

Prática n.º 4

Resistências internas do amperímetro e do voltímetro; ponte de Wheatstone.

[Faça o estudo dos circuitos (cálculos e/ou simulações) antes da aula]

1. (Item para a apresentação) Modelos do voltímetro e do amperímetro.

Um voltímetro pode, em cada uma das escalas, ser representado por uma resistência R_{int} em paralelo com um voltímetro ideal. Conforme verificou nos exemplos tratados nas aulas teóricas e teórico-práticas, na análise de circuitos eléctricos reais é conveniente fazer-se uma avaliação prévia do impacto das *interações dos instrumentos de medida no sistema-sob-medição*.

- i) Implemente na placa de teste um (ou mais) circuito(s) que lhe permita(m) discutir a utilidade do modelo do voltímetro para a quantificação da *interação instrumento – sistema-sob-medição*, e determine o valor de R_{int} para as diversas escalas do voltímetro da sua bancada.
- ii) Discuta a utilidade da representação de um amperímetro por uma resistência R_{int} em série com um amperímetro ideal, implementando um circuito que lhe permita determinar o valor de R_{int} nas diversas escalas.

2. (Item para a apresentação) Ponte de Wheatstone.

O circuito em forma de losango, Fig. 1, mais conhecido como ponte de Wheatstone, é uma montagem eléctrica que permite a medição do valor de uma resistência eléctrica desconhecida com grande precisão. Foi proposto por Samuel Hunter Christie em 1833, mais foi Charles Wheatstone quem o popularizou. A ponte pode estar em equilíbrio ou não: a ponte é considerada equilibrada quando as resistências estão ajustadas de maneira que a corrente que percorre o *detector* ou o *sensor* (amperímetro, galvanómetro, etc.) colocado entre A e B é igual a zero. Desta maneira é possível determinar o valor de uma resistência desconhecida através do produto e quociente das resistências conhecidas.

Preparação prévia do trabalho: Calcule, antes da aula, a relação que tem de existir entre R_1 , R_2 , R_3 e R_4 para que a ponte esteja em equilíbrio, isto é, para que $U_{AB} = U_A - U_B = 0$ V. Determine também a expressão analítica aproximada que, partindo da ponte em equilíbrio, relacione U_{AB} com uma variação incremental ΔR de R_4 , $U_{AB}(\Delta R)$. Dica: substitua R_4 por $R_4 + \Delta R$, com $\Delta R \ll R_4$, e mantenha as restantes resistências R_1 , R_2 , e R_3 fixas no valor inicial.

Trabalho experimental: Monte na placa de teste a ponte, Fig. 1, com 4 resistências iguais de valor entre 4,7 k Ω e 10 k Ω , e use a fonte de tensão de 5 V.

- i) Meça U_{AB} . Discuta a razão desta tensão não ser nula, se for essa a situação.
- ii) Mantendo as resistências da ponte, coloque uma resistência de 100 Ω em série com R_4 e meça de novo U_{AB} .
- iii) Compare o valor de U_{AB} que mediu após alterar R_4 com o valor dado pela expressão $U_{AB}(\Delta R)$.

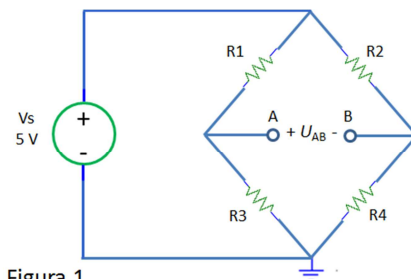
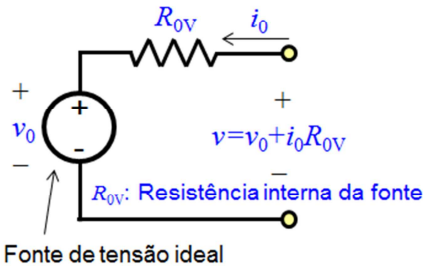


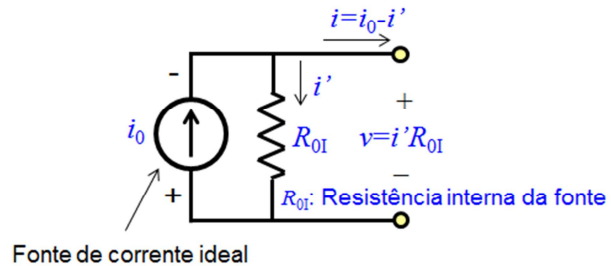
Figura 1

Modelos dos geradores de tensão e de corrente

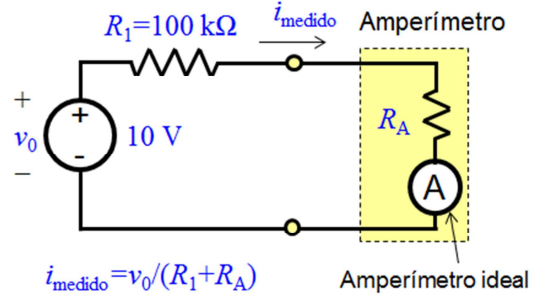
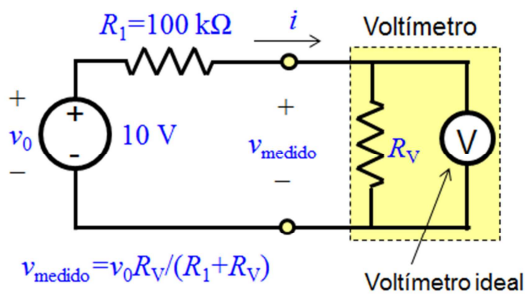
Fonte de tensão



Fonte de corrente

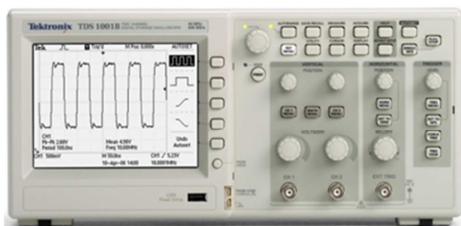


Modelos do voltímetro e do amperímetro

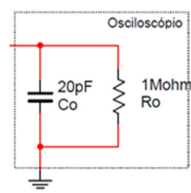


Impedância do osciloscópio

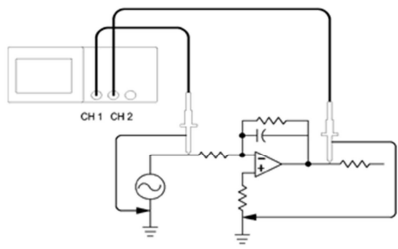
O **osciloscópio** é um **instrumento de medida** de sinais eléctricos/electrónicos que apresenta representações gráficas duas dimensões de um ou mais sinais eléctricos (de acordo com a quantidade de canais de entrada). O eixo vertical (y) do ecrã representa a magnitude do sinal (**tensão**) e o eixo horizontal (x) representa o tempo, tornando o instrumento útil para visualizar sinais periódicos ou sinais variáveis no tempo.
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Oscilosc%C3%B3pio>



Cada uma das entradas do osciloscópio possui uma impedância, normalmente uma resistência em paralelo com um condensador. A impedância de um osciloscópio deve ser a maior possível. Os valores típicos da resistência e da capacidade são da ordem de 1 MΩ e de 10 a 80 pF, respectivamente.



Usando os dois canais do osciloscópio é possível observar no canal 1 o sinal aplicado ao circuito e no canal 2 a resposta do circuito ao sinal aplicado.



“The input impedance is made a specific nominal value, rather than arbitrarily high, because of the common use of **X10 probes**. With a known input impedance to the oscilloscope, the probe designer can ensure that the probe input impedance is exactly ten times this figure (actually oscilloscope plus probe cable impedance). Since the impedance included the input capacitance and the probe is an impedance divider circuit, the result is that the waveform being measured is not distorted by the RC circuit formed by the probe resistance and the capacitance of the input (or the cable capacitance which is generally higher).”
https://en.wikipedia.org/wiki/Nominal_impedance#Oscilloscopes

Ponte de Wheatstone

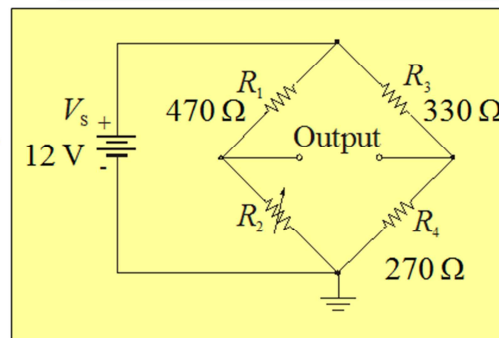
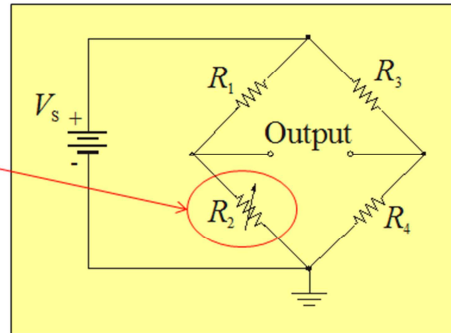
The **Wheatstone bridge** consists of a dc voltage source and four resistive arms forming two voltage dividers. The output is taken between the dividers. Frequently, one of the bridge resistors is **adjustable**.

When the bridge is balanced (**balanceada**), the output voltage is **zero**, and the products of resistances in the opposite diagonal arms are **equal**:

$$R_1 R_4 = R_3 R_2 \text{ (ponte balanceada)}$$

Example: What is the value of R_2 if the bridge is balanced? **384 Ω** .

A ponte de Wheatstone é usada para medir resistências com grande precisão. A ponte pode também ser combinada com um transdutor para medir quantidades físicas como, por exemplo, a tensão mecânica, a pressão, a temperatura, etc.



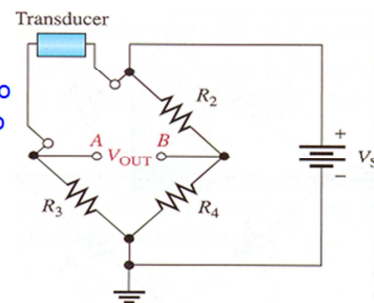
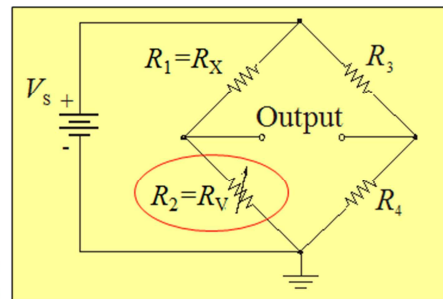
97

Ponte de Wheatstone

A ponte pode também ser combinada com um transdutor para medir quantidades físicas como, por exemplo, a tensão mecânica, a pressão, a temperatura, etc.: uma das resistências da ponte é substituída pelo transdutor, que transforma as variações da grandeza física a medir em variações de resistência. O transdutor pode ser um sensor de pressão, um sensor de temperatura (ex. termistor).

A ponte pode ser operada no modo balanceado ou não balanceado. No modo balanceado, ponte contém duas resistências conhecidas, R_3 e R_4 , uma resistência conhecida mas cujo valor é ajustável, R_V , e uma resistência desconhecida, R_X . A condição de balanceamento permite determinar a resistência desconhecida.

A operação em modo não balanceado, isto é, quando a tensão V_{out} é diferente de zero, permite medir grandezas físicas como a pressão e a temperatura. Coloca-se o transdutor, cuja resistência é proporcional ao parâmetro que queremos medir, num dos ramos da ponte, por exemplo no ramo onde está R_1 . O valor da tensão V_{out} (i.e., o valor de *desbalanceamento* da ponte) indicará a magnitude da variação do parâmetro físico objeto da medição.



Multímetro

Face à sua grande versatilidade, o multímetro tornou-se o aparelho de medidas eléctricas de uso universal nos laboratórios de electrónica, em oficinas de electricidade e de electrónica, etc. Os multímetros reúnem num só aparelho a possibilidade de medir tensão (ddp), corrente [alternada (ca) ou contínua (cc)], e resistência, pelo menos. Nas aulas laboratoriais são usados os multímetros digitais Escort EDM168A.



“Legenda”: medidas **AC~** (corrente alternada); medidas **DC=** (corrente direta ou contínua); **V** função voltímetro; **FREQ Hz** função frequencímetro; **A** função amperímetro; **Ω** função ohmímetro; **Cx** função *capacímetro*; **COM** terminal comum; **V-Ω-Hz** terminal das funções **V**, **Ω** e **Hz** (frequencímetro); **mA** terminal da função miliamperímetro (até 200 mA); **20 A** terminal da função amperímetro (até 20 A). A função a desempenhar pelo multímetro (V, FREQ Hz, A, Cx, Ω) e a correspondente escala são selecionadas rodando o seletor de função (botão rotativo).

A utilização de multímetros pressupõe conhecimentos básicos sobre: escolha de terminais; seleção de grandezas a medir (tensão, intensidade de corrente, resistência, capacidade, ...); escalas e fatores de escala; funcionamento em modo DC e AC.

A grandeza eléctrica mais frequentemente medida é a tensão ou ddp.¹ Com efeito, a tensão eléctrica é a grandeza de mais fácil medição, sendo igualmente simples reduzir a ela a maioria das outras grandezas (eléctricas ou não). No modo voltímetro **V**, os multímetros correntes permitem medir, em geral, valores de tensão no intervalo 10^{-4} V (0.1 mV) a 10^3 V (1 kV).

Outra grandeza cuja medição é imediata é a intensidade de corrente eléctrica. Contudo, neste caso, é necessário tomar algumas providências para que não se danifique o aparelho de medida durante o processo de medição. No modo amperímetro **A**, a corrente a medir passa através de uma resistência interna conhecida. Tipicamente os multímetros comuns medem correntes no modo miliamperímetro entre 10^{-4} A (100 μ A) e 200 mA, e até 20 A no modo amperímetro. Dois fusíveis, um para correntes baixas (<200 mA) e outro para correntes mais elevadas (>200 mA), protegem estes aparelhos de correntes excessivas.

Para medir resistência, os multímetros possuem uma fonte de corrente. Quando se quer medir o valor de uma resistência liga-se uma das extremidades da resistência à entrada assinalada com o símbolo Ω e a outra ao terminal **comum** (COM) – o componente cuja resistência se pretende medir deve ser retirado do circuito

¹ Na “linguagem electrónica” é habitual designar-se por “tensão” uma diferença de potencial (ddp) eléctrico.

para que seja feita a medição. Mais uma vez o que se mede é a tensão criada pela passagem de uma corrente, de determinado valor, na resistência a medir. Os multímetros podem medir resistência desde de fração de ohm até dezenas de megaohm ($M\Omega$).

Quando se pretende fazer uma leitura usando o multímetro e não se tem uma estimativa do valor da grandeza a medir, deve começar-se sempre por usar a escala de menor precisão (escala de maior valor). Exemplo: se se pretende medir corrente desconhecida que se sabe ser inferior a 200 mA usando a função miliamperímetro, deve começar-se pela escala de 200 mA, passando sucessivamente para as escalas de maior precisão até se atingir a escala mais adequada para a leitura. Nota: Sempre que possível deve evitar-se usar o multímetro no modo miliamperímetro/amperímetro, optando por medir a corrente indiretamente com auxílio da lei de ohm, conforme atrás referido.

MEDIR DE RESISTÊNCIA: O ohmímetro determina o valor da resistência de um componente fazendo com que este seja percorrido por uma pequena corrente e medindo a diferença de potencial (tensão) que se estabelece aos seus terminais. A razão entre os valores da tensão aos terminais do componente e a corrente que o percorre é convertida, pelo ohmímetro, no valor da resistência do componente, sendo indicado no ecrã em ohm (Ω), quilo-ohm ($k\Omega$), megaohm ($M\Omega$).

MEDIR TENSÃO: O voltímetro mede a tensão que se estabelece entre os seus terminais. A tensão é sempre medida entre dois nodos e corresponde sempre a uma diferença de potencial (ddp). Um multímetro real tem uma resistência interna da ordem de 10 megaohm ($M\Omega$). Um voltímetro ideal tem resistência interna infinita. Um voltímetro não deve alterar o ponto de funcionamento do circuito, por isso a sua resistência interna, deve ser muito superior quando comparada com o valor das resistências e/ou da resistência equivalente “vista” dos terminais onde se conecta o voltímetro, i.e., a intensidade de corrente que diverge do circuito para o voltímetro deve ser muito inferior à corrente que circula entre os dois nodos onde está a ser feita a medição.

MEDIR CORRENTE: O (mili)amperímetro mede a intensidade de corrente que percorre um dado ramo de um circuito. Medir a corrente usando a função (mili)amperímetro implica abrir o ramo e ligar às extremidades resultantes o amperímetro: uma das extremidades ao terminal da função amperímetro e a outra ao terminal COM do multímetro. A corrente nesse ramo (a corrente a medir) circula entre o terminal do modo amperímetro e o terminal COM. O amperímetro passa a fazer parte do circuito. Um miliamperímetro apresenta uma resistência interna da ordem de alguns ohms, tipicamente inferior a 10 Ω . Conforme referido anteriormente, e sempre que possível, deve evitar-se usar o multímetro no modo amperímetro, optando por medir a corrente indiretamente com auxílio da lei de ohm.

Código de boa utilização dos aparelhos de medição:

O êxito de uma medição está parcialmente ligado a uma correta utilização do aparelho de medição. Um aparelho mal utilizado pode ter consequências negativas muito diversas como, por exemplo, um resultado

pouco preciso, e lavar até à danificação ou destruição irreversível do aparelho de medição e do circuito no qual o aparelho foi inserido. Eis alguns aspetos a atender sequencialmente no manuseamento de aparelhos de medição (como, por exemplo, o multímetro):

- Escolha correta da função: o utilizador deverá estar plenamente consciente da grandeza que pretende medir - tensão cc (dc), tensão ca (ac), corrente cc, corrente ca, etc. - e seleccionar a correspondente função. No caso do multímetro, a função ohmímetro deverá ser utilizada exclusivamente para medição do valor da resistência de resistências que não tenham ligado em derivação quaisquer outros elementos que deixem passar corrente e que não estejam a ser atravessadas por qualquer outra corrente, além da que é introduzida pelo ohmímetro, i.e., as resistências deverão ser medidas individualmente e *desinseridas* do circuito.

- Escolha da gama de medição adequada: pressupõe-se que o aparelho de medição escolhido inclui uma gama apropriada à medição pretendida. Se o aparelho tiver seleção automática de gama o próprio aparelho se encarrega por si de fazer a seleção da gama mais adequada; no caso de aparelhos mais antigos, para conseguir uma leitura com a maior precisão possível, o utilizador deverá escolher a menor gama imediatamente superior (ou, no limite, igual) ao valor previsto para a grandeza objeto de medição: se não fizer a menor ideia do valor que vai medir (**será uma situação verdadeiramente excepcional**) deverá começar por seleccionar a gama mais elevada, que depois vai diminuindo, sucessivamente, até obter a leitura com a máxima sensibilidade possível, sempre sem exceder o limite da gama. Como regra geral, **são de evitar medições que conduzam a valores inferiores a meia escala**. Quando se mede uma resistência com um ohmímetro, há que verificar previamente o ponto “zero ohms”, curto-circuitando os terminais do aparelho.

- Ligação correta do aparelho de medição ao circuito. Enquanto não há experiência suficiente na realização de medições eléctricas, é boa prática ligar o aparelho de medição ao circuito em análise antes de este ser *energizado*; isto é particularmente importante na utilização do ohmómetro como amperímetro. Inversamente e, em geral, deverá *desenergizar-se* o circuito antes de se desligar dele o aparelho de medição.

- É essencial prestar a devida atenção à escala seleccionada, isto é, às suas unidades e ao valor máximo. Nos multímetros analógicos, para além da utilização de diferentes cores na marcação das escalas correspondentes às várias funções, é habitual uma mesma escala - entenda-se, neste contexto, arco de circunferência, dividido em intervalos parcelares por pequenos traços - ter associada várias graduações correspondentes às várias gamas. Nos aparelhos digitais, especialmente nos mais modernos, a leitura correta está mais facilitada já que o ecrã indica, além do valor numérico, a unidade e o eventual fator multiplicador.

- Os aparelhos digitais são ativos, isto é, contêm circuitos eletrónicos que têm de ser alimentados. Para tal os aparelhos estão equipados com pilhas, acumuladores ou fontes de alimentação interna ou externa. Em qualquer caso, para operar o aparelho é necessário ligar a alimentação no respetivo interruptor.

Qualquer aparelho de medição, por mais simples e barato que seja, é sempre fornecido com um manual onde estão resumidas as especificações eléctricas e operacionais, assim como dados sobre a precisão e instruções de operação. Em caso de dúvida, encoraja-se, vivamente, o utilizador a consultar esses elementos. Nalguns aparelhos, há um resumo dos aspetos mais importantes na base/costas dos mesmos.