2: Observação sobre a lei de Faraday-Neumann

No capítulo dissemos que fisicamente a lei de Faraday-Neumann significa o seguinte:
a f.e.m. induzida em um condutor é tanto maior quanto mais rápida for a variação do fluxo magnético. Vemos agora pela fórmula $e = \omega \left| \vec{B} \right| S.sent\omega t$ que a f.e.m. induzida no quadro é diretamente proporcional à velocidade angular ω ·. Portanto, quanto mais depressa girar o quadro, maior será a f.e.m. induzida.

Para fixar bem este ponto refaçamos o problema anterior, supondo que os quadros executem 3.000 rotações por minuto, em vez de 1.500. Como a velocidade angular é agora o dobro, a variação do fluxo é duas vezes mais rápida. Então a f.e.m. será o dobro do anterior.

Com efeito, temos:

$$f = 3000 \frac{rotações}{minuto} = 50 \frac{rotações}{segundo}$$

$$\omega = 2\pi f = 2.3{,}14.50 \text{ ou } \omega = 314 \frac{radianos}{segundo}$$

$$\left|\vec{B}\right| = 10.000 gauss$$

$$S = 150 cm^2$$

$$n = 50$$

a) $E_{máx} = n\omega\left|\vec{B}\right| S = 50.314.10.000.150$

$$E_{máx} = 235{,}5.10^8 abvolts = 235{,}5 volts$$

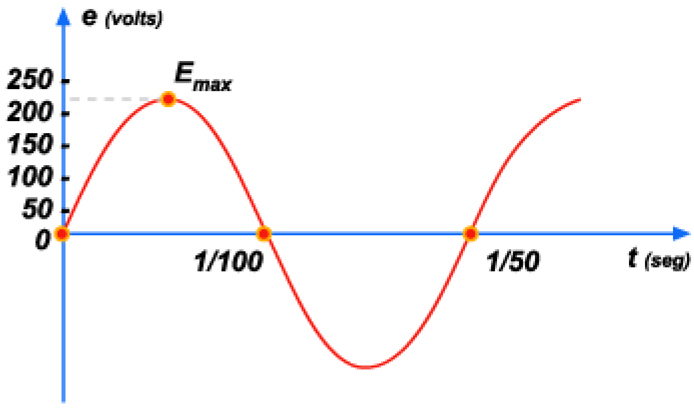

Figura 328

No caso anterior tínhamos encontrado 117, 75 volts, isto é, a metade, com o mesmo quadro e mesmo campo magnético. Basta aumentar a velocidade do quadro e a f.e.m. aumenta.

b) $e = E_{máx} sen\omega t$

$$e = 235{,}5.sen314.t.volts$$

c) A frequência é $f = 50 \frac{rotações}{segundo}$, e o período é $T = \frac{1}{50} segundo$.

Observação

Notemos que o período T da f.e.m. é igual ao período de rotação do quadro.

3: A corrente induzida

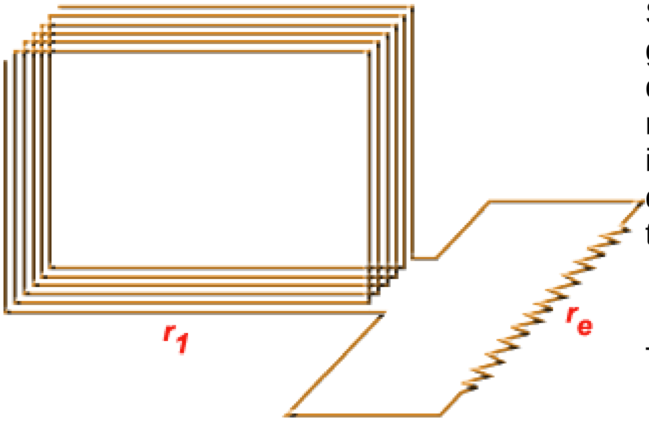

Figura 329

Sendo r_i a resistência interna do gerador, isto é, a resistência total de todas as espiras, r_e a resistência externa, i a intensidade da corrente, e a f.e.m. do gerador, pela lei de Pouillet temos:

$$e = (r_i + r_e)i$$

Tiramos:

$$i = \frac{e}{(r_i + r_e)}$$

$r_i + r_e$ é a resistência total do circuito. Chamando-a R, temos:

$$i = \frac{e}{R}$$

Substituindo a expressão de **e**, resulta:

$$i = \frac{n\omega\left|\vec{B}\right|S.sen.\omega t}{R}$$

O valor máximo da intensidade da corrente é aquele em que $sen.\omega t$ é máximo, Isto é, $sen.\omega t = +1$:

$$I_{máx} = \frac{n\omega\left|\vec{B}\right|S}{R}$$

Podemos então escrever:

$$i = I_{máx} sen\omega t$$

Comparando

$$e = \omega \left| \vec{B} \right| S.sen.\omega t$$

e $i = I_{máx} sen\omega t$

concluímos que a intensidade da corrente e a f.e.m. seguem a mesma lei de variação em função do tempo. A figura 330 lado é um gráfico de i em função de t. Vemos que a intensidade da corrente não é a mesma em todos os instantes. Isso era de esperar, pois quando os elétrons estão se deslocando num sentido, para poderem se deslocarem em sentido oposto eles devem parar e inverter a velocidade.

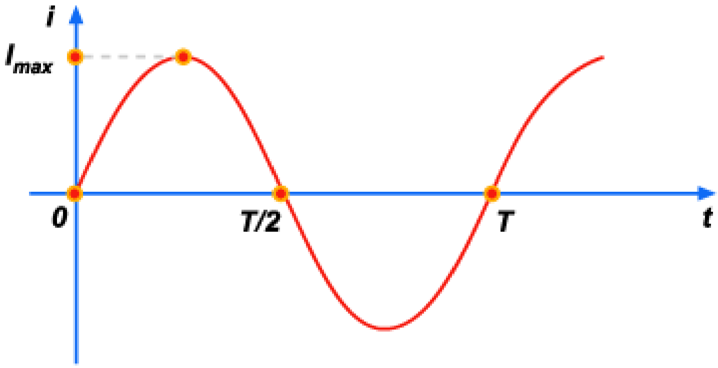

Figura 330

Suponhamos que o gerador dado como exemplo no 1º tópico deste capítulo tenha resistência interna de $0,55\Omega$, e seja ligado a um circuito de 23Ω.

Pede-se:

a) a intensidade máxima da corrente;

b) a lei de variação da corrente em função do tempo;

c) um gráfico da corrente em função do tempo

$$Dados \begin{cases} r_1 = 0,55\Omega \\ r_2 = 23\Omega \\ e = 177,75 \; sen \; 157 \; t \; volts \\ \omega = 157 \dfrac{rad}{seg} \end{cases}$$

.

a) Já sabemos que $E_{máx} = 117,75v$

$$R = r_1 + r_2 = 0,55 + 23 = 23,55\Omega$$

$$I_{máx} = \frac{E_{máx}}{R} = \frac{117,75}{23,55}\Omega$$

$$I_{máx} = 5A$$

b) A lei de variação de i é: $i = I_{máx} sen\omega t$, onde

$I_{máx} = 5A$

$\omega = 157 \dfrac{rad}{seg}$

Então:

$i = 5.sen\ 157\ t\ ampères$

c) O gráfico de i em função de t é a figura 331.

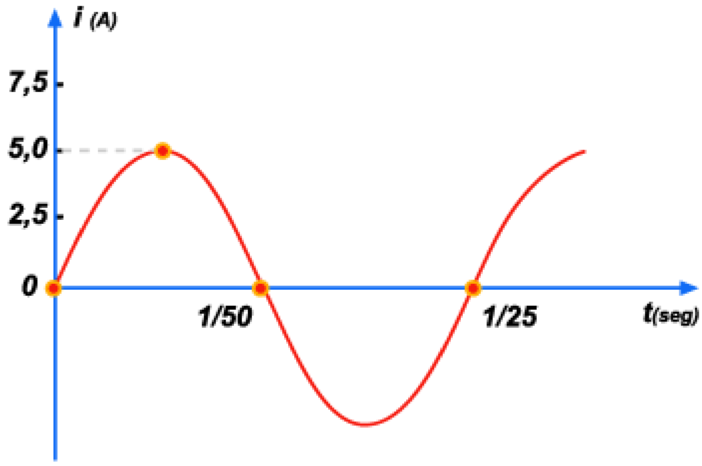

Figura 331

4: Corrente senoidal

Dadas duas variáveis x e y, dizemos que y é função **senoidal** de x, quando é dado por uma fórmula do tipo:

$y = Ksen\omega t$

em que ω e K são constantes. As expressões $e = \omega \left|\vec{B}\right| S.sen.\omega t$ e $i = I_{máx} sen\omega t$ mostram que tanto a f.e.m. como a corrente do gerador são funções sinoidais do tempo. Dizemos simplesmente que a f.e.m. e a corrente são **sinoidais**.

Função senoidal

As correntes que as usinas elétricas fornecem para as cidades são sempre senoidais (as correntes usadas na indústria, nas residências, etc.).

Todas as definições do próximo parágrafo valem para correntes senoidais.

1ª - Corente alternada senoidal

Chama-se **corrente alternada senoidal** aquela cuja intensidade é dada em função do tempo por:

$i = I_{máx} sen\omega t$ em que I_{max} e ω são constantes.

2ª - Pulsação

É a grandeza ω que aparece na expressão da corrente.
A unidade de pulsação é radiano/segundo.

3ª - Período

É o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas da corrente num mesmo sentido com o mesmo valor. É o tempo T da figura 330.
O período em geral se avalia em segundos.

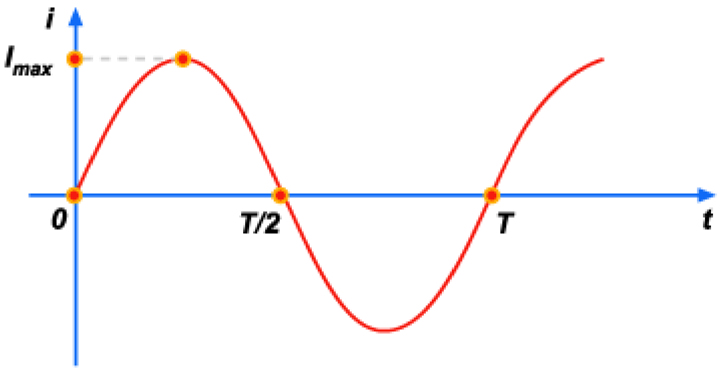

Figura 330

4ª - Frequência

É o inverso do período. Sendo f a frequência e T o período, temos:

$$i = \frac{I}{T}$$

A unidade de frequência é: $\frac{1}{seg}$ (cujo símbolo é $\left(\frac{1}{seg} \text{ ou } seg^{-1}\right)$. A frequência significa o número de períodos existentes na unidade de tempo.

Na prática, em vez de se usar como unidade de frequência o seg^{-1}, que **fisicamente** é a unidade correta, avalia-se a frequência em **ciclo por segundo**. Por exemplo: dizemos que na cidade de São Paulo, a frequência da corrente é de **60 ciclos por segundo**, em vez de dizermos que é de $60seg^{-1}$. Significa que essa corrente tem 60 períodos em um segundo, isto é, ela muda de sentido 60 vezes num segundo.

A frequência se relaciona com a pulsação por:

$$\frac{1}{seg}$$

Sendo $f = \frac{1}{T}$, também podemos escrever:

$$w = \frac{2p}{T}$$

5ª - Fase

Chama-se **fase** no instante t ao ângulo ωt, isto é, a fase e o produto da pulsação pelo tempo. Avalia-se a fase em **radianos**.

6ª - Valor eficaz

Chama-se **valor eficaz** da intensidade de uma corrente alternada à intensidade de uma corrente elétrica **constante e imaginária** que faria com que o condutor absorvesse a mesma potência que absorve quando é percorrido pela corrente alternada. Pode-se demonstrar que o valor eficaz é igual ao quociente do valor máximo por $\sqrt{2}$, isto é:

$$I_{ef} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Exemplo

O que caracteriza a intensidade de uma corrente alternada é o seu valor eficaz. Assim, quando se diz **corrente alternada de 5 ampères**, fica subentendido que o **valor eficaz é de 5 ampères**. Uma corrente alternada tem a lei:

$$i = 14.sen.30.t.ampères$$

Qual seu valor máximo e seu valor eficaz?

Solução

O valor máximo é 14 A, de acordo com a fórmula $i = I_{máx}.sen.\omega t$. O valor eficaz é:

$$I_{ef} = \frac{14}{\sqrt{2}} = \frac{14}{1,4} \text{ ou } I_{ef} = 10A$$

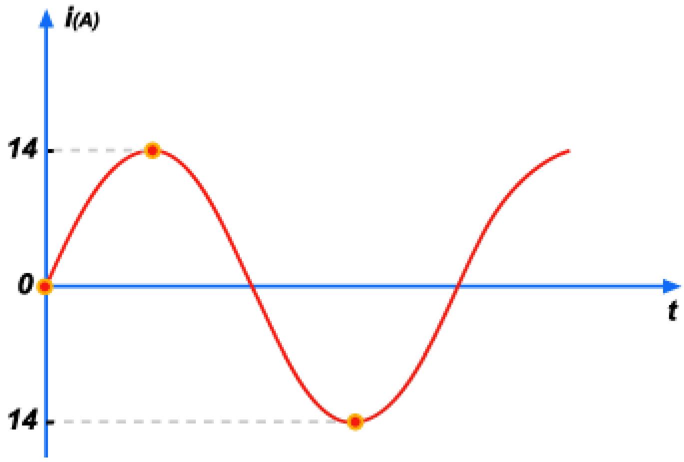

Figura 332

O significado físico desses 10A é o seguinte: nessa corrente alternada a corrente varia desde 0 até 14A, depois diminui outra vez até zero, muda de sentido, cresce novamente até 14A, diminui até zero, etc.(fig. 332). Mas, se em vez de sofrer essas variações, a corrente fosse constante e igual a 10A, o circuito absorveria a mesma potência.

5: Diferença de potencial alternada - diferença de fase

Quando um condutor é percorrido por corrente alternada, a diferença de potencial entre os extremos do condutor também é alternada. A lei que relaciona a diferença de potencial com o tempo é:

$$v = V_{máx}.sen(\omega t + \alpha)$$

Aqui ao ângulo ωt aparece somado certo ângulo α . Isto é, a **fase**, que na corrente é ωt , na diferença de potencial é $\omega t + \alpha$. Esse ângulo α é chamado a **diferença de fase** entre a corrente e a diferença de potencial. Infelizmente, a explicação para o significado desse α está acima do nível deste curso.

Valem para a diferença de potencial as mesmas definições dadas para a intensidade de correntes relativas a: pulsação, período, frequência, valor eficaz.

Devido à sua importância, insistiremos no conceito de **valor eficaz**. Chama-se **valor eficaz** de uma diferença de potencial alternada a uma diferença de potencial **imaginária** e **constante** que, se fosse aplicada ao condutor, faria com que o condutor absorvesse a mesma potência que ele absorve quando a corrente é alternada. A diferença de potencial eficaz está ligada à diferença de potencial máxima por:

$$V_{ef} = \frac{V_{máx}}{\sqrt{2}}$$

A corrente elétrica fornecida para as residências em São Paulo e no Rio de Janeiro tem diferença de potencial cujo valor eficaz é de 110 volts. Esse valor eficaz corresponde a um valor máximo que vale:

$$V_{máx} = \sqrt{2}\ V_{2f} = \sqrt{2}.100 \ \therefore\ V_{máx} = 154 volts$$

Concluímos que essa corrente corresponde a uma diferença de potencial alternativa cujos valores variam desde zero até 154 volts, mas que faz com que o condutor absorva a mesma potência que absorveria se estivesse sob diferença de potencial constante igual a 110 volts.

6: Potência absorvida

Já estudamos que, quando a **corrente é contínua**, a potência absorvida por um condutor é igual ao produto da diferença de potencial existente entre os extremos do condutor, pela intensidade da corrente, isto é:

$$P = V.I$$

Quando a **corrente é alternada**, a potência absorvida por um condutor é dada pelo produto do **valor eficaz** da diferença de potencial existente entre seus extremos, pelo **valor eficaz** da intensidade da corrente. Isso resulta do próprio conceito de valores eficazes de corrente e diferença de potencial. Então,

$$P = V_{ef}.I_{ef}$$

Se a corrente circula por uma resistência R, a diferença de potencial eficaz vale:

$$V_{ef} = R.I_{ef}$$

Então, a potência também pode ser calculada por:

$$P = R.I_{ef}^2$$

Exemplo

Por um fogareiro, cuja resistência é de 40Ω, passa uma corrente alternada cuja lei é:

$$i = 3{,}5 sen\ 314t\ \text{ampères}\ .$$

Calcular:
a) o valor eficaz da diferença de potencial;
b) a potência absorvida pelo fogareiro.

Solução

a) É dado $\mathrm{I}_{máx} = 3{,}5A$. Então:

$$I_{ef} = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}} = \frac{3{,}5}{1{,}4} = 2{,}5 \text{ ou } I_{ef} = 2{,}5A$$

Sendo $V_{ef} = R.I_{ef}$, temos: $V_{ef} = 40.2{,}5$ ou

$V_{ef} = 100V$

b) A potência absorvida é: $P = R.I_{ef}^2 = V_{ef}.I_{ef}$.

Logo, P=100.2,5 ou $P = 250w$

7: As usinas elétricas ou estações geradoras

Vimos que os dínamos consistem numa série de espiras que executam movimento de rotação uniforme num campo magnético uniforme. Essas espiras, para executarem movimento de rotação, necessitam de energia mecânica. De onde provém essa energia? Na prática, provém de energia térmica ou da energia de uma queda d’água. Tomemos como exemplo o caso da queda d’água.

O aproveitamento de uma queda d’água para fornecer energia mecânica a um dínamo é feito do seguinte modo: armazena-se a água de um ou de vários rios numa região muito vasta, chamada **represa**. A água dessa represa cai, pelo interior de tubos, de uma altura H, e vai acionar uma roda que possui na periferia certo número de **pás** como na figura (fig. 333). A energia com que a água chega às pás faz com que a roda execute movimento de rotação. A roda com as pás é chamada **turbina**.

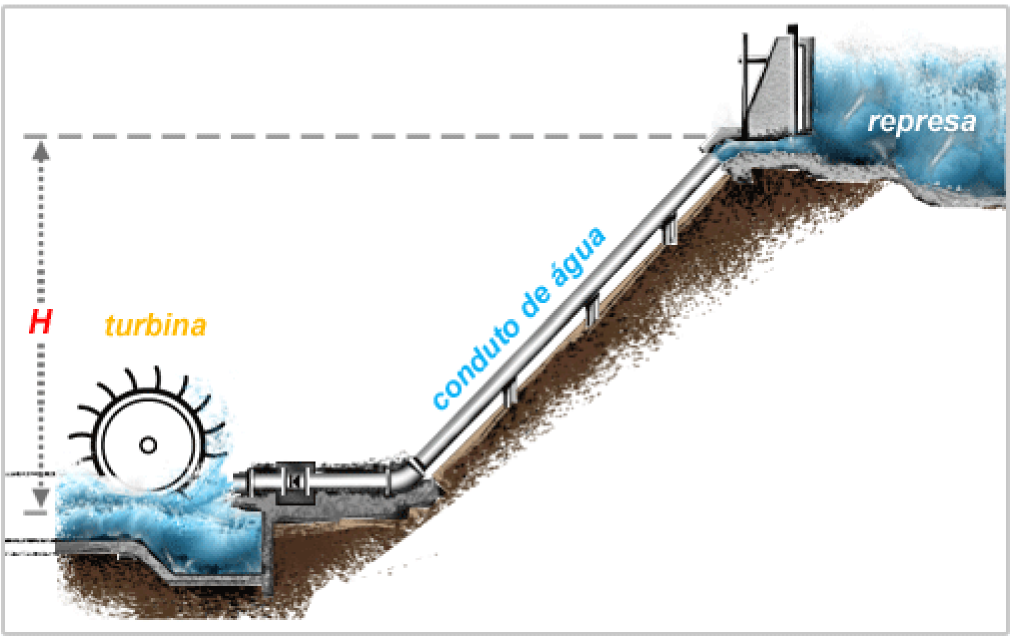

Figura 333

Ao eixo da turbina são ligados os condutores do dínamo, de maneira que, quando a roda gira, eles também giram.

Vimos que a energia elétrica da corrente, isto é, a energia comunicada aos elétrons que se deslocam nos condutores provém da energia potencial (mecânica) da água que estava na represa.

Ao conjunto do dínamo com turbina se chama **usina hidroelétrica**, ou **estação geradora de eletricidade**.

Exemplo

Na cidade de São Paulo, a represa de **Santo Amaro** armazena água de vários rios e se extende até à localidade chamada Cubatão, distante aproximadamente 50 quilômetros da cidade. Lá, a água cai pelo interior de tubos de uma altura H de aproximadamente 740 metros, e aciona várias turbinas. Essas turbinas acionam vários dínamos, e a corrente fornecida por eles é transportada por fios, de Cubatão até São Paulo.

8: Porque se usa corrente alternada

O leitor já deve ter observado que a corrente elétrica que as usinas fornecem às cidades é alternada, nunca é contínua. O motivo é puramente econômico. As usinas, em geral, são afastadas das cidades, de dezenas de quilômetros, de maneira que a corrente elétrica tem de ser transportada por fios, desde as usinas até as cidades. E esse transporte é mais barato por corrente alternada do que por corrente contínua. Além disso, dentro da própria cidade, a distribuição da corrente elétrica para as residências é mais barata e mais cômoda por corrente alternada do que por corrente contínua.

Além desse motivo econômico há um motivo técnico importante: com corrente alternada é possível fazermos muito simplesmente aumento ou diminuição de diferença de potencial com máquinas chamadas **transformadores**. Assim, por exemplo, dispondo-se de uma diferença de potencial de 110 volts, pode-se obter uma diferença de potencial de 3.000 volts, ou 5.000 volts, etc., e vice-versa.

Quanto à utilização de corrente alternada, devemos observar mais o seguinte: para a maioria dos aparelhos de uso doméstico, como por exemplo, lâmpadas de incandescência, ferros de passar roupa, aquecedores, fogareiros, etc. seria indiferente o uso de corrente alternada ou contínua. E, como é mais barato e mais cômodo distribuir corrente alternada para as residências, é essa que utilizamos para aqueles aparelhos. Quando há necessidade de corrente contínua para fins especiais, como por exemplo, as indústrias que utilizam **eletrólise**, é muito fácil obter-se corrente contínua a partir de corrente alternada.