

1º Trabalho Prático: O OSCILOSCÓPIO E MULTÍMETRO DIGITAL

1. Apresentação

Medição e medida

Em Física, a descrição dos fenómenos que ocorrem no Universo é feita em termos de um certo número de características, designadas por grandezas físicas. A medição de uma grandeza física consiste em atribuir-lhe um número (valor numérico) através do seu confronto com uma grandeza padrão (a que chamamos unidade), mediante a interposição entre o fenómeno e o observador de um instrumento de medida. O processo de medição nunca é ideal pelo que o valor numérico obtido vem sempre afectado pelas limitações e imprecisões dos instrumentos e métodos usados (o erro). Sendo assim, a medida definida como o resultado da medição, deve-se exprimir sob a forma:

$$\text{MEDIDA} = [\text{VALOR NUMÉRICO}] \pm [\text{ERRO}] [\text{UNIDADE}]$$

Um instrumento de medida pode-se considerar genericamente como sendo formado por 3 elementos:

- um elemento revelador, sensível à grandeza a medir - sinal de entrada;
- um transdutor, que transforma a informação obtida pelo revelador numa grandeza de fácil manipulação por parte do experimentador;
- um dispositivo ("mostrador") que dá visualmente ou graficamente o resultado da medida - sinal de saída.

Basicamente um instrumento de medida funciona como um transdutor que transforma um sinal qualitativo e/ou inacessível aos nossos sentidos num sinal que podemos quantificar. Na sua grande maioria, os instrumentos de medida usados no laboratório para quantificar grandezas que não sejam comprimentos ou intervalos de tempo, realizam a transdução da grandeza física num sinal eléctrico, normalmente uma diferença de potencial (ddp) ou sinal de tensão. As vantagens deste tipo de sinal são inúmeras:

- podem ser enviados a grandes distâncias sem perda de informação;
- podem ser gravados de forma analógica ou digital;
- podem ser filtrados, amplificados ou processados de forma complexa;
- podem ser facilmente visualizados com instrumentos adequados.

Por estas razões, o estudo dos sinais eléctricos é muito importante na Física ou em qualquer outra Ciência Experimental. Neste primeiro trabalho prático iremos trabalhar com alguns aparelhos usados para medir e visualizar sinais eléctricos que devem ser entendidos como a própria grandeza física a medir ou como podendo resultar da saída de um conjunto [revelador+transdutor] adequado à medição de uma outra grandeza física.

Medição de sinais eléctricos

A escolha do instrumento de medida mais adequado para a medição de uma diferença de potencial (ddp) ou outro sinal eléctrico, depende da rapidez com que esse sinal varia. O tempo de resposta de um instrumento de medida é o tempo necessário para o instrumento responder a um

estímulo, o qual deve ser breve de modo a que quando receba um segundo estímulo já tenha respondido ao anterior. O tempo de resposta deve ser sempre inferior ao tempo de variação das grandezas.

Quando um sinal eléctrico é constante ou varia lentamente, o aparelho mais adequado para a sua medição é o **multímetro digital**, cujo tempo de resposta (em modo DC) é de 1 ou 2 segundos. Em modo AC o multímetro faz uma leitura correcta do valor eficaz (RMS) do sinal para frequências entre aproximadamente 10 Hz e 5 kHz (dependendo das características do aparelho). No entanto, o multímetro não fornece nenhuma outra informação sobre a grandeza a medir, nomeadamente a sua rapidez de variação, ou a forma como se processa essa variação. Para obter esta informação adicional, que é essencial em muitas aplicações, torna-se necessário recorrer ao **Osciloscópio**.

2. A lei de Ohm¹

A **intensidade da corrente eléctrica**, ou abreviadamente corrente, é o número de cargas eléctricas que por segundo atravessam uma secção recta do circuito. O símbolo para corrente eléctrica é **I** (ou **i**) e a unidade é o ampere (**A**). Um ampere corresponde a um fluxo de carga de um coulomb por segundo.

A **diferença de potencial eléctrico (ddp)** entre dois pontos de um circuito eléctrico é a medida do trabalho que é necessário para mover uma carga unitária de um ponto a potencial eléctrico mais baixo para um ponto com potencial mais elevado. Usa-se habitualmente o termo **tensão** para designar esta diferença de potencial eléctrico. O símbolo de ddp é **V** e a unidade de medida é o volt (**V**).

Para certos materiais condutores a ddp nos seus terminais é directamente proporcional à corrente que os atravessa. A relação entre V e I é linear e a sua expressão é conhecida como a **lei de Ohm**

$$V = R \cdot I$$

Nesta equação a constante de proporcionalidade **R** representa a resistência do componente. A unidade de resistência é o ohm (**Ω**). Num circuito eléctrico uma resistência representa-se pelo símbolo  ou 

Para que haja circulação de corrente eléctrica num circuito são necessárias duas condições: 1) que o circuito seja fechado, isto é que todos os elementos se liguem entre si sem interrupções; 2) que haja no circuito uma fonte de tensão (ou de corrente). Uma **fonte de tensão** é um elemento que estabelece de forma autónoma uma diferença de potencial aos seus terminais (também conhecida como força electromotriz). Essa ddp pode ser contínua ou alterna e então poderemos falar de geradores de tensão **DC** ou **AC**. Uma fonte de tensão contínua num circuito

representa-se habitualmente por  e uma fonte de tensão alterna por 

3. O Multímetro Digital²

Os instrumentos de medida habitualmente usados na medição das grandezas eléctricas,

¹ Ver também a Leitura 4 de Abreu et al., 1994

² Ver também o Apêndice 2 4 de Abreu et al., 1994

intensidade de corrente, diferença de potencial e resistência eléctrica, designam-se respectivamente por amperímetros, voltímetros e ohmímetros. Um multímetro é um aparelho que reúne num mesmo corpo estas três funções. No multímetro digital a leitura do valor numérico da grandeza eléctrica é feito diretamente no mostrador, podendo esse valor estar afetado de um sinal.

No multímetro digital a escolha da grandeza a medir assim como a escala mais adequada é feita por seleção de botões e também pela posição das pontas de prova. Quando não conhecer a ordem de grandeza do valor a medir, deve sempre começar pela escala mais elevada até obter no mostrador o maior número de algarismos significativos possível. Se o valor ultrapassar a escala escolhida então o mostrador deve indicar esse facto com um símbolo especial. Em alguns modelos esse símbolo é 1 (um) alinhado à esquerda sem mais nenhum algarismo.

Para medir uma diferença de potencial com o multímetro digital regulado para voltímetro o instrumento deve ser colocado **em paralelo** com o elemento a estudar. O símbolo de um voltímetro é habitualmente dado por



Para medir a intensidade de corrente eléctrica que atravessa um dado ponto de um circuito com o multímetro digital regulado para amperímetro o instrumento deve ser colocado **em série**. O símbolo de um amperímetro é habitualmente dado por



Para medir a resistência de um elemento de um circuito devem-se colocar as pontas de prova do multímetro digital regulado para ohmímetro nas extremidades do elemento, quando não passa corrente eléctrica por ele (em circuito aberto).

NOTA: todos os instrumentos de medida de grandezas eléctricas alteram as características do circuito que pretendem analisar. Por vezes esse efeito não pode ser desprezado. Uma das características que define a interferência do instrumento no circuito é a sua **resistência interna**.

4. O Osciloscópio

O osciloscópio é um aparelho que permite observar num ecrã uma diferença de potencial (ddp) em função do tempo ou em função de uma outra ddp. O elemento sensor é um feixe de electrões que, devido ao baixo valor da sua massa e por serem partículas carregadas, podem ser facilmente acelerados e a sua trajetória deflectida pela ação de um campo eléctrico.

A ddp lê-se a partir da posição de uma mancha luminosa ou *spot* num ecrã retangular de dimensões aproximadas 10×8 cm. A mancha é provocada pelo impacto de um feixe de electrões num ecrã revestido de material fluorescente. Uma série de divisões marcadas no ecrã (as maiores de 1 cm e as menores de 2 mm) auxiliam na leitura das coordenadas do ponto luminoso. O rigor que se obtém é normalmente da ordem de 1 mm, mas a precisão da medida depende das escalas escolhidas para os eixos XX (tempo ou ddp) e YY (ddp). Para converter as leituras de amplitudes X e Y feitas em unidades de comprimento (normalmente cm) em unidades de ddp ou de tempo, devem-se usar os factores de amplificação seleccionados para o canal horizontal A_x e vertical A_y :

$$V_y = A_y * Y \quad T = A_x * X \quad (\text{modo Y-T}) \quad \text{ou} \quad V_x = A_x * X \quad (\text{modo Y-X})$$

Por isso, todas as medições efetuadas com o osciloscópio devem mencionar o valor das amplitudes em cm, a escala de amplificação usada, e a incerteza da medida (normalmente "1 mm). Por exemplo:

$$V_{pp} = (3.20 \pm 1 \text{ cm}) \times 0.5 \text{ V/cm} = 1.60 \pm 0.05 \text{ V}$$

$$V_o = V_{pp}/2 = 0.80 \pm 0.03 \text{ V} = 8.0 \times 10^{-1} \pm 0.03 \text{ V}$$

Como quase todas as grandezas físicas são medidas através de um sinal eléctrico, o osciloscópio é utilizado em qualquer tipo de laboratório e em situações tão diversas como o diagnóstico médico, mecânica de automóveis, prospeção mineira, etc. Sendo, em geral, um aparelho de controlo e observação, uma escolha justa das escalas permite medidas com uma precisão relativa de 2 a 5%.

O osciloscópio, que podemos designar abreviadamente por **OSC**, é essencialmente constituído por um tubo de raios catódicos com ecrã fluorescente e um conjunto de circuitos electrónicos que permitem ao osciloscópio realizar um vasto conjunto de funções. O objetivo deste 1º trabalho prático é essencialmente a familiarização com o osciloscópio. Conhecer as múltiplas situações em que este instrumento se revela um auxiliar precioso na medição de diferenças de potencial (ddp), tempos e frequências. Comparam-se ainda as medições de ddp feitas com o osciloscópio e as medidas feitas com um multímetro.

Medição de tensões alternas periódicas

O osciloscópio permite o estudo das principais características das ddp variáveis no tempo produzidas por geradores de sinais. Uma ddp que varia no tempo de modo periódico é caracterizada por parâmetros como

$V(t)$	Valor da ddp em cada instante
V_o	Amplitude máxima
T	Período
$f = 1/T$	Frequência
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	Frequência angular
ϕ	Fase
$V_{pp} = 2V_o$	Amplitude de pico a pico
$V_{ef} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt \right]^{1/2}$	Valor eficaz ou RMS (R oot M ean S quare). É o equivalente contínuo da ddp alterna que provocaria a mesma dissipação de energia numa resistência.

Entre muitos sinais possíveis, os mais usuais em grande número de aplicações são os sinais sinusoidais

$$V(t) = V_o \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)$$

em que a ddp eficaz é dada por $V_{ef} = V_o / \sqrt{2} = 0.707 \cdot V_o$.

Para caracterizar uma ddp alterna é necessário medir a sua amplitude máxima V_o e período T . Com tensões sinusoidais o mais cómodo é medir a tensão pico a pico $V_{pp}=2V_o$. Para diminuir o

erro relativo de leitura, o ganho do amplificador vertical deve ser o máximo permitido pelo nível do sinal.

Para medir o período T de um sinal periódico, deve-se ajustar o OSC de forma a visualizar no ecrã uma figura estável com um pequeno número de ciclos completos. Para minimizar o erro de leitura relativo, deve-se medir no ecrã o tempo correspondente a todos os períodos representados. Com um ecrã de 10 cm de largura e um erro de leitura de 1 mm, a precisão máxima que se pode

obter é de 1%, ou seja, dois algarismos significativos. A figura 1 ilustra as operações descritas para a caracterização de um sinal sinusoidal.

NOTA: para maximizar a precisão de leitura, o OSC deve ser ajustado por forma a que a distância lida no ecrã seja sempre a maior possível, quer na horizontal, quer na vertical.

5. Leitura Complementar

O Osciloscópio (Apêndice 1, *Física Experimental - Uma Introdução*, de Abreu et al., 1994).

Multímetros (Apêndice 2, *Física Experimental - Uma Introdução*, de Abreu et al., 1994).

1º Trabalho Prático: O OSCILOSCÓPIO E MULTÍMETRO DIGITAL

1. EQUIPAMENTO NECESSÁRIO

- Osciloscópio
- Multímetro digital
- Fonte de tensão
- Gerador de sinais periódicos
- Cronómetro digital
- Circuito com lâmpada, interruptor, resistência
- Cabos com garras

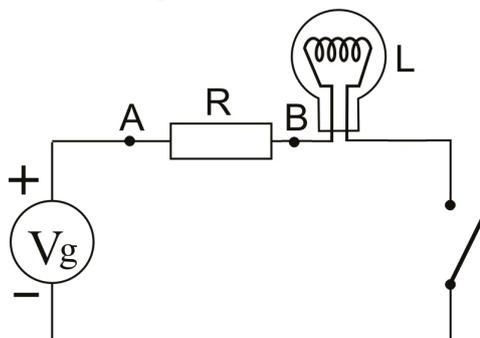
2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Notas:

- 1) Todos os valores medidos devem ser registados com o erro de leitura.
- 2) As tarefas indicadas com (*) destinam-se a ser realizadas apenas na fase de análise de dados, posterior ao cumprimento de todas as tarefas de medição exigidas.
- 3) Inclua sempre as unidades de cada valor medido ou calculado.

2.1 Montagem de um circuito simples e medições com multímetro digital

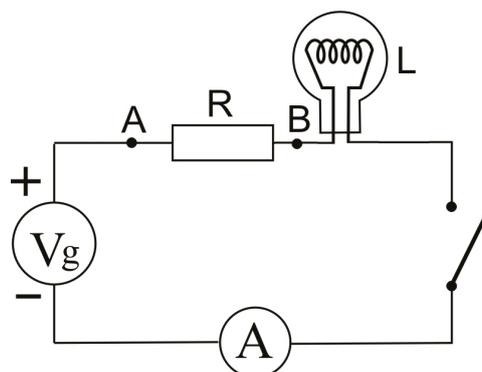
Usando o equipamento à sua disposição, construa o circuito eléctrico indicado na figura com a lâmpada L, a resistência R, a fonte de tensão V_g e o interruptor I. Mantenha o interruptor aberto. Verifique que o circuito funciona fechando o interruptor apenas por alguns segundos. A resistência permite efetuar a verificação da lei de Ohm e serve também de proteção para impedir que a lâmpada seja atravessada por uma corrente eléctrica excessiva.



a) Com o circuito aberto, determine o valor da resistência R, usando o multímetro digital no modo ohmímetro. Indique o valor da resistência, da incerteza na sua medida e a escala que usou.

b) Para medir a diferença de potencial (ddp) aos terminais da resistência R use agora o multímetro no modo de voltímetro. Coloque as pontas de prova nos pontos A e B do circuito. E escolha a escala inicial que lhe pareça mais apropriada.

Feche o circuito e meça a ddp na escala mais adequada, indicando a incerteza na sua medida e a escala que usou.



c) Para medir a intensidade de corrente que atravessa o circuito deve introduzir no circuito o multímetro, no modo de amperímetro, tal como se indica na figura ao lado.

Feche o circuito e meça a intensidade de corrente na escala mais adequada, indicando a incerteza

na sua medida e a escala que usou.

d) Altere a ddp do gerador de tensão. Repita as medições efetuadas nas alíneas b) e c). Repita este processo para pelo menos 5 ddp's diferentes (não ultrapasse os 10 V). Organize os seus dados numa tabela.

(*2.2 Verificação da lei de Ohm

a) Usando os valores da intensidade de corrente e diferença de potencial obtidos anteriormente faça um gráfico e aplique o Método dos Mínimos Quadrados para verificar a lei de Ohm. Indique qual o valor da resistência obtido desta forma e a incerteza que lhe está associada.

b) Compare o valor obtido com o valor medido no ponto 2.1a). Discuta os resultados obtidos.

2.3 Medição do tempo de varrimento na escala de 200 ms/cm

Verifique que todas as escalas estão na posição de calibradas (controlo *CAL* nos botões que selecionam as escalas *TIME/cm* e *V/cm*) e que o *TRIGGER* se encontra em modo automático (*AT*). Ligar o *OSC* e obter no ecrã um traço contínuo de boa qualidade óptica usando os potenciómetros de *INTENS* e *FOCUS*. Se usar um tempo de varrimento grande (200 ms/cm) pode observar em vez de uma linha, um ponto a deslocar-se horizontalmente. Verifique o efeito dos botões de controlo da posição horizontal **X-POS** e vertical **Y-POS** do feixe de electrões.

a) Com o modo *TRIGGER* selecionado em **Int.**, assegure-se que se está no modo Y-T (modo *XY* desligado). Coloque a velocidade de varrimento da base de tempo na escala de 200ms/cm. Nestas condições pode medir o tempo que o ponto luminoso demora a percorrer toda a largura do ecrã usando um cronómetro. Repita esta medição pelo menos dez vezes.

(*) Calcule a média, o desvio padrão e o desvio padrão da média do conjunto de medidas efetuadas.

(*) Determine a constante da base de tempo ($\Delta t/1\text{cm}$) através dos resultados obtidos anteriormente e apresente o resultado na sua forma correcta.

b) Faça uma medição idêntica à anterior, mas desta vez contando pelo menos 10 varrimentos completos do ecrã. Repita esta medição 3 vezes.

(*) Determine a constante da base de tempo através dos resultados obtidos anteriormente e apresente o resultado na sua forma correcta.

(*) Compare os valores obtidos a partir das duas experiências anteriores com o valor nominal que deveria obter atendendo à escala usada. Que conclui?

2.4 Medição de uma ddp sinusoidal

Com o *TRIGGER* no modo **Int.**, use o gerador de sinais para obter um sinal sinusoidal com uma frequência próxima de 1 kHz. Com o *OSC* nos modos DC e Y-T proceda aos ajustes necessários de forma a obter no ecrã uma representação estável do sinal sinusoidal.

Meça a amplitude e o período da tensão sinusoidal. Assegure-se antes do ajuste do nível 0 V usando um procedimento idêntico ao anterior em 2.3. Indique as escalas de amplificação vertical e da base de tempo que escolheu.

(*) Exprima as medidas anteriores em termos do seu erro relativo.

(*) Calcule a frequência do sinal escolhido.

2.5 Características dos sinais de ddp variáveis no tempo

Regule o gerador de sinais para uma frequência próxima de 20 kHz.

a) Observe no OSC sinais sinusoidais e quadrados. Para cada sinal deve medir a amplitude pico-pico, amplitude máxima, período e calcular a sua frequência.

b) Para cada sinal meça a amplitude com o multímetro digital em modo ACV.

(*) Compare as medidas de amplitude obtidas por ambos os instrumentos, multímetro e osciloscópio. Discuta as diferenças observadas.

(*) Discuta os valores obtidos estabelecendo as relações matemáticas entre as ddp medidas com os dois aparelhos.

3. RELATÓRIO

Indique sempre a turma, o número e nome de cada aluno que constitui o grupo de trabalho assim como a data da realização do trabalho.

Em linhas gerais, o relatório deve ser uma exposição/relato escrito em que se descrevem e analisam todos os factos/dados recolhidos no decorrer de uma experiência. Os registos efetuados servem para responder aos objetivos que originaram a atividade experimental. Faz parte de um relatório o **RESUMO** (sucinto), a **DISCUSSÃO** e as **CONCLUSÕES**. Não se pretende uma introdução.

(*) 4 Problema (a apresentar em anexo ao relatório)

a) Considere a situação em que a base de tempo do OSC se encontra na escala de 0.5 ms/cm. Faça um gráfico da figura que observaria no OSC quando no canal I estiver aplicada a tensão sinusoidal $V_1(t)=2.0\text{sen}(6283t)$ V, ao mesmo tempo que no canal II se aplica a tensão $V_2(t)=2.0\text{cos}(6283t)$ V.

b) No canal I do OSC aplica-se um ddp sinusoidal $v_1(t)=2.0\text{sen}(3141t)$ V e no canal II uma ddp também sinusoidal $v_2(t)=3.0\text{sen}(3141t+\phi)$ V. Utiliza-se a escala vertical de 1 V/cm em ambas as entradas e a escala horizontal vale 0.5 ms/cm. A ddp $v_1(t)$ é aplicada no instante $t=t_0$ e nesse instante $v_1(t)$ é crescente e tem o valor de 0 V. Faça um gráfico da figura que se veria no ecrã do OSC quando a diferença de fase ϕ , entre os dois sinais tomar o valor de 45° .

c) Diga o que sucederia se a escala horizontal fosse de 5 ms/cm. Explique a necessidade de selecionar as escalas de acordo com o sinal em observação.