0323200– PRÁTICAS DE ELETRICIDADE E ELETRÔNICA I

Experiência 3 – Equipamentos de Medidas Elétricas e Efeito Joule

V.H.N.; R.K.O./00
V.H.N./02
R.K.O./05/06

Objetivos: Nesta experiência, o aluno deve:

- Entender o conceito de tensão e corrente eficazes.
- Familiarizar-se com os recursos básicos de um osciloscópio digital, e com as principais precauções para seu uso adequado.
- Verificar experimentalmente o efeito Joule.

PSI - EPUSP

1. Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

Ao atravessar o bipolo da Figura 1 sob a influência da tensão v(t), a corrente elétrica i(t) transfere ao bipolo uma energia igual a

$$w(t, t_0) = \int_{t_0}^{t} v(\tau)\, i(\tau)\, d\tau$$

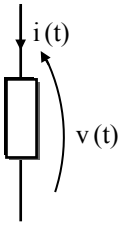


Figura 1 – Bipolo atravessado por corrente i(t)

Em um bipolo resistivo, esta energia elétrica poderá ser transformada em calor (chuveiro elétrico), ou em luz (lâmpada) ou som (alto-falante), por exemplo. Em outras palavras, um resistor *transforma* energia da forma elétrica para outras formas (cinética, térmica, luminosa, sonora, etc.).

A potência elétrica relacionada à energia $w(t, t_0)$ é a derivada de w com relação ao tempo, ou seja

$$p(t) = \frac{d\, w(t, t_0)}{d\, t} = v(t)\, i(t)$$

O inglês James Prescott Joule confirmou experimentalmente a validade das expressões acima em 1841, comparando o calor gerado por um fio metálico pelo qual passava uma corrente contínua (isto é, $i(t) \equiv I$, $v(t) \equiv V$) com a energia elétrica correspondente, $W = V\, I\, \Delta t$.

Nesta aula vamos repetir (com várias modificações) o experimento de Joule, medindo o aquecimento de um cilindro de alumínio provocado pela passagem de corrente contínua em uma resistência de aproximadamente 34 Ω (ver Figura 2). Com corrente e tensão constantes, a potência média e a energia elétrica no intervalo $[\, t_0,\ t_1\,]$ são dadas por

(1) $$P = V.I\,, \qquad W = w(t_1, t_0) = V.I.(t_1 - t_0) = VI\Delta t$$

Por outro lado, se toda a energia elétrica acima estiver sendo transferida para aquecer um cilindro de alumínio de massa m, temos:

(2) $$\big(T(t_1) - T(t_0)\big) = \Delta T = \frac{w(t_1 - t_0)}{m\,C_{Al}} = \frac{VI\Delta t}{m\,C_{Al}}$$

onde C_{Al} é o calor específico do alumínio ($C_{Al} = 0{,}215\ cal/(g.^oC) = 0{,}900162\ J/(g.^oC)$).

Estas fórmulas[1] assumem que *todo* o calor gerado no resistor é transferido para o alumínio. No entanto, tanto o resistor quanto o próprio cilindro de alumínio vão perdendo calor para o meio ambiente durante toda a experiência. Para levar em conta esta perda, vamos fazer o seguinte:

1) Fazer um gráfico mostrando como varia a temperatura do cilindro enquanto passa uma corrente pelo resistor. A partir deste gráfico, poderemos calcular a potência média realmente absorvida pelo alumínio (P_{Al}), isto é, a potência elétrica fornecida ao resistor menos a potência perdida pelo resistor e pelo alumínio para o ar.

2) Medir como diminui a temperatura do alumínio depois de desligada a corrente. Desta forma, vamos calcular a taxa de perda de energia para o ar (potência perdida para o ar, Par). Assumindo que essa taxa é igual à taxa de perda quando o cilindro está sendo aquecido, podemos calcular a potência fornecida pelo resistor por

$$V.I = P_{resistor} = P_{ar} + P_{Al}$$

Vamos agora começar as medidas. Use as folhas do Anexo para fazer as suas anotações!

Anote a massa total m do cilindro (gramas) e o seu respectivo número. Meça o valor da resistência equivalente dos resistores presos ao cilindro, usando o multímetro digital. Anote este valor.

Atenção: **Não** conecte ainda os terminais A e B à fonte. Durante toda a experiência, evite tocar o cilindro para não alterar as taxas de perda de calor.

PSI - EPUSP

[1] **Cuidado:** Estamos usando o símbolo T maiúsculo para indicar temperatura, e t minúsculo para indicar tempo.

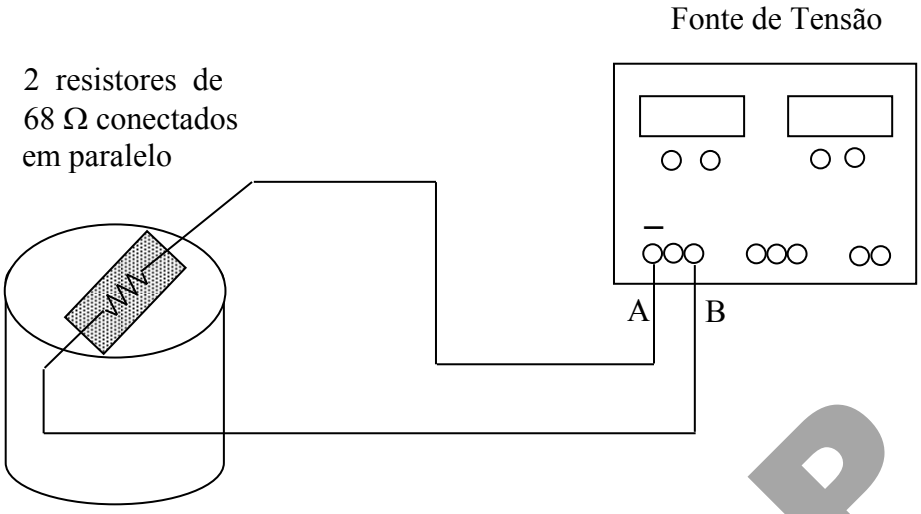


Figura 2 – Verificação do Efeito Joule usando Fonte DC

Vamos utilizar a montagem da Fig. 2 para aquecer um cilindro de alumínio. Prepare a montagem da seguinte maneira (atenção para as explicações do professor) :

• Ligue a fonte e ajuste 26 V na saída *esquerda* da fonte de tensão (os pinos que devem ser usados são os marcados " + " (vermelho) e " – " (preto) – o pino verde "GND" está ligado ao terra, e não precisa ser usado nesta experiência). Ajuste o cursor de corrente na posição central. **Não** ligue a fonte ao resistor ainda. Meça com o multímetro (VDC) a tensão em aberto nos terminais da fonte e ajuste o valor precisamente para 26 V.

• Desconecte as pontas para medir tensão do multímetro. Conecte os terminais do termopar ao multímetro (como mostrado pelo professor – verifique a polaridade do termopar: "+" vermelho e "–" preto) e coloque a ponta do termopar no orifício lateral do cilindro. ***Não** se esqueça de apertar o botão azul enquanto liga o multímetro, para selecionar a precisão mais elevada*.

Atenção: O termopar é um componente delicado e caro. Deve ser utilizado com cuidado e seus terminais devem ser conectados **somente** ao multímetro (**jamais** na tomada ou em qualquer fonte de energia).

• Ligue a fonte ao resistor, e ao mesmo tempo inicie a contagem de tempo com o cronômetro. (**Atenção: Traga um relógio ou cronômetro nesta aula!**)

• Verifique se a tensão está estável em 26V, no painel da fonte de tensão. Caso o valor não seja 26V, aumente o limite de corrente da fonte, até que o led do modo C.V. ("constant voltage") esteja aceso.

• Mude a chave para medida de corrente no painel da fonte de tensão.

• Você deve agora preencher a tabela 1 do Relatório com a temperatura do alumínio medida em intervalos de 1 min. Meça o primeiro ponto em t = 1 min.

• Meça a temperatura em intervalos de 1 min, por 13 min. Depois de medir a temperatura para t= 13 min, desligue a fonte.

PSI - EPUSP

• Continue anotando a temperatura após desligar a fonte, até completar a tabela. Após o término das anotações desligue o multímetro (para economizar bateria).

• Faça um gráfico da temperatura em função do tempo (T (^{o}C) x Δt (s)).

ATENÇÃO: **Não sopre nem coloque a mão** no cilindro enquanto estiver fazendo as medidas para verificar se a temperatura está aumentando!

PSI - EPUSP

Instruções para o cálculo da quantidade de calor absorvida pelo cilindro e perdida para ar

A partir do gráfico temperatura em função do tempo, ajuste uma reta média para a fase de aquecimento do cilindro, e determine a inclinação α_{sub} da reta (em ^{o}C/s). Você pode calcular a inclinação usando o método dos mínimos quadrados visto na Experiência 4. Para essa nova situação, o método dos mínimos quadrados vai escolher α_{sub} como a solução do seguinte problema de otimização:

$$C(\alpha,\beta)=\sum_{n=1}^{N}\left[T_n-(\alpha t_n+\beta)\right]^2, \qquad (\alpha_{sub},\beta_{sub}) = \arg\min_{\alpha,\beta} C(\alpha,\beta)$$

onde (t_n, T_n) são os valores medidos de tempo e temperatura, e N é o número de pontos medidos. O símbolo arg min indica que α_{sub} e β_{sub} são os valores para os quais o mínimo da função erro é atingido. O parâmetro β é necessário porque a reta não passa pela origem (compare com a apostila da Experiência 4). A solução do problema acima é :

$$\alpha_{sub} = \frac{N S_{tT} - S_t S_T}{N S_{tt} - S_t^2}, \qquad \beta_{sub} = \frac{S_{tt} S_T - S_t S_{tT}}{N S_{tt} - S_t^2}$$

Erros: $$\sigma^2_{\alpha} = \frac{N}{N S_{tt} - S_t^2}, \qquad \sigma^2_{\beta} = \frac{S_{tt}}{N S_{tt} - S_t^2}$$

onde

$$S_t = \sum_{n=1}^{N} t_n, \qquad S_T = \sum_{n=1}^{N} T_n, \qquad S_{tT} = \sum_{n=1}^{N} (t_n T_n) \quad \text{e} \quad S_{tt} = \sum_{n=1}^{N} t_n^2$$

Para o cálculo de α_{sub} , despreze os primeiros pontos da subida, para garantir que a temperatura no cilindro seja aproximadamente homogênea (use os pontos entre $t \cong 2$ min ou 3 min e $t = 13$ min, onde o gráfico da temperatura versus tempo é uma reta).

A quantidade de calor absorvida pelo alumínio durante a fase de aquecimento é

$$W_{Al} = m C_{Al} \alpha_{sub} \Delta t_{sub}$$

onde Δt_{sub} é o intervalo de tempo (em segundos) desde o instante em que o gráfico T x t ficou linear, até o desligamento da fonte de alimentação (no exemplo, $\Delta t_{sub} = 60 . (13 - 2) = 660$ s).

Nota: Vamos usar $\Delta T = \alpha_{sub} \Delta t_{sub}$, já que a variação de temperatura está sendo considerada como linear com a variação do tempo. Para reduzir a influência de erros de medidas é que estamos calculando α_{sub} por interpolação.

Ajuste também uma reta média para a fase de resfriamento, determinando a inclinação α_{desc} (^{o}C/s). A inclinação α_{desc} também pode ser determinada pelo método dos mínimos quadrados, como acima (despreze os primeiros pontos após o desligamento da fonte).

A inclinação da descida, α_{desc} , será usada para estimar a perda de calor para o ar durante o período de *aquecimento* :

$$W_{ar} = - m C_{Al} \alpha_{desc} \Delta t_{sub}$$

(pois $\alpha_{desc} < 0$). Portanto, a quantidade de energia total transformada em calor pelo resistor é

(3) $$W_{Total} = W_{Al} + W_{ar} = m C_{Al} (\alpha_{sub} - \alpha_{desc}) \Delta t_{sub}$$

Dividindo a expressão acima por Δt_{sub} em segundos, obtemos a potência transformada em calor pelo resistor :

(4) $$P_{Média} = \frac{W_{Total}}{\Delta t_{sub}} = m C_{Al} (\alpha_{sub} - \alpha_{desc}) \quad (J / seg)$$

Atenção: Não se esqueça de converter o tempo de minutos para segundos.

Vamos comparar este valor com a potência dissipada no resistor,

$$P_{resistor} = V . I \quad (watts)$$

Compare a potência fornecida pelo resistor com a potência média transformada em calor. Calcule o erro (%) usando a seguinte expressão :

PSI - EPUSP

$$\text{erro} = 100 . \frac{P_{\text{resistor}} - P_{\text{Média}}}{P_{\text{resistor}}}$$

2. Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio

Até agora trabalhamos apenas com tensões e correntes DC, isto é, constantes no tempo. Vamos agora passar a estudar correntes e tensões que variam com o tempo. O aparelho mais comum para medições de tensões variantes no tempo é o *osciloscópio*. Nesta parte da experiência, vamos apresentar as funções básicas de um osciloscópio.

O osciloscópio é um medidor de tensão (um voltímetro) que permite a visualização de tensões que variam com o tempo. Seu uso básico é bastante simples, mas alguns cuidados importantes devem ser tomados para se evitar dano ao aparelho.

As tensões que vão ser medidas são levadas ao osciloscópio por *pontas de prova*, que consistem em cabos coaxiais com um conector BNC em uma das extremidades e com a ponta de prova propriamente dita na outra (ver Fig. 3). A ponta de prova possui dois terminais, o terra (uma garra jacaré) e a ponta. Note que é importante ligar sempre os dois terminais da ponta – *tensão elétrica é diferença de potencial elétrico, não faz sentido medir tensão com um fio só*! As pontas de prova realizam várias funções além de simplesmente levar o sinal desejado ao osciloscópio: elas normalmente *atenuam* o sinal de entrada (a atenuação mais usual, e que é a das pontas usadas nesta experiência, é de 10 vezes), *equalizam* a resposta em frequência do circuito de entrada (para impedir que o osciloscópio meça amplitudes diferentes para sinais com frequências diferentes), e *aumentam a impedância de entrada* (o que faz com que a influência do osciloscópio no circuito que se deseja observar seja reduzida, lembre-se do item 1.2 da Experiência 4!).

Alguns erros muito comuns ao se usar pontas de prova, são os seguintes:

- Esquecer de considerar a atenuação da ponta (Se uma ponta de prova atenua o sinal de entrada por 10 vezes, é necessário multiplicar todas as medidas por 10 para corrigir a atenuação. Osciloscópios modernos (como o utilizado nesta experiência) podem ser ajustados para fazer a multiplicação automaticamente, basta selecionar a opção adequada – MENU CH1 / CH2 e probe x10).

- Em um osciloscópio de duas entradas (dois canais), os terminais de terra das duas pontas de prova não são independentes: na verdade, eles estão ligados entre si (estão no mesmo potencial) e também estão ligados à carcaça do aparelho e ao fio terra da rede elétrica. Portanto, os terminais de terra das pontas de prova *não devem ser ligados a pontos do circuito com potencial elétrico diferente* (ou haverá um curto-circuito através das pontas de prova).

PSI - EPUSP

• Relacionado com o problema anterior, e muito mais grave, é o fato dos terras das pontas de prova estarem ligados ao fio terra da rede elétrica – isto significa que LIGAR O TERRA DO OSCILOSCÓPIO PARA MEDIR A TENSÃO DA TOMADA PODE CAUSAR UM CURTO-CIRCUITO na tomada, ferir a pessoa que estiver fazendo a medida, e danificar a ponta de prova ou o osciloscópio! Para medir tensões da rede elétrica com um osciloscópio é necessário usar um *transformador de isolação*. Este problema não acontece com multímetros de mão como o utilizado na experiência de hoje, pois ambos os terminais do multímetro são isolados da rede elétrica (**NOTA:** APESAR DISSO, NESSA EXPERIÊNCIA VOCÊ TAMBÉM NÃO DEVE MEDIR TENSÕES DA REDE COM O MULTÍMETRO).



Figura 3 – Ponta de Prova Atenuadora

PSI - EPUSP

Vamos agora usar o circuito amplificador da Experiência 4 para aprender o uso de um osciloscópio. Monte o circuito de acordo com as ligações da Figura 4 e dos esquemas apresentados no final desta apostila.

Nesta experiência foram acrescentados dois capacitores (C_{ent} e C_{sai}) um resistor (R_{sai}) ao circuito da Experiência 4, para que o transistor pudesse ser usado como amplificador de sinais. A função do capacitor C_{ent} é impedir que a tensão de entrada altere o valor médio da tensão V_b (o que alteraria o ponto de operação do transistor). Desta forma, um sinal de tensão alternado no ponto 1 da Fig. 4 vai apenas variar a tensão V_b e a corrente i_b em torno dos valores de polarização medidos na Experiência 4, permitindo o correto funcionamento do transistor. O capacitor C_{sai} tem uma função similar, impedindo que a carga modifique a polarização do transistor (Carga é o circuito

que vai utilizar o sinal amplificado – pode ser um alto-falante, uma lâmpada, um segundo estágio amplificador, etc. No nosso caso, a carga é o resistor R_{sai}).

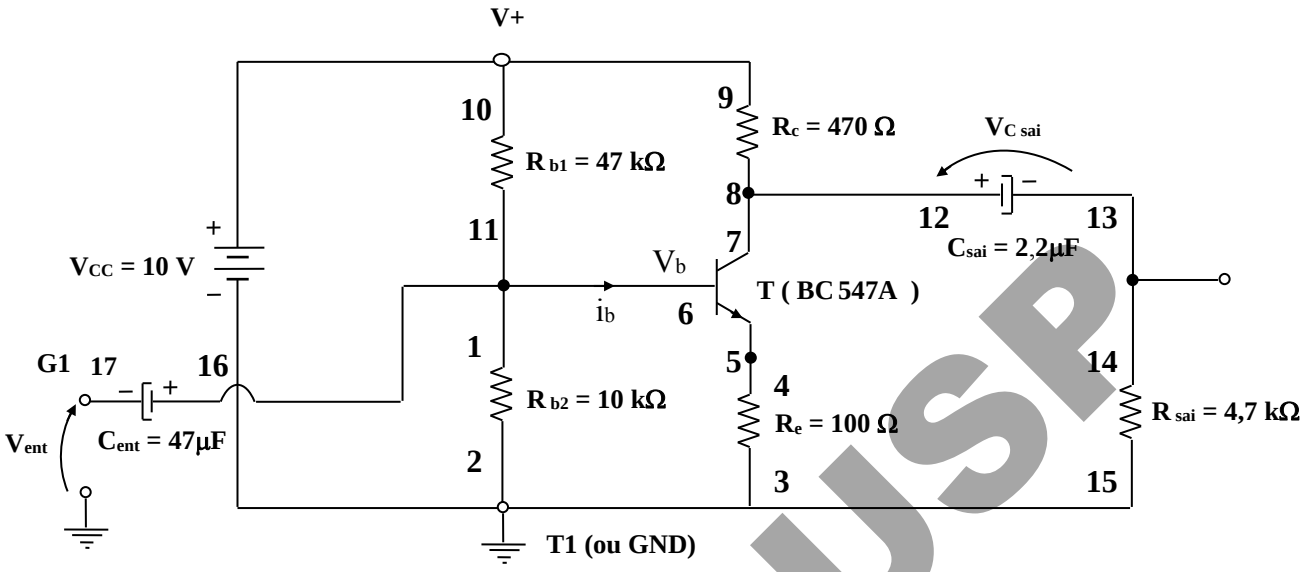


Figura 4 – Circuito Completo do Amplificador Transistorizado

Depois de verificar que o circuito está montado corretamente, ligue a fonte de tensão de alimentação em 10V e o gerador de funções, e deixe o botão "Volts/out" na posição "0-2 Vp-p" (apertado). Pressione também o botão que seleciona saída senoidal, o botão de escala de frequências (1 kHz), e ajuste a frequência para 1,2 kHz. Finalmente, ajuste o knob "AMPLITUDE" em sua posição média, e conecte a saída do gerador de funções ao terminal livre do capacitor C_{ent}. Os botões "SWEEP" e "SYMMETRY" devem estar desligados (não apertados).

Ligue o osciloscópio, o resumo das principais funções (botões) estão no anexo I, com a ponta de prova do canal 2 (CH2) conectada à entrada do amplificador (Ponto **17** ou G1 na figura 4). Conecte o terra (garra jacaré) da ponta de prova ao nó de referência do circuito (no terminal negativo da fonte de tensão, T1 ou GNT, por exemplo). Desativar o canal 1 apertando o botão "menu CH1" duas vezes. Aperte o "menu CH2" e depois o botão o botão "AUTOSET" (à direita, em cima no painel do osciloscópio), para visualizar a forma de onda na entrada do amplificador.

Varie a posição do knob "VOLTS/DIV" mais à direita (relativo ao canal 2), e observe o que acontece com o sinal apresentado na tela. Observe também como varia a indicação "Ch2 500 mV", no canto esquerdo inferior da tela. Varie agora a posição do knob "SEC/DIV", e observe na tela o que acontece (veja a indicação 500 μs na parte central inferior da tela).

PSI - EPUSP

Veja o **exemplo** de um sinal triangular de frequência f = 1,25 kHz na Figura 5: a indicação "Ch2 500 mV" significa que cada *divisão* vertical da tela equivale a uma diferença de potencial de 500 mV.

Da figura verificamos que a amplitude pico-a-pico do sinal triangular é de 2 divisões x 0,5 V/div = 1 Vpp (veja também a Fig. 6).

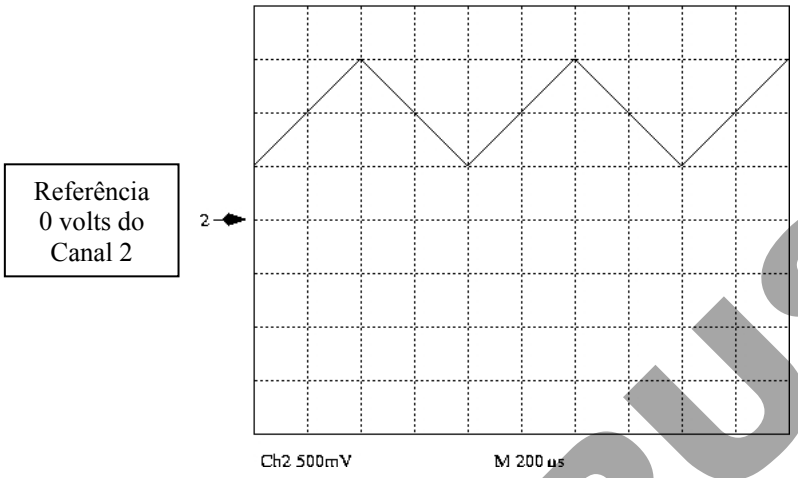


Figura 5 – Exemplo de Tela do Osciloscópio para Visualização de um Sinal Triangular

Por outro lado, a indicação "200 µs" indica que cada divisão *horizontal* da tela equivale a um intervalo de tempo de 200 µs. Assim, o sinal da figura tem período T = 4 div x 200 µs/div = 800 µs, o que confere com a frequência de 1,25 kHz mencionada acima.

Para medir tensões e tempos, você pode contar divisões na tela do osciloscópio ou utilizar os recursos do osciloscópio: por exemplo, aperte o botão "CURSOR", e varie a posição dos cursores usando os knobs "POSITION" do canal 1 (cursor 1) ou do canal 2 (cursor 2). Procure na tela a indicação "TYPE/VOLTAGE", e aperte o botão à direita dessa indicação. Com isso, você trocou os cursores de medida de tensão para medida de tempo (TYPE/TIME). Varie a posição dos cursores com os knobs "POSITION" dos canais 1 e 2. Retorne para medida de tensão, apertando novamente o botão ao lado da indicação "TYPE" na tela.

Ligue agora a outra ponta de prova (CH1) ao ponto 14 da Figura 4. O terra desta ponta de prova deverá ser ligado no terminal 15 de R_{sai} (ou T1 ou GNT) que está ligado ao nó de referência do circuito. Aperte novamente o botão "AUTOSET" para visualizar os dois sinais simultaneamente (para saber qual sinal corresponde ao canal 1, e qual ao canal 2, aperte o botão "CH1 MENU", varie o knob "POSITION" de um dos canais e observe qual sinal se move na tela). Meça pelo osciloscópio (use as facilidades do osciloscópio "MEASURE") a amplitude pico-a-

PSI - EPUSP

pico (ver definição na Figura 6 para o caso de um sinal triangular) dos sinais de entrada (canal 2) e de saída (canal 1), e calcule o ganho de tensão do amplificador :

$$G_v = \frac{V_{pp,\ saída}\ (CH1)}{V_{pp,\ entrada}\ (CH2)}$$

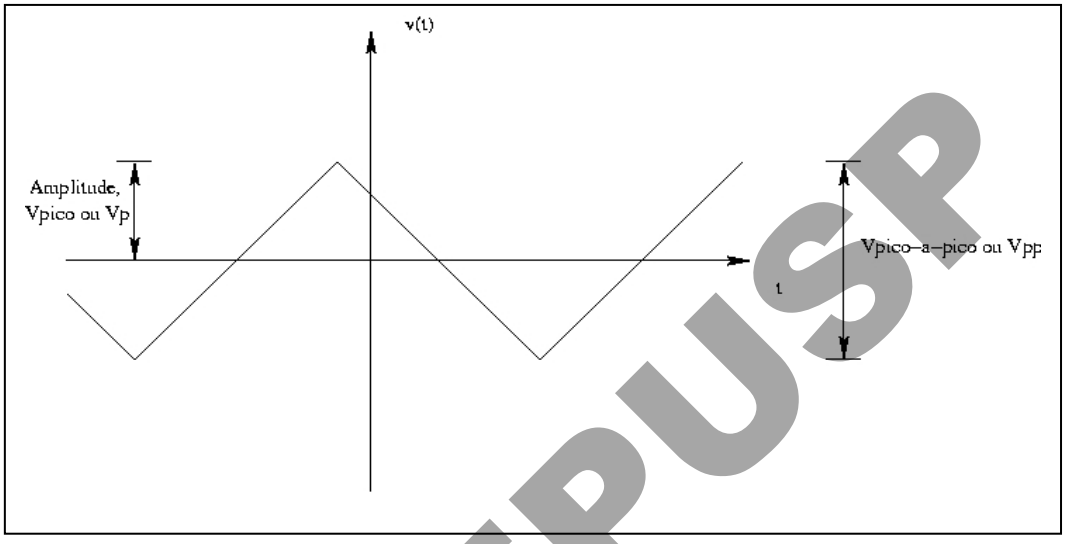


Figura 6 – Definições de Vpico e Vpico-a-pico

Agora mude a ponta de prova 2 para medir a tensão no coletor do transistor (ponto 7/8 da Figura 4, com terminal de terra no nó de referência do circuito), e aperte novamente "AUTOSET".

Aperte o botão "CH2 MENU" (se o sinal do canal 2 desaparecer, aperte "CH2 MENU" novamente), e selecione a opção "GND" apertando duas vezes o botão ao lado da indicação "COUPLING/DC" na tela. Observe que o sinal do canal 2 desapareceu, e em seu lugar há apenas um traço horizontal, alinhado com a indicação " 2 ™ " – é como se tivéssemos ligado a ponta de prova 2 à sua garra jacaré.

A posição deste traço horizontal na tela do osciloscópio é a referência de tensão (0V), a tensão das garras jacaré. No osciloscópio dessa experiência, esta posição é indicada pela indicação " 2 ™ " à esquerda na tela. No **exemplo** da Figura 5, portanto a tensão máxima da onda triangular é de 3 div x 0,5 V/div = 1,5 V. Um indicador semelhante ("1 ™") mostra onde está a referência de tensão do canal 1.

Atenção: A referência de tensão do canal 1 não está necessariamente na mesma posição que a referência do canal 2!

PSI - EPUSP

Você pode variar a posição da referência na tela usando o knobs "POSITION" dos canais 1 e 2. Aperte novamente o botão ao lado da indicação "COUPLING" para selecionar a opção "DC" para o canal 2 (não se esqueça de observar a que posição na tela corresponde o 0 V !). Meça agora, com relação à referência de tensão, os valores máximo e mínimo da tensão no coletor do transistor (use o cursor/ origem CH2 / TYPE VOLTAGE). Qual é o valor médio da tensão do canal 2 ?

Novamente através do botão "COUPLING", selecione a opção "AC" para o canal 2. O que aconteceu? Quais são os novos valores máximo e mínimo ? Qual é o novo valor médio? Faça um desenho no relatório mostrando os sinais medidos, com a opção "DC" e com a opção "AC".

O botão "COUPLING" altera a forma de *acoplamento* do osciloscópio. Em acoplamento DC, o sinal mostra o sinal **completo**. Em acoplamento AC, o valor médio (nível DC) do sinal é **"cortado"** antes da apresentação do sinal na tela. Esta opção é útil para a observação de pequenas variações de tensão em torno de um valor médio elevado.

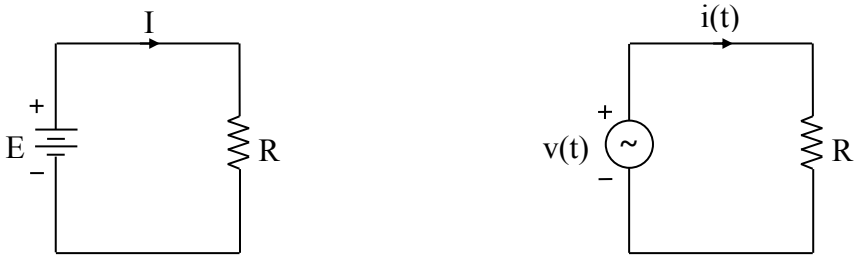
3. Medida de Tensão Eficaz (AC)

Volte o botão de amplitude do gerador de funções para a posição central (~1Vpp). Coloque o multímetro no modo de medida de tensão AC, girando o botão seletor para "V", e pressionando o botão embaixo do sinal "AC" no visor do aparelho. Meça também a amplitude (Vp = Vpp/2, ver Figura 6) com o osciloscópio. Anote as medidas feitas tanto com o osciloscópio quanto com o multímetro. Compare as duas medidas.

Por que os valores são diferentes ? O valor medido pelo multímetro é mais útil em diversas situações. O que o multímetro TX3 mede é o *valor eficaz* da tensão alternada, definido através do conceito de potência média, que veremos a seguir.

Considere o circuito simples da Figura 7 (a), onde E é uma tensão constante (DC). A potência dissipada no resistor é portanto :

$$P_{dissipada} = E.I = \frac{E^2}{R}$$



(a) **(b)**

PSI - EPUSP

Figura 7 – Tensão e Corrente Eficazes

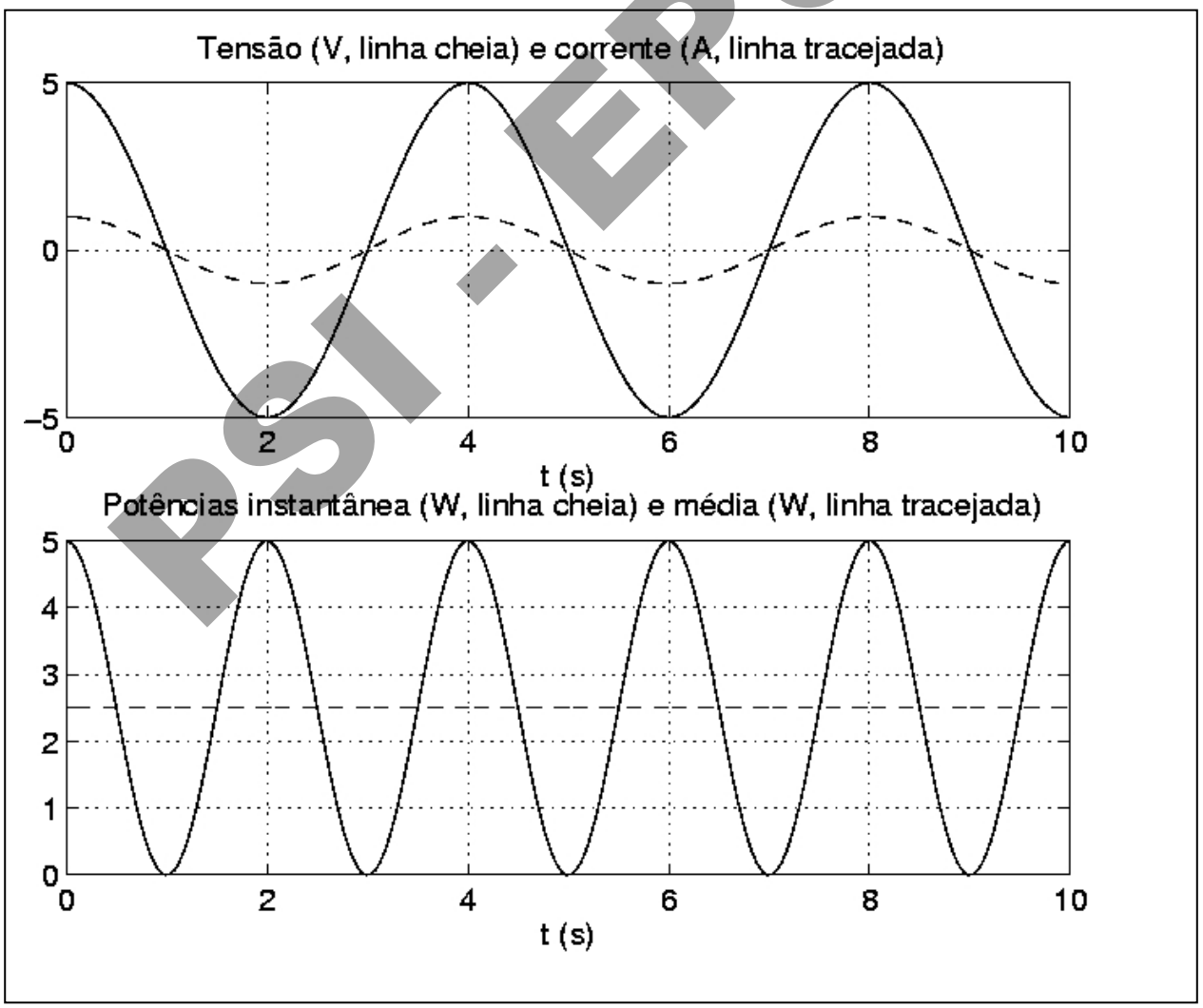
Considere agora o circuito da Figura 7 (b), onde v(t) é um sinal periódico qualquer. Como sabemos, a potência dissipada no resistor é :

$$p(t) = v(t)\, i(t) = \frac{v^2(t)}{R}$$

Entretanto, esse valor de potência *instantânea* não é o mais útil em várias situações práticas. Muito mais útil é a potência média,

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\, i(t)\, dt$$

onde T é o período de v(t) (ver Figura 8).



PSI - EPUSP

Figura 8 – Potência Instantânea e Potência Média

Vamos agora calcular a potência média dissipada em R :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{v^2(t)}{R}\,dt = \frac{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt}{R}$$

Diretamente relacionados com o conceito de potência média, estão os conceitos de tensão e corrente *eficazes*. Comparando o valor de P calculado acima com a potência dissipada no circuito DC da Figura 7 (a), concluímos que, em termos de potência média dissipada, a tensão alternada v(t) é *equivalente* a uma tensão DC de valor

(5) $$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt}\ ,$$

isto é, $P = \frac{E^2}{R}$ em DC, é equivalente a $P = \frac{V_{ef}^2}{R}$ para o sinal AC.

Este valor equivalente é denominado *tensão eficaz*, e é o valor lido pelo multímetro, em escala VAC. Ou seja, uma tensão *alternada* com (por exemplo) 3,5 Vef dissiparia a *mesma potência média* num resistor de 5 Ω que uma tensão DC de 3,5 V.

Nota : Para sinal senoidal, $V_{ef} = V_p / \sqrt{2}$

4) Cuidados com o terra da ponta-de-prova: curto-circuitos através do terra da rede

Desligue a ponta de prova do canal 1 do circuito, e meça com o canal 2 a tensão de entrada V_{ent}, ou seja, a tensão no ponto 17 do circuito. Você deve ver uma tensão senoidal de amplitude pequena, com um valor médio nulo. Mantenha a amplitude num valor pequeno (menor que 0,2 Vpp).

Procure agora medir ($-V_{ent}$), ou seja o negativo da tensão de entrada. Para isso, inverta a ponta de prova do canal 2, ligando o jacaré ao ponto 17 da Figura 4 e a ponta ao negativo da fonte DC. Você deve ver agora um traço quase horizontal na tela.

O que aconteceu com a tensão de entrada quando você ligou o terra da ponta ao ponto 17 do circuito? Como mencionado antes, o terminal de terra da ponta de prova está ligado ao terra da rede. O mesmo acontece com o terminal preto do cabo do gerador de sinais. Assim, ao se ligar o

PSI - EPUSP

terra do osciloscópio ao terminal vermelho do gerador, o que efetivamente se fez foi curto-circuitar o gerador de sinais, através dos terminais de terra – por isso o osciloscópio indicou tensão zero na saída do gerador de sinais. Aqui, devido às proteções do gerador de sinais e à tensão pequena ajustada no gerador, nada de grave ocorre. No entanto, o mesmo tipo de efeito (***com conseqüências muito piores***) acontecerá ao se medir tensões derivadas da rede de alimentação.

Por este motivo, **nunca conecte a ponta de prova do osciloscópio a um sinal derivado diretamente da rede de alimentação.**

PSI - EPUSP

5. Verificação do Efeito Joule – Corrente Alternada

Nesta última etapa da experiência, vamos verificar a utilidade do conceito de valores eficazes. Para isto, vamos repetir a verificação do Efeito Joule, desta vez usando uma corrente senoidal para alimentar o resistor que irá esquentar o cilindro de alumínio. Para obter a corrente senoidal, utilizaremos a tensão de saída (secundário) de um transformador (aproximadamente 26 V), cujo primário está ligado ao sinal de 127 V, 60 Hz da rede elétrica.

O circuito que usaremos agora é semelhante ao da primeira parte da experiência, mas com a fonte de tensão substituída pelo secundário de um transformador (ver Figura 9). Antes de montar o circuito, ligue o transformador na rede elétrica, e verifique, com a ajuda do multímetro na escala de tensão eficaz (VAC), que a tensão no secundário do transformador é aproximada- mente 26 Vef.

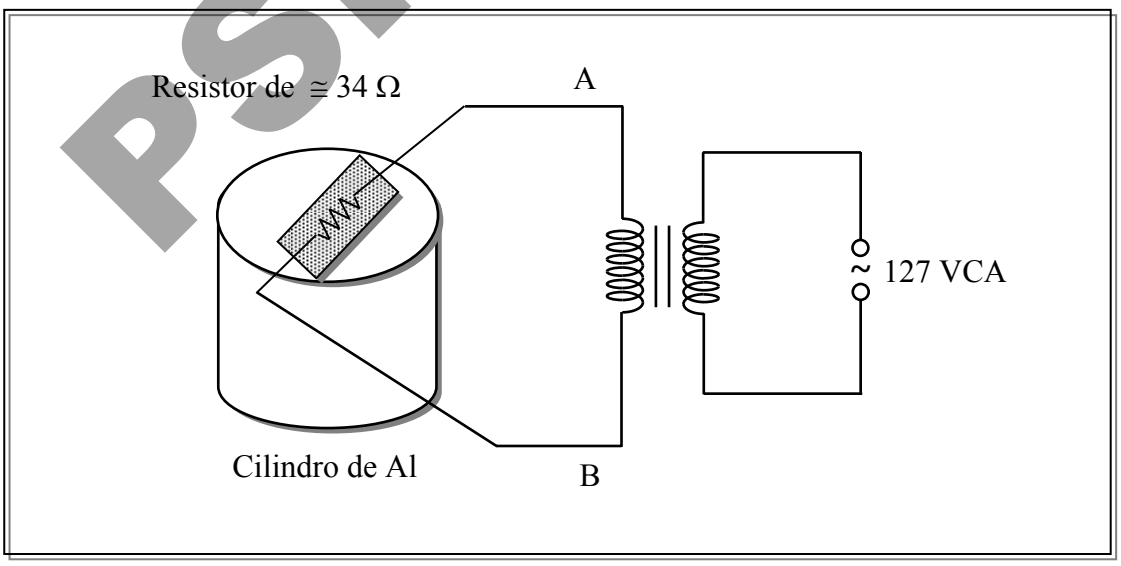


Figura 9 – Verificação do Efeito Joule usando Corrente Alternada

Monte o circuito da Fig. 9, **mas não conecte os fios A e B ao transformador ainda**. Ajuste o multímetro novamente para medida de temperatura, e insira o termopar no orifício do cilindro. Só prossiga se a temperatura do cilindro for menor que 30º C.

• Prepare o cronômetro para iniciar as medidas de tempo, e só então conecte os fios A e B ao transformador, iniciando a contagem de tempo.

• Meça e anote a tensão eficaz nos terminais do resistor (ela deve ser um pouco menor que a tensão em aberto, pois a presença do resistor de 34 Ω deve mudar um pouco a tensão na saída do transformador).

• Retire as pontas de prova do multímetro, ajuste-o novamente para medir temperatura, e como antes, meça a temperatura a cada 1 min, preenchendo a tabela 2.

• Desligue a alimentação logo após fazer a medida em 13 min, mas continue medindo temperaturas até completar a tabela.

A partir dos dados da tabela 2, repita o procedimento usado na primeira parte desta experiência para calcular a energia elétrica transferida para o cilindro e para o ar na forma de calor (W_{Al} e W_{ar}). Divida a energia total pelo tempo de aquecimento, Δt_{sub} e compare o resultado obtido com a potência elétrica, que agora é calculada por

$$P_{resistor} = V_{ef}\, I_{ef} = \frac{V_{ef}^2}{R}$$

• Ao terminar as medidas, desligue todos os aparelhos e deixe a bancada em ordem.

Lista de Material

1 – Placa didática

2 – Osciloscópio digital com 2 pontas de prova

3 – Multímetro digital com ponta termopar para medidas de temperatura

4 – Gerador de funções

5 – Fonte de tensão

6 – Resistores (47 kΩ ; 10 kΩ ; 4,7 kΩ ; 470 Ω ; 100 Ω)

7 – Capacitores de 2,2 μF e 47 μF

8 – Transistor BC547A

9 – Transformador 127 V / 26 V

10 – Relógio ou cronômetro

11 – Dois resistores de potência de 68 Ω conectados em paralelo e montados em um cilindro de alumínio.

12 – Cabo coaxial BNC-BNC

13 – Dois cabos banana/banana

14 – Cabos de conexão para placa didática (14)

15 – Papel milimetrado (2 folhas)

PSI - EPUSP

PSI - EPUSP

Bibliografia

[1] Keithley, J.F. – The Story of Electrical and Magnetic Measurements: from 500 B.C. to the 1940s, IEEE Press, New York, NY, EUA, 1999

[2] Whittaker, E. – A History of the Theories of Aether and Electricity. Thomas Nelson and Sons, Ltd., Londres, 1951

[3] Multímetros digitais RMS TX1 e TX3, TX-DMM. Tektronix Inc.

[4] Osciloscópio digital TDS 200, Tektronix, Inc.