

## 1. Tensão Contínua.

Como você bem sabe, uma tensão é chamada de contínua ou constante pois o seu valor não se altera com o tempo. Exemplo de geradores que geram tensão contínua são as pilhas e as baterias. A Fig01 mostra o aspecto físico, símbolo e curva da tensão em função do tempo deste tipo de gerador.

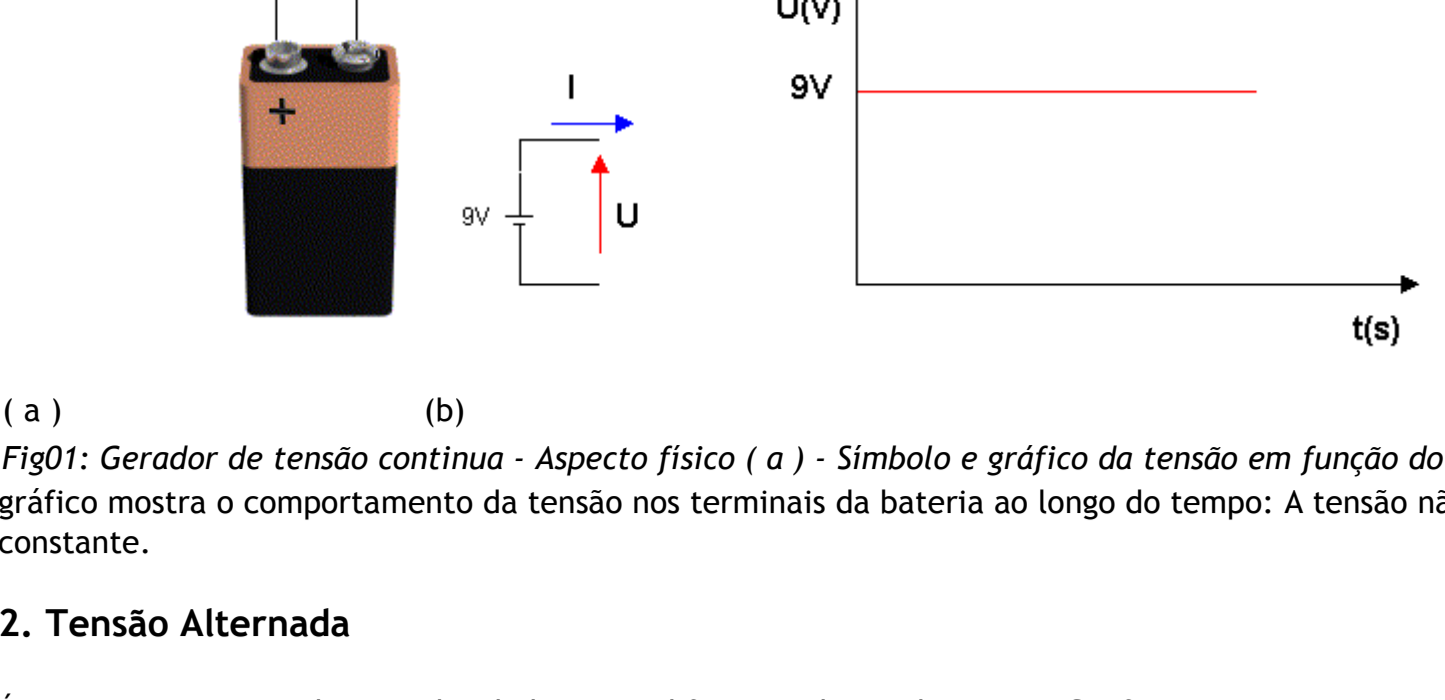


Fig01: Gerador de tensão contínua - Aspecto físico ( a ) - Símbolo e gráfico da tensão em função do tempo ( b )  
 gráfico mostra o comportamento da tensão nos terminais da bateria ao longo do tempo: A tensão não muda, permanece constante.

## 2. Tensão Alternada

É uma tensão cujo valor e polaridade se modificam ao longo do tempo. Conforme o comportamento da tensão então temos os diferentes tipos de tensão: **Senoidal, quadrada, triangular, pulsante**, etc.  
 De todas essas a senoidal é a que tem um maior interesse pois é a senoidal a tensão que é gerada nas usinas e que alimenta as indústrias e residências. Antes de estudarmos mais a fundo a tensão senoidal, vamos procurar conceituar melhor a tensão alternada. Seja o circuito da Fig02, no qual temos duas baterias e uma chave que ora conecta a bateria B1 ao resistor, ora conecta a bateria B2 ao resistor. Vamos supor que cada bateria fica conectada ao resistor durante 1s. Como seria o gráfico da tensão em função do tempo nos terminais da bateria?

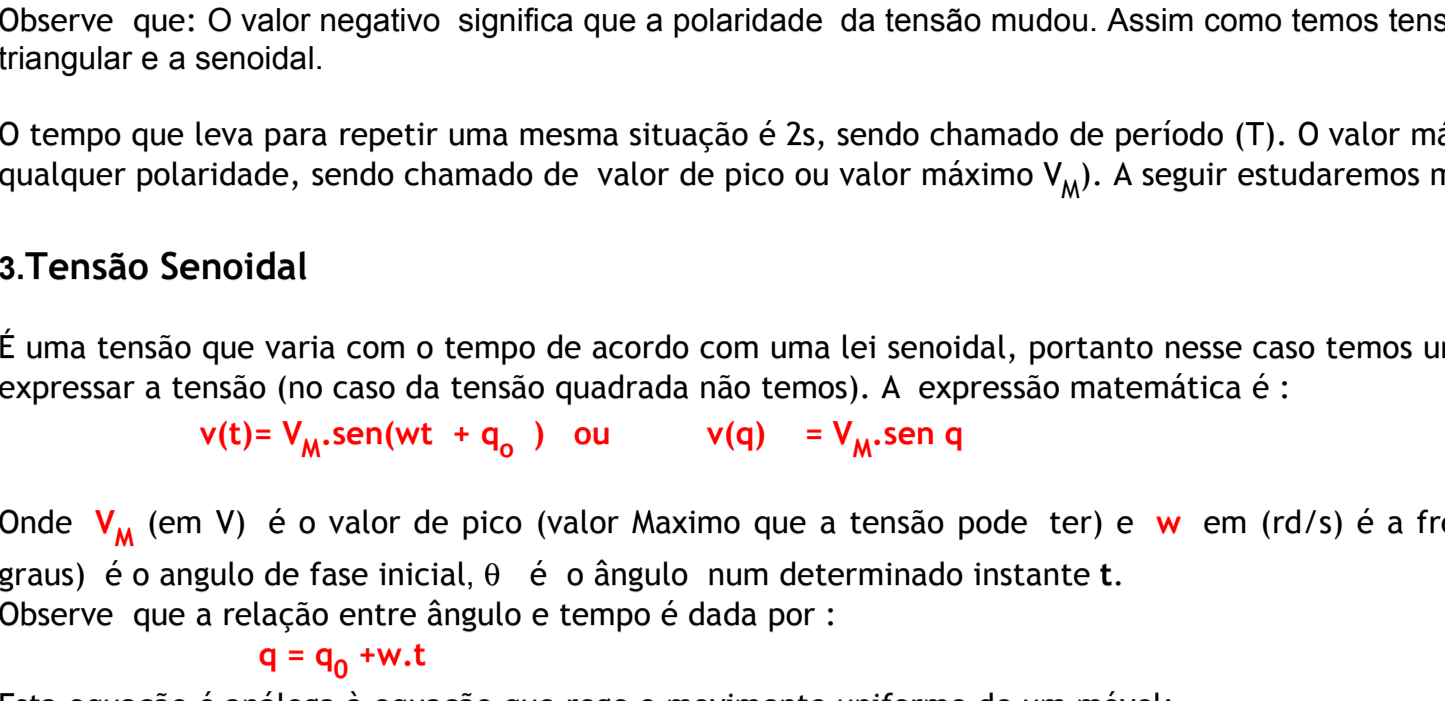


Fig02: Gerando uma tensão alternada quadrada - ( a ) Circuito ( b ) Tensão em função do tempo  
 Observe que: O valor negativo significa que a polaridade da tensão mudou. Assim como temos tensão quadrada temos também a triangular e a senoidal.

O tempo que leva para repetir uma mesma situação é 2s, sendo chamado de período (T). O valor máximo da tensão é 12V (com qualquer polaridade, sendo chamado de valor de pico ou valor máximo  $V_M$ ). A seguir estudaremos mais em detalhes a senoidal.

## 3. Tensão Senoidal

É uma tensão que varia com o tempo de acordo com uma lei senoidal, portanto nesse caso temos uma expressão matemática para expressar a tensão (no caso da tensão quadrada não temos). A expressão matemática é:

$$v(t) = V_M \cdot \text{sen}(wt + q_0) \quad \text{ou} \quad v(q) = V_M \cdot \text{sen } q$$

Onde  $V_M$  (em V) é o valor de pico (valor Máximo que a tensão pode ter) e  $w$  em (rd/s) é a frequência angular e  $q_0$  (rd ou graus) é o ângulo de fase inicial,  $\theta$  é o ângulo num determinado instante t.  
 Observe que a relação entre ângulo e tempo é dada por:

$$q = q_0 + w \cdot t$$

Esta equação é análoga à equação que rege o movimento uniforme de um móvel:

$$S = S_0 + V \cdot t$$

A Fig03 mostra a sua representação gráfica em função do tempo e a Fig04 o gráfico em função do ângulo.

### 3.1. Representação gráfica de uma Tensão Senoidal

Uma tensão senoidal varia em função do tempo de acordo com uma lei senoidal, portanto a sua representação será como na Fig03, mas a mesma tensão pode ser representada em função do ângulo, Fig04, (não esqueça que a função seno tem período de 360 graus ou de  $2\pi$  rd), sendo a relação entre ângulo e tempo dada por

$$q = q_0 + w \cdot t$$

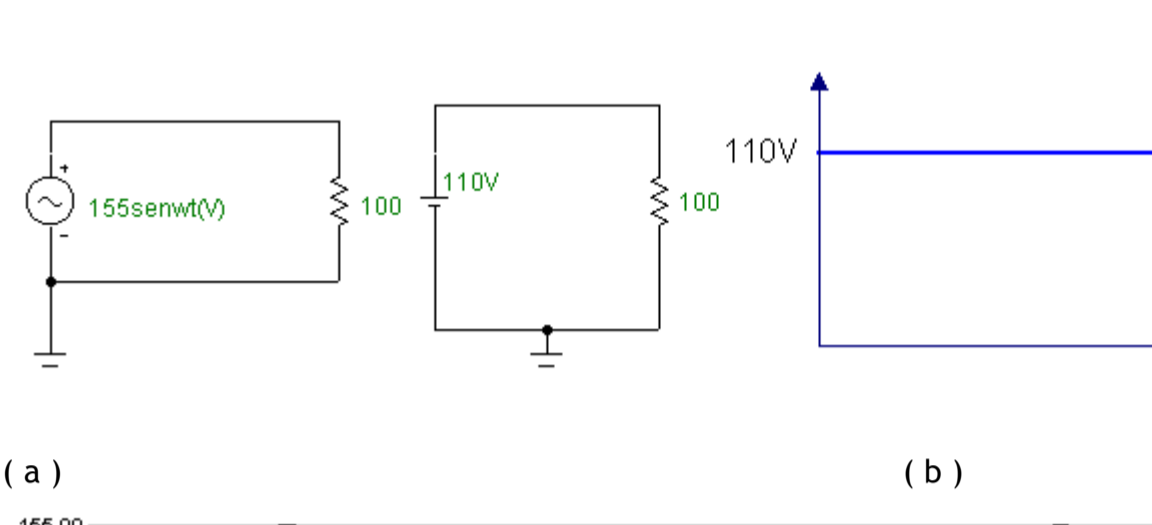


Fig03: Representação gráfica de uma tensão senoidal em função do tempo

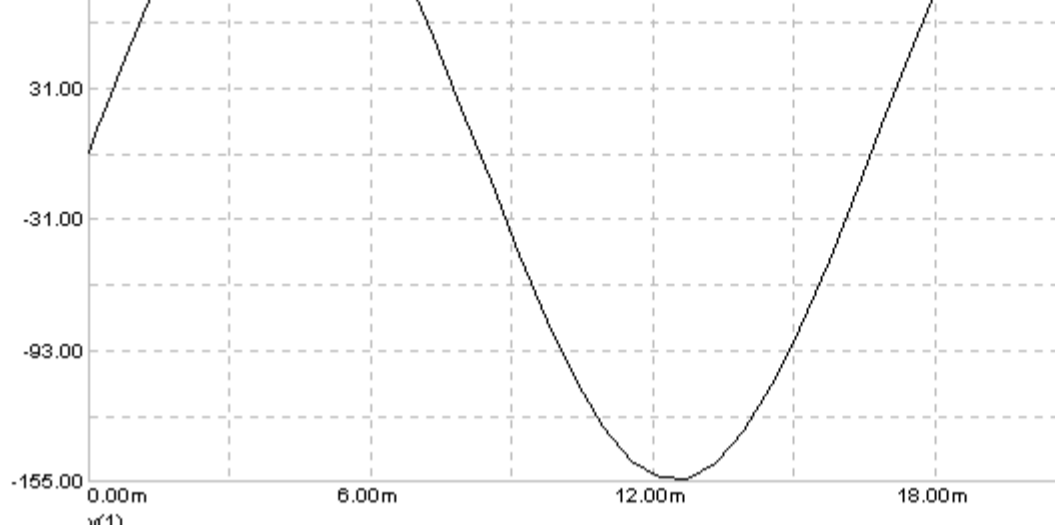


Fig04: Representação gráfica de uma tensão senoidal em função do ângulo

Na Fig03, **VPP** (em V) é chamado de tensão de pico a pico, **T** (em s) é o **período** (tempo que o fenômeno leva para se repetir).

Pelos gráficos da Fig03 e Fig04 tiramos as seguintes conclusões: como  $\alpha = w \cdot t \Rightarrow \alpha = 2\pi$  o tempo para percorrer esse ângulo é  $t = T$  logo:

$$2 \cdot \pi = w \cdot T \quad \text{ou} \quad w = 2 \pi T$$

Ao número de ciclos completados por segundos chamamos de **frequência** (f) sendo que a frequência então pode ser calculada por:  $f = 1/T$  (Hz) logo podemos também escrever que:

$$w = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Para uma tensão senoidal definimos o seu valor eficaz ( $V_{RMS}$  ou  $V_{EF}$ ) como sendo igual ao valor de uma tensão contínua que produzirá a mesma dissipação de potência que a tensão alternada em questão. No caso de uma tensão senoidal o seu valor eficaz é calculado por:

$$V_{\text{eficaz}} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = 0,707 V_M$$

Obs: considerar  $\sqrt{2} = 1,41$  para efeito de cálculo

Por exemplo uma tensão senoidal de 155V de pico é aplicada a uma resistência de 100 Ohms. Se ao mesmo resistor for aplicado uma tensão de 110V contínuas, a dissipação de potência será a mesma.

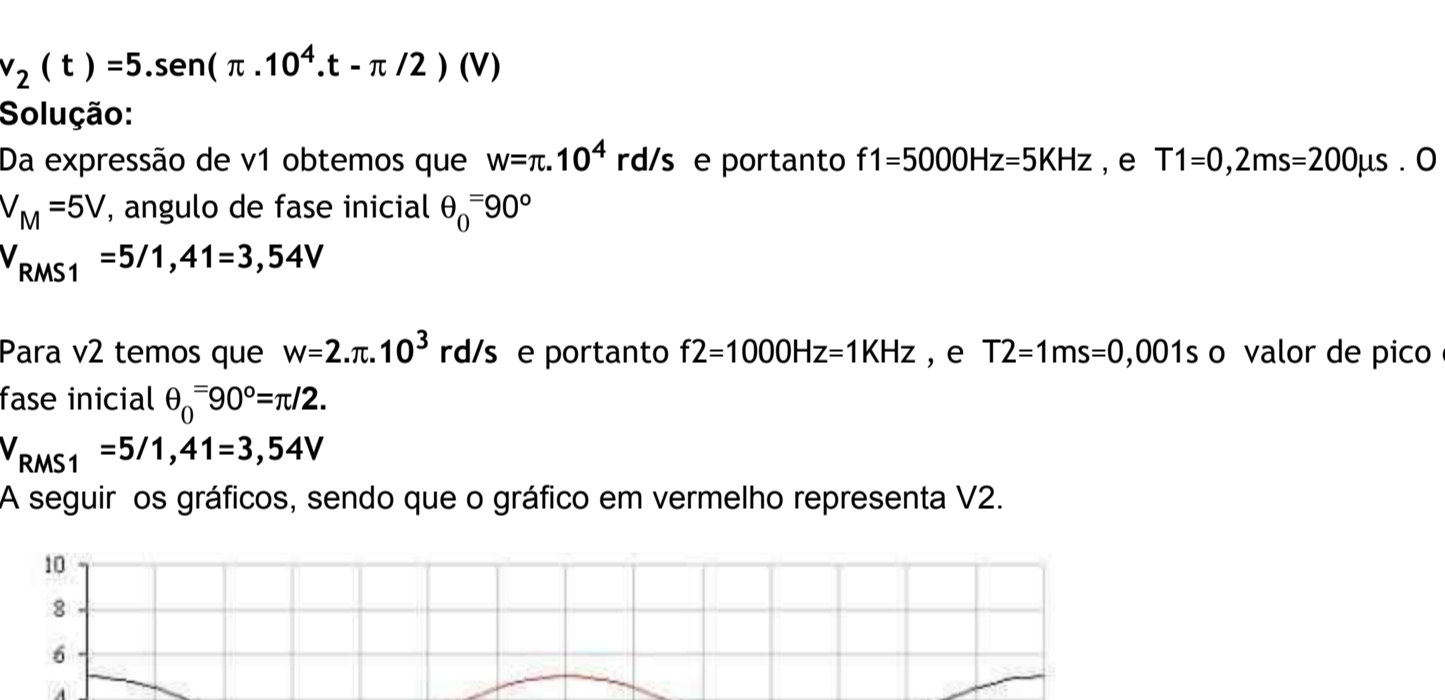


Fig05: ( a ) Tensão senoidal aplicada a um resistor de 100 Ohms; ( b ) Tensão contínua de valor igual ao valor eficaz da tensão senoidal aplicada a um resistor de 100 Ohms

Para a tensão senoidal representada na Fig05 os seus parâmetros serão:  $V_p = V_M = 155V$   $V_{pp} = 310V$   
 $V_{RMS} = 155/1,41 = 110V$   
 $T = 0,0166s = 16,6ms$   $f = 1/0,0166 = 60 \text{ ciclos/s} = 60Hz$   
 $w = 2 \pi \cdot 60 = 377 \text{ rd/s}$   $\theta_0 = 0$   
 Um resistor de 100 Ohms ao ser conectado a essa tensão senoidal, dissipará a mesma potência se for conectado a uma tensão CC de 110V

### Exercício1:

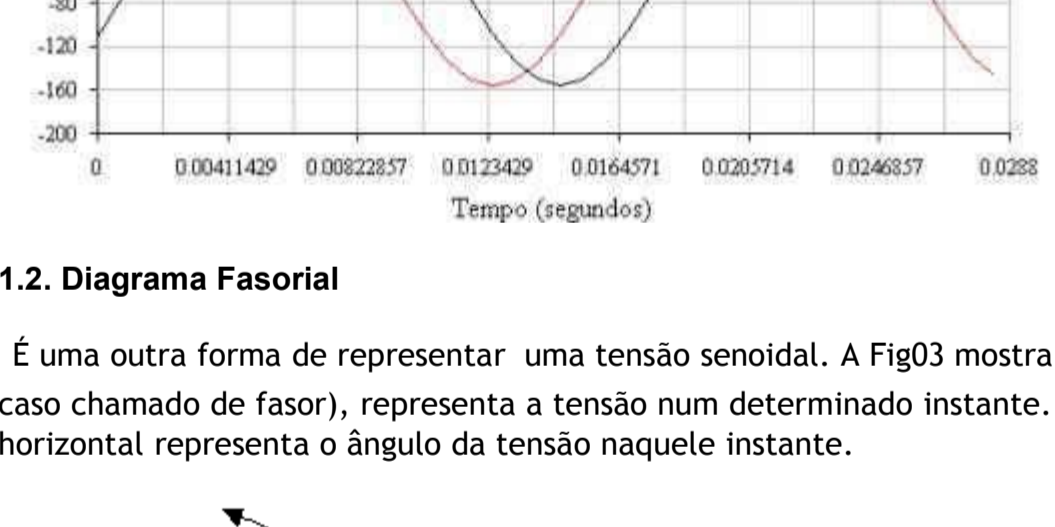
Representar as seguintes tensões senoidais

$$v_1(t) = 15 \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot t) \quad (V)$$

$$v_2(t) = 20 \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot t + \pi/2) \quad (V)$$

**Solução:**  
 Da expressão de  $v_1$  obtemos que  $w = 2 \cdot \pi \cdot 10^3 \text{ rd/s}$  e portanto  $f = 1000Hz = 1KHz$ , e  $T = 1ms = 0,001s$ . O valor de pico desta tensão é  $V_M = 15V$ , ângulo de fase inicial  $\theta_0 = 0^\circ$   
 $V_{RMS1} = 15/1,41 = 10,6V$   
 Para  $v_2$  temos que  $w = 2 \cdot \pi \cdot 10^3 \text{ rd/s}$  e portanto  $f = 1000Hz = 1KHz$ , e  $T = 1ms = 0,001s$  o valor de pico desta tensão é 20V, ângulo de fase inicial  $\theta_0 = 90^\circ = \pi/2$ .  
 $V_{RMS2} = 20/1,41 = 14,2V$

A seguir os gráficos, sendo que o gráfico em vermelho representa  $V_2$ .



### Exercício2:

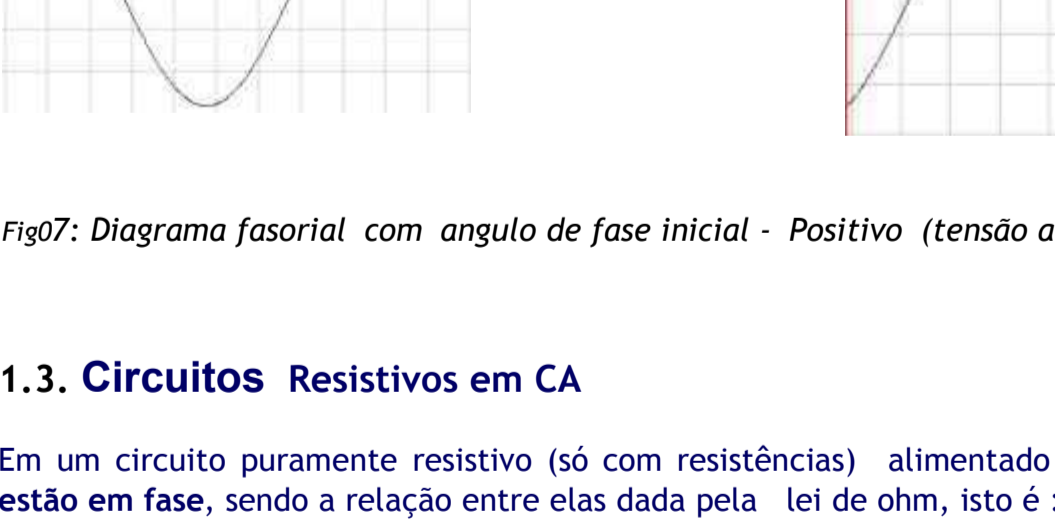
Representar as seguintes tensões senoidais

$$v_1(t) = 5 \cdot \text{sen}(\pi \cdot 10^4 \cdot t + \pi/2) \quad (V)$$

$$v_2(t) = 5 \cdot \text{sen}(\pi \cdot 10^4 \cdot t - \pi/2) \quad (V)$$

**Solução:**  
 Da expressão de  $v_1$  obtemos que  $w = \pi \cdot 10^4 \text{ rd/s}$  e portanto  $f = 5000Hz = 5KHz$ , e  $T = 0,2ms = 200\mu s$ . O valor de pico desta tensão é  $V_M = 5V$ , ângulo de fase inicial  $\theta_0 = 90^\circ$   
 $V_{RMS1} = 5/1,41 = 3,54V$   
 Para  $v_2$  temos que  $w = \pi \cdot 10^4 \text{ rd/s}$  e portanto  $f = 5000Hz = 5KHz$ , e  $T = 0,2ms = 200\mu s$  o valor de pico desta tensão é 5V, ângulo de fase inicial  $\theta_0 = 90^\circ = \pi/2$ .  
 $V_{RMS2} = 5/1,41 = 3,54V$

A seguir os gráficos, sendo que o gráfico em vermelho representa  $V_2$ .



Obs:  $-\pi/2 = 3\pi/2$  ( $-90^\circ = 270^\circ$ )

Observe que as duas tensões estão defasadas entre si de  $180^\circ$ .

### Exercício3:

Representar as seguintes tensões senoidais

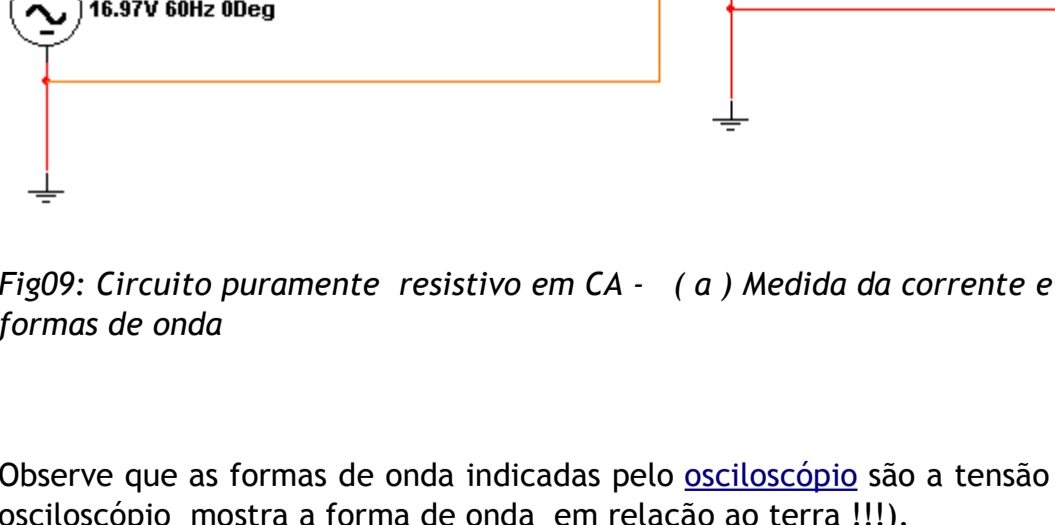
$$V_1(t) = 155 \cdot \text{sen}(120 \cdot \pi \cdot t - \pi/4) \quad (V)$$

$$V_2(t) = 155 \cdot \text{sen}(120 \cdot \pi \cdot t) \quad (V)$$

**Solução:**  
 Tensão  $v_1$ :  $V_M = 155V$ ,  $w = 120 \cdot \pi \text{ rd/s}$ ,  $f = w/2 \cdot \pi = 60Hz$  logo  
 $T = 1/f = 1/60 = 16,66ms$ , ângulo de fase inicial  $\theta_0 = -45^\circ = -\pi/4$   
 $V_{RMS1} = 155/1,41 = 110V$

Tensão  $v_2$ :  $V_M = 155V$ ,  $w = 120 \cdot \pi \text{ rd/s}$ ,  $f = w/2 \cdot \pi = 60Hz$  logo  
 $T = 1/f = 1/60 = 16,66ms$ , ângulo de fase inicial  $\theta_0 = 0^\circ$ .  
 $V_{RMS2} = 155/1,41 = 110V$

A seguir os gráficos, sendo que o gráfico em vermelho representa  $V_2$ .



## 1.2. Diagrama Fasorial

É uma outra forma de representar uma tensão senoidal. A Fig03 mostra como é construído o diagrama fasorial. Cada vetor (neste caso chamado de fasor), representa a tensão num determinado instante. Observe que o ângulo que o fasor faz com o eixo horizontal representa o ângulo da tensão naquele instante.

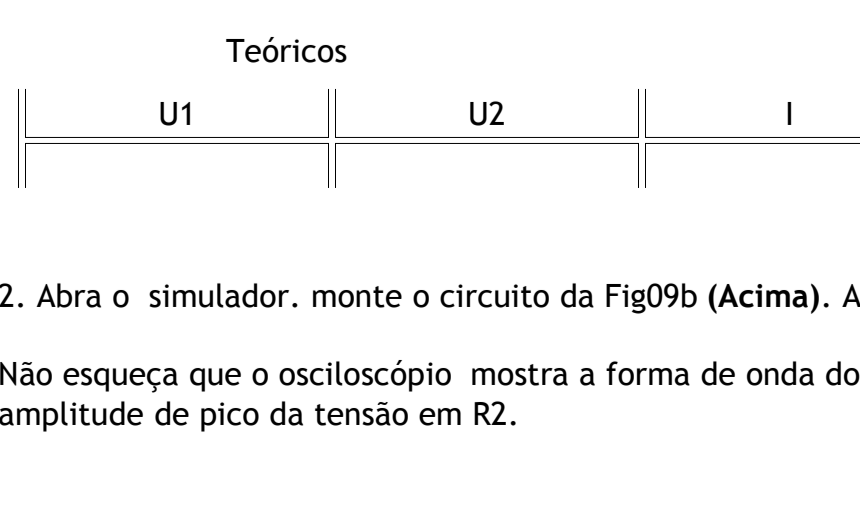


Fig06: Diagrama fasorial - ( a ) - ( b )

diagrama da Fig06a representa a tensão da Fig06b que no caso, no instante  $t=0$  vale zero e portanto a expressão da tensão em função do tempo é:  $v(t) = V_M \cdot \text{sen}(wt)$  pois  $\theta_0$  (ângulo de fase inicial) vale zero. Caso a tensão tivesse um ângulo inicial, a expressão seria dada por:

$$v(t) = V_M \cdot \text{sen}(wt + \theta_0) \quad \text{se a tensão estiver adiantada ou}$$

$$v(t) = V_M \cdot \text{sen}(wt - \theta_0) \quad \text{se atrasada.}$$

**SINAL ADIANTADO**



**SINAL ATRASADO**



Fig07: Diagrama fasorial com ângulo de fase inicial - Positivo (tensão adiantada) - Negativo (tensão atrasada)

## 1.3. Circuitos Resistivos em CA

Em um circuito puramente resistivo (só com resistências) alimentado com uma tensão alternada (CA) a tensão e a corrente **estão em fase**, sendo a relação entre elas dada pela lei de ohm, isto é:

$$U = R \cdot I \quad \text{ou} \quad I = U/R \quad \text{sendo que usamos valores eficazes para I e U}$$

Em termos de diagrama fasorial significa que os fasores representativos da tensão e da corrente estão em fase. A Fig08 mostra o diagrama fasorial da tensão e da corrente e o circuito.



Fig08: Circuito puramente resistivo - Diagrama fasorial de um circuito puramente resistivo

**Exercício4:** Representar graficamente a tensão aplicada no circuito da Fig09, e a corrente que o percorre se é alimentado por uma tensão alternada 12V/60Hz

**Solução:**

No circuito da Fig09 os valores calculados são:  $I = 3mA$   $U_1 = 3V$   $U_2 = 9V$  eficazes !!!



Fig09: Circuito puramente resistivo em CA - ( a ) Medida da corrente e tensões ( b ) Circuito com o osciloscópio para obter as formas de onda

Observe que as formas de onda indicadas pelo osciloscópio são a tensão de entrada (terminal preto) e a tensão no resistor R2 (o osciloscópio mostra a forma de onda em relação ao terra !!!).

Obs: Para maior detalhes sobre o funcionamento do osciloscópio virtual, consulte o Curso MultiSIM2001

### Experiência 01- Circuito Resistivo em CA

1. Abra o seu simulador e monte o circuito da Fig09a (Acima). Ative-o. Meça todas as tensões e a corrente.

Obs:

a) Não esqueça de ajustar os instrumentos para AC. Anote os resultados na tabela a seguir os valores teóricos e os medidos.

Teóricos		Medidos - Voltmetro e Amperímetro			
U1	U2	I	U1	U2	I

2. Abra o simulador. monte o circuito da Fig09b (Acima). Ative-o. Anote as formas de onda de entrada e em R2.

Não esqueça de que o osciloscópio mostra a forma de onda do ponto de conexão em relação ao terra. Meça e anote na tabela a amplitude de pico da tensão em R2.

Tabela II	
U2 (Teórico)	U2 (Medido) - Osciloscópio

Obs: A forma de onda da tensão em qualquer resistor será igual a forma de onda da corrente, de forma que a forma de onda em R2 será a forma de onda da corrente.

### 3. Conclusões: