

Prática 1 – Instrumentos de Medidas Elétricas I Voltímetros, Amperímetros e Ohmímetros

Nesta prática vamos estudar os princípios de funcionamento de instrumentos de medidas elétricas, em particular, voltímetros, amperímetros e ohmímetros.

Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento ou componente, o aluno deverá consultar o professor para esclarecimentos.

I. Galvanômetro d'Ansoval

Os primeiros instrumentos para medir correntes elétricas apareceram ainda em 1820, ano em que Öersted, físico dinamarquês, mostrou que elas podem provocar efeitos magnéticos, e eram conhecidos como “galvanômetros de tangente”. Consistia de uma bobina formada por várias voltas de fio, que tinha que ser alinhada para que o campo magnético produzido no seu centro estivesse na direção perpendicular ao campo terrestre. Uma bússola era posicionada no centro da espira. Tem-se então dois campos magnéticos perpendiculares, e a agulha da bússola vai apontar na direção da resultante; a razão entre os dois campos é dada pela tangente do ângulo que a agulha faz com o norte. Sabia-se que o campo magnético produzido é proporcional a corrente; portanto a corrente é proporcional a tangente do ângulo, daí o nome do aparelho.

Décadas mais tarde, em 1882, Jacques Arsène d'Ansoval, biofísico francês, propôs um novo mecanismo, que tinha a vantagem de não depender do campo terrestre e poderia ser usado em qualquer orientação. O galvanômetro d'Ansoval é baseado na deflexão de uma espira móvel devido ao campo magnético de um ímã fixo instalado no aparelho. Outra grande vantagem era a escala linear: o ângulo de deflexão era diretamente proporcional à corrente percorrida. Por esses motivos o galvanômetro d'Ansoval é muito utilizado ainda hoje, e é a base dos voltímetros, amperímetros e ohmímetros analógicos.

A figura 1 mostra, esquematicamente, um galvanômetro de D'Ansonval:

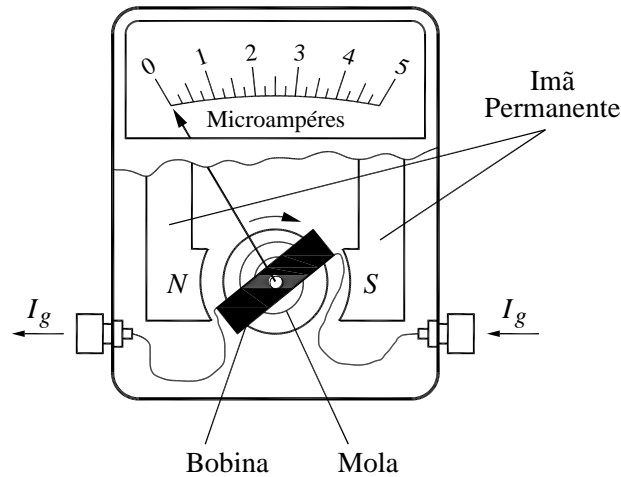


Figura 1 – Desenho esquemático de um galvanômetro.

Quando uma corrente I_G circula na bobina, o campo magnético do ímã permanente produz um torque τ sobre ela, dado por:

$$\tau = CnBI_G \quad (1)$$

Nessa equação, B é o campo devido ao ímã permanente e n é o número de espiras da bobina. A constante C é um fator que depende de como o galvanômetro foi construído. O eixo da bobina é solidário a uma mola espiral; quando a bobina gira de um ângulo θ , a mola produz um torque restaurador oposto ao produzido pelo campo, cujo valor é $K\theta$. Uma posição de equilíbrio é alcançada quando:

$$K\theta = CnBI_G \quad (2)$$

Logo:

$$\theta = \frac{CnB}{K} I_G \quad (3)$$

O ângulo de deflexão é proporcional a corrente que atravessa o galvanômetro. O instrumento é tanto mais sensível quanto menor for a corrente I_G necessária para provocar um dado desvio θ . Assim, os galvanômetros são caracterizados pela corrente necessária para que o ponteiro atinja deflexão máxima, corrente de fundo de escala, I_{Gmax} e por sua resistência interna, R_G .

Conhecendo estes parâmetros poderemos determinar a tensão de fundo de escala V_G , que é a tensão sobre o galvanômetro quando o ponteiro está na deflexão máxima e é simplesmente o produto da corrente de fundo de escala pela resistência interna. Por exemplo, um galvanômetro com corrente de fundo de escala de $50 \mu\text{A}$ e resistência interna de $1 \text{ k}\Omega$ possui tensão de fundo de escala de $V_G = 50 \mu\text{A} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 50 \text{ mV}$.

Se uma tensão maior que V_G for aplicada diretamente aos terminais do galvanômetro, a corrente que atravessará a bobina será maior que a corrente de fundo de escala, o que provocará aquecimento excessivo da bobina e conseqüentemente a falência do dispositivo. ***Nunca conecte um galvanômetro em um circuito sem ter certeza que a tensão em seus terminais seja menor que o valor de V_G especificado pelo fabricante.***

II. Voltímetros

Os voltímetros analógicos são instrumentos de medida de tensão que utilizam um galvanômetro como sensor. Para poder medir tensões maiores do que a tensão do fundo de escala do galvanômetro é necessário usar um divisor de tensão, que é nada mais que um resistor R'' colocado em série, como na figura 2. Note que, com o resistor R'' , a tensão entre os terminais fica dividida entre o resistor e o galvanômetro, por isso o nome “divisor de tensão”.

Se entre os terminais da figura 2 for aplicada uma tensão V , a corrente através do galvanômetro será dada por:

$$V = (R'' + R_G) I_G \rightarrow I_G = \frac{V}{R'' + R_G} \quad (4)$$

Pela expressão 4 vemos que a corrente que flui através do galvanômetro é proporcional à tensão aplicada nos terminais do voltímetro. Logo,

conhecendo R'' e R_G é possível determinar a correspondência entre I_G e V (fator de escala, $R_v = R'' + R_G$), ou seja, temos um instrumento cuja deflexão do galvanômetro reflete uma medida de tensão.

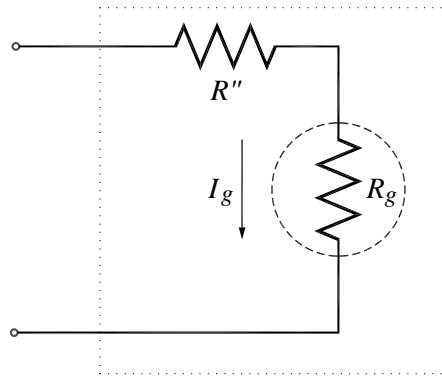


Figura 2 – Circuito elétrico de um voltímetro.

Se a corrente máxima permitida pelo galvanômetro for I_{Gmax} a máxima tensão que poderá ser medida pelo voltímetro (usualmente denominada alcance ou tensão de fundo de escala do voltímetro) será:

$$V_{max} = (R'' + R_G)I_{Gmax} \quad (5)$$

Em outras palavras, podemos escolher a resistência R'' para construir um voltímetro com tensão de fundo de escala V_{max} .

$$R'' = \frac{V_{max}}{I_{Gmax}} - R_G \quad (6)$$

Quando se deseja medir a diferença de potencial em um elemento de um circuito, o voltímetro deve ser conectado **em paralelo** com o mesmo. No entanto, como a resistência interna do voltímetro ($R_v = R'' + R_G$) não é infinita, o voltímetro drena uma parte da corrente que passaria pelo elemento, o que pode afetar as características do circuito. Para minimizar este efeito, a resistência interna do voltímetro deve ser **muito alta** (muito maior do que a do elemento conectado em paralelo), de modo que a corrente drenada pelo mesmo seja desprezível. Da equação 6, vemos que:

$$R_v = R'' + R_G = \frac{V_{\max}}{I_{G\max}} \quad (7)$$

Isso significa que a resistência interna de um voltímetro é diretamente proporcional à tensão de fundo de escala. Usar o voltímetro numa escala maior torna a medida menos precisa (numa situação em que é possível usar uma escala menor), porque a deflexão do ponteiro é menor e mais difícil de ser medida, mas tem a vantagem de maior resistência interna. Os voltímetros analógicos (de ponteiro) costumam indicar a resistência interna por volt de fundo de escala (usualmente expresso em $k\Omega / V$). Vemos também que a relação entre R_v e V_{\max} depende apenas de $I_{G\max}$; para aumentar R_v , é necessário um galvanômetro bastante sensível, com $I_{G\max}$ pequeno.

III. Amperímetros

Os amperímetros são instrumentos de medida de corrente que também utilizam um galvanômetro como sensor. Para permitir a medida de correntes maiores que a corrente de fundo de escala, é necessário usar um divisor de corrente, que é nada mais que uma resistência R' em paralelo (chamada de resistência *Shunt*), como na figura 3. Note que a corrente I que entra é dividida entre a resistência R' e o galvanômetro, por isso o nome “divisor de corrente”.

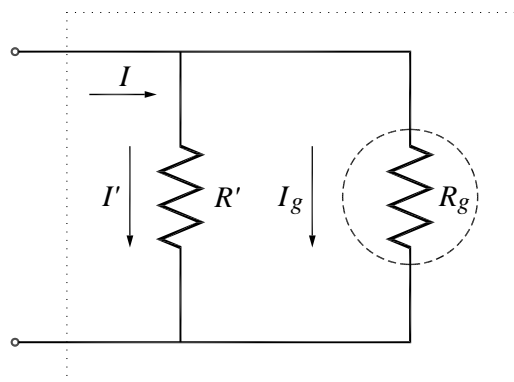


Figura 3 – Circuito elétrico de um amperímetro.

Se uma corrente I circular entre os terminais da figura 3, teremos:

$$I = I_G + I' \quad (8)$$

$$R' I' = R_G I_G \quad (9)$$

Podemos então achar I_G em função de I :

$$I_G = \frac{R'}{R' + R_G} I \quad (10)$$

A corrente que efetivamente passa pelo galvanômetro é uma fração (fixa, f_A) da corrente que atravessa o amperímetro, de modo que podemos associar a corrente do circuito diretamente com a indicação do galvanômetro conhecendo o fator de escala $f_A = \frac{R'}{R' + R_G}$. A corrente de fundo de escala pode

ser calculada colocando $I_G = I_{G \max}$:

$$I_{\max} = \frac{R' + R_G}{R'} I_{G \max} \quad (11)$$

Se desejarmos construir um amperímetro para medir correntes de até I_{\max} , a resistência R' deve ser:

$$R' = R_G \frac{I_{G \max}}{I_{\max} - I_{G \max}} \quad (12)$$

O amperímetro deve ser ligado **em série** a um circuito, no ramo em que se deseja medir a corrente. Quando a corrente o atravessa, aparece uma diferença de potencial, que pode afetar o funcionamento do circuito. Para minimizar isso, é preciso que a resistência interna do amperímetro seja **muito baixa** (muito menor do que a resistência total do ramo em que ele está inserido).

O amperímetro consiste de dois resistores em paralelo. Sua resistência interna é:

$$R_a = \frac{R' R_G}{R' + R_G} = \frac{R_G I_{G \max}}{I_{\max}} \quad (13)$$

Mas $R_G \cdot I_{G \max}$ é a tensão de fundo de escala do galvanômetro:

$$R_a = \frac{V_{G \max}}{I_{\max}} \quad (14)$$

Isso significa que a resistência interna de um amperímetro é inversamente proporcional à corrente de fundo de escala. Usar o amperímetro numa escala maior torna a medida menos precisa (numa situação em que é possível usar uma escala menor), mas tem a vantagem de menor resistência interna. Assim como no caso dos voltímetros, é desejável ter um galvanômetro bastante sensível, com $V_{G \max}$ pequeno.

IV. Ohmímetros

Em princípio, a medida da resistência elétrica de um dado elemento pode ser obtida simplesmente pela razão entre a tensão em seus terminais e a corrente que o atravessa. Sendo assim, é natural pensar que um instrumento capaz de medir resistência elétrica seja uma “combinação” de um voltímetro, um amperímetro e uma fonte de tensão para estabelecer a corrente. Como podemos ver na figura 4a, um ohmímetro é constituído destes elementos.

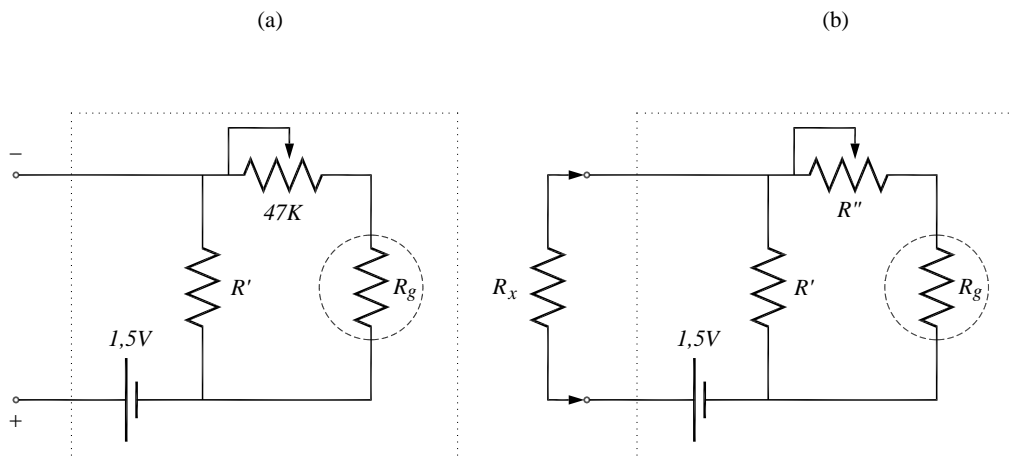


Figura 4 – Circuito elétrico de um ohmímetro.

Para utilizar o circuito acima como ohmímetro é necessário calibrá-lo, o que pode ser feito de modo análogo aos casos anteriores. Se desejarmos medir a resistência de um resistor R_x , devemos conectá-lo ao ohmímetro conforme mostrado na figura 4b. Das leis de Kirchhoff se obtém as seguintes equações:

$$R_x I_x + (R' + R_G) I_G = V_B \quad (15a)$$

$$(R' + R_G) I_G = R' (I_x - I_G) \quad (15b)$$

De 15b, é possível isolar I_x e substituir em 15a para achar I_G . O resultado é:

$$I_G = \frac{V_B}{R_G + R''} \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_{1/2}}} \quad (16)$$

Onde $R_{1/2}$ é dado por:

$$R_{1/2} = \frac{R'(R_G + R'')}{R' + R_G + R''} \quad (17)$$

Os dois limites para I_G em função dos valores de R_x são:

$$I_{G\text{máx}} = \frac{V_B}{R_G + R''}, \text{ para } R_x = 0 \quad (18a)$$

$$I_{G\text{min}} = 0, \text{ para } R_x = \infty \quad (18b)$$

Logo, quanto maior for o valor de R_x menor será a corrente no galvanômetro: a escala do ohmímetro é invertida. O parâmetro $R_{1/2}$ é conhecido como *fator de escala do ohmímetro* e, como pode ser verificado na equação 16, corresponde ao valor de R_x para o qual a corrente no galvanômetro é metade de seu valor em curto (quando $R_x = 0$). Portanto, a corrente no galvanômetro e o valor da resistência R_x estão univocamente

relacionados através da equação 16, o que significa que podemos determinar R_x através de uma leitura de I_G .

O valor de R' deve ser ajustado para que a deflexão do ponteiro do galvanômetro seja máxima quando $R_x = 0$ (terminais do galvanômetro em curto). Isso pode ser feito observando a equação 18a. Por exemplo, se tivermos um galvanômetro com $R_G = 1 \text{ k}\Omega$ e fundo de escala $50 \mu\text{A}$, e usarmos uma pilha de $1,5 \text{ V}$ como V_B , deveríamos usar $R'' = 29 \text{ k}\Omega$. Nos multímetros analógicos comerciais, esse ajuste pode ser feito externamente através de um cursor.

Feito isso, R' pode ser escolhido para determinar o valor de $R_{1/2}$, definindo o fator de escala do ohmímetro. A escolha adequada de $R_{1/2}$ define a precisão do ohmímetro; a medida é mais precisa se $R_{1/2}$ e R_x forem da mesma ordem de grandeza. Isso é fácil de perceber pela equação 16: se $R_x = 10R_{1/2}$, a corrente no galvanômetro é 10% do valor máximo; se $R_x = R_{1/2} / 10$, ela é 90% do valor máximo. É conveniente que a leitura não esteja nem muito próximo do zero nem do valor máximo, e para isso R_x e $R_{1/2}$ devem ser da mesma ordem de grandeza.

V. Utilização de Voltímetros e Amperímetros em Medidas de Corrente Alternada

Até o momento estudamos apenas circuitos de corrente contínua e por isso discutimos a utilização do galvanômetro para medidas de tensões e correntes contínuas. No entanto, os galvanômetros também podem ser utilizados para medir tensões e correntes que variam no tempo, mas neste caso algumas modificações devem ser feitas. Para entender melhor quais são essas modificações, suponha que dispomos de um galvanômetro onde sem a aplicação de tensão em seus terminais o ponteiro aponte para o centro da escala. Se uma tensão positiva for aplicada, o ponteiro se desloca para a direita e se a polaridade for invertida (tensão negativa) o ponteiro se desloca para a esquerda. Este tipo de galvanômetro é denominado de galvanômetro de zero central. Note que o galvanômetro mostrado na figura 1 é de zero lateral

e, portanto, não suporta a aplicação de tensões negativas. No entanto, se construirmos um voltímetro ou um amperímetro utilizando os esquemas mostrados nas figuras 2 e 3, mas utilizando um galvanômetro de zero central, obteremos instrumentos capazes de medir tensões ou correntes positivas e negativas. Supondo que tenhamos construído esses instrumentos (voltímetro e amperímetro de zero central), vamos realizar um experimento hipotético onde aplicamos uma tensão que varia no tempo de forma senoidal, $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$, com baixa frequência (1 Hz por exemplo) aos terminais de um resistor ôhmico. Se medirmos a tensão nos terminais do resistor com o voltímetro de zero central, observaremos uma oscilação do ponteiro entre $+V_0$ e $-V_0$ com a frequência de 1 Hz. O mesmo acontecerá com uma medida da corrente que atravessa o resistor, que neste caso oscilará entre $+V_0/R$ e $-V_0/R$. Se mantivermos a amplitude da tensão aplicada no resistor e aumentamos a frequência para 60 Hz, por exemplo, veremos que tanto o voltímetro quanto o amperímetro indicarão tensão e corrente nulos. Isso acontece porque o tempo de resposta mecânica do galvanômetro é muito maior que o período das oscilação imposta pela aplicação da tensão alternada de 60 Hz. Logo, o que o instrumento mede são valores médios de tensão e corrente, os quais são nulos. No entanto, sabemos que em cada instante existe uma tensão aplicada no resistor que impõe a circulação de corrente no mesmo, ou seja, existe energia (ou potência) sendo dissipada no resistor ($P(t) = V(t) \times I(t)$). Deste modo, para quantificar a potência elétrica dissipada em um resistor percorrido por uma corrente alternada, medidas de valores médios de tensão e corrente não são adequadas, pois $\overline{P(t)} = \overline{V(t) \times I(t)} \neq \overline{V(t)} \times \overline{I(t)}$. A pergunta então é: Quais são as grandezas médias associadas a medidas de tensão ou corrente que podem ser diretamente relacionadas com a potência média dissipada no resistor? Para responder essa questão consideremos que:

$$\overline{P(t)} = \overline{V(t) \times I(t)} = \frac{\overline{V^2(t)}}{R} = R \times \overline{I^2(t)} \quad (19)$$

Ou seja, medidas de $\overline{V^2(t)}$ ou $\overline{I^2(t)}$ seriam adequadas aos nossos propósitos, já que se referem à média de valores positivos e, portanto, são diferentes de zero.

Vamos considerar agora tensões e corrente contínuas V_{DC} e I_{DC} que produzam a mesma potência média dissipada no resistor que o caso de corrente alternada anterior. Temos então que:

$$P_{DC} = \overline{P(t)} \rightarrow \frac{V_{DC}^2}{R} = \frac{\overline{V^2(t)}}{R} \quad \text{e} \quad R \times I_{DC}^2 = R \times \overline{I^2(t)} \quad (20)$$

Ou seja:

$$V_{DC} = \sqrt{\overline{V^2(t)}} \quad \text{e} \quad I_{DC} = \sqrt{\overline{I^2(t)}} \quad (21)$$

Portanto, os valores de tensão e corrente V_{DC} e I_{DC} são os valores equivalentes em corrente contínua que levam à mesma potência média dissipada que $V(t)$ e $I(t)$ em corrente alternada. Por isso são usualmente denominados de valores eficazes de tensão e corrente. Note ainda que os valores eficazes são as raízes quadradas dos valores médios quadráticos, e por isso são também referidos como valores RMS (do inglês *Root Mean Square*). Assim, para tensões e correntes senoidais, os valores RMS são:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{V_0 \text{sen}(\omega t)\}^2 dt} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \quad ; \quad I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{I_0 \text{sen}(\omega t)\}^2 dt} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad (22)$$

Logo, os valores V_{RMS} e I_{RMS} são medidas de tensão e corrente adequadas em circuitos de corrente alternada, pois o seu produto expressa a potência média dissipada no circuito. Resta agora saber como esses valores podem ser obtidos utilizando os galvanômetros que estudamos até o momento. Como os galvanômetros são capazes de medir corrente contínua, o que precisamos é de um circuito que transforme tensão e corrente alternados em tensão e corrente contínua equivalente (mesma potência). Isso pode ser conseguido através um circuito eletrônico denominado retificador. Assim, os

voltímetros e amperímetros para corrente alternada possuem um circuito retificador capaz de transformar a tensão e corrente alternada em uma tensão e corrente contínuas equivalentes (que dissipem a mesma potência no circuito do voltímetro), mas que provocam uma deflexão no galvanômetro. Note que isso é exatamente a definição dos valores RMS e, portanto, as indicações dos voltímetros e amperímetros projetados para medir sinais que variam no tempo são exatamente os valores V_{RMS} e I_{RMS} .

Experimentos

1. Caracterização do galvanômetro

a) Utilizaremos um galvanômetro Minipa de fundo de escala $50 \mu\text{A}$. Meça a resistência interna com um ohmímetro digital.

b) Utilizando o ohmímetro digital, ajuste o reostato disponível na sua bancada para seu valor máximo.

c) Monte o circuito, como mostrado na figura 5a. Utilize um galvanômetro Minipa de fundo de escala $50 \mu\text{A}$ e uma pilha de $1,5 \text{ V}$ como fonte de tensão. **Antes de ligar a fonte, confira a ligação do reostato para garantir que o mesmo está ajustado para seu valor máximo, de modo que a corrente que circula no galvanômetro seja mínima.**

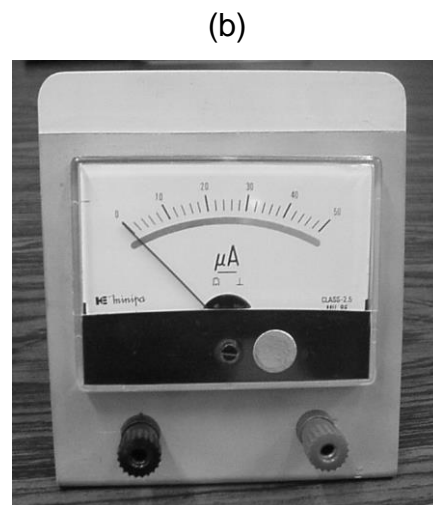
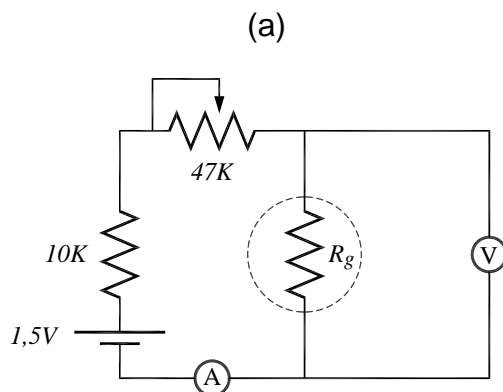


Figura 5 – (a) Circuito para caracterização do galvanômetro; (b) Galvanômetro da marca Minipa.

d) Ajuste R para que se obtenha uma corrente de fundo de escala ($50 \mu\text{A}$). Nesta condição meça a tensão de fundo de escala do galvanômetro, V_{Gmax} , usando o multímetro digital. Calcule a resistência do galvanômetro, R_G , e compare com o valor encontrado anteriormente.

Caracterização do galvanômetro

R_G	V_{Gmax}	$R_G = V_{Gmax} / I_{Gmax}$

2. Adaptação do galvanômetro para funcionar como voltímetro

a) Utilizando o valor de R_G , calcule o valor da resistência R' que deve ser adicionada em série ao galvanômetro para transformá-lo em um voltímetro com fundo de escala de 5 V, como mostrado na figura 6. Calcule as características deste voltímetro (fundo de escala e resistência interna). Monte este voltímetro e conecte dois cabos em seus terminais para realização das medidas.

b) Para verificar experimentalmente o fundo de escala e a linearidade do voltímetro construído é necessário correlacionar a leitura obtida com o mesmo com a medida feita com um voltímetro padrão. Neste caso, utilize um dos voltímetros digitais que estão sob sua bancada. Deste modo, ajuste a fonte de tensão para 1 V e meça a tensão nos terminais da mesma com o voltímetro digital e com o voltímetro construído. Repita este procedimento para 2, 3, 4, e 5 V, preenchendo a tabela abaixo. Verifique a linearidade e determine o fator de escala (experimental) desse instrumento fazendo um gráfico da corrente I_G como função da leitura do voltímetro digital, e compare com o valor calculado.

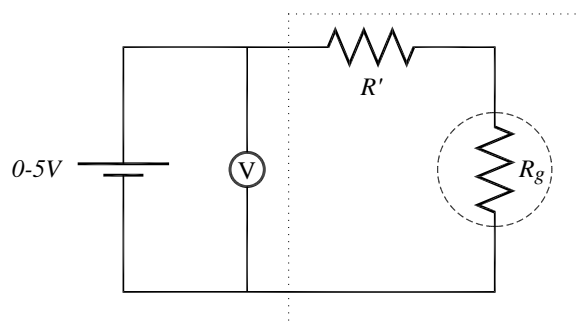


Figura 6 – Circuito para calibração do voltímetro construído.

Calibração de um voltímetro com fundo de escala de 5V

I_G	Leitura de Tensão no voltímetro construído	Leitura de tensão no voltímetro padrão
$R'' =$	R_V calculado =	R_V medido = (do gráfico)

3. Medidas de tensão com o voltímetro construído.

a) Monte o divisor de tensão mostrado na figura 7 utilizando $R = 1\text{ k}\Omega$. Calcule a tensão esperada entre os terminais A e B, para uma tensão de alimentação de 5 V.

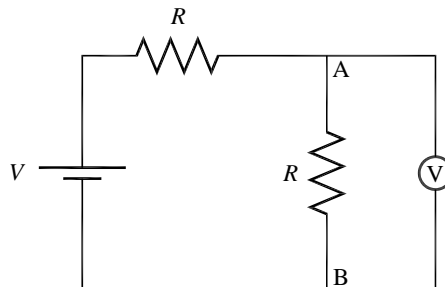


Figura 7 – Circuito para monitorar o efeito da resistência interna do voltímetro

b) Ajuste a saída da fonte para 5 V. Meça a tensão entre os pontos A e B usando o voltímetro que você construiu no experimento 2. Repita a medida usando o voltímetro digital com a escala apropriada.

c) Para o mesmo circuito da figura 7, calcule a tensão esperada entre os terminais A e B se $R = 100\text{ k}\Omega$.

d) Repita as medidas do item b usando $R = 100\text{ k}\Omega$. Compare as medidas realizadas com os dois valores de R e justifique as diferenças observadas.

e) Considerando a resistência interna do voltímetro construído, determine a expressão exata para o valor da tensão entre os pontos A e B. Determine as

tensões corrigidas em cada escala e compare com o valor medido pelo voltímetro digital.

Efeito da resistência interna na medida de tensão.

	$R = 1\text{ k}\Omega$	$R = 100\text{ k}\Omega$
Leitura do voltímetro digital		
Leitura do voltímetro construído		
Leitura corrigida		

4. Adaptação de um galvanômetro para funcionar como amperímetro

a) Calcule a resistência R' que deve ser colocada em paralelo ao galvanômetro para transformá-lo em um amperímetro com fundo de escala de 5 mA. Determine as características deste amperímetro (fundo de escala e resistência interna). Monte este amperímetro esquematizado na figura 8a.

b) Para verificar experimentalmente o fundo de escala e a linearidade do amperímetro construído é necessário correlacionar a leitura obtida como o mesmo com a medida feita com um amperímetro padrão. Monte o circuito mostrado na figura 8b. Variando a tensão da fonte, aumente gradativamente a corrente do circuito e faça a leitura da mesma com o amperímetro construído e com o amperímetro digital. Realize um conjunto de medidas (pelo menos 5) da indicação do galvanômetro, I_G , e da leitura do amperímetro digital. Verifique a linearidade e determine o fator de escala (experimental) desse instrumento fazendo um gráfico da leitura do amperímetro digital como função da leitura da corrente I_G , e compare com o valor calculado.

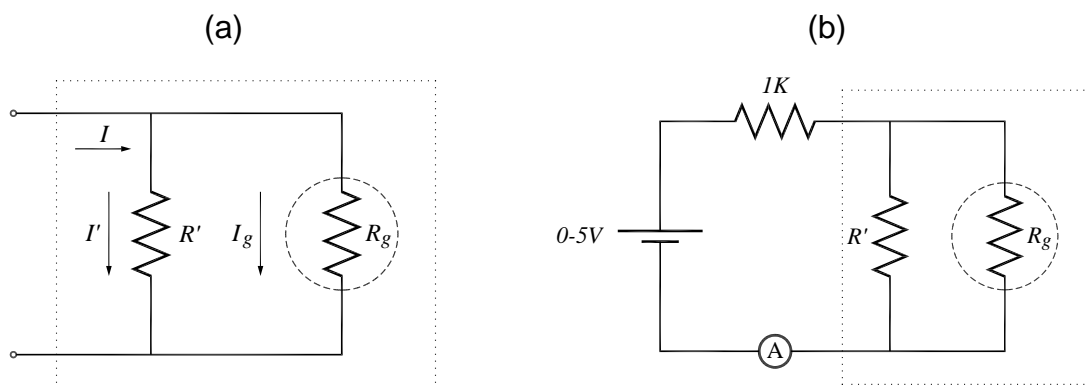


Figura 8 – (a) Circuito do amperímetro. (b) Circuito para calibração de um amperímetro com fundo de escala de 5mA.

Calibração de um amperímetro com fundo de escala de 5mA

I_g	Corrente medida no amperímetro construído	Corrente medida no amperímetro padrão
$R' =$	f_A (calculado) =	f_A (medido) = (do gráfico)

5. Adaptação de um galvanômetro para funcionar como ohmímetro

a) O circuito mostrado na figura 9a representa o diagrama de um ohmímetro básico. Utilizando as especificações do galvanômetro disponível e considerando uma bateria de 1,5V, calcule o valor de R'' para se obter deflexão máxima no galvanômetro quando os terminais do ohmímetro estiverem em curto-circuito. **Ajuste o reostato disponível na bancada para o valor calculado.** Calcule o valor de R' para obter um ohmímetro apropriado para medir resistências na faixa entre 10Ω e $1k\Omega$. Monte o circuito mostrado na figura 9a.

b) Faça o ajuste fino de R'' para que a deflexão seja máxima quando os terminais do ohmímetro estiverem em curto.

c) Faça uma medida do valor das resistências disponíveis na sua bancada utilizando o ohmímetro construído utilizando o resistor R' (escala do ohmímetro) calculado em (a). Realize as mesmas medidas com o ohmímetro digital e compare os resultados.

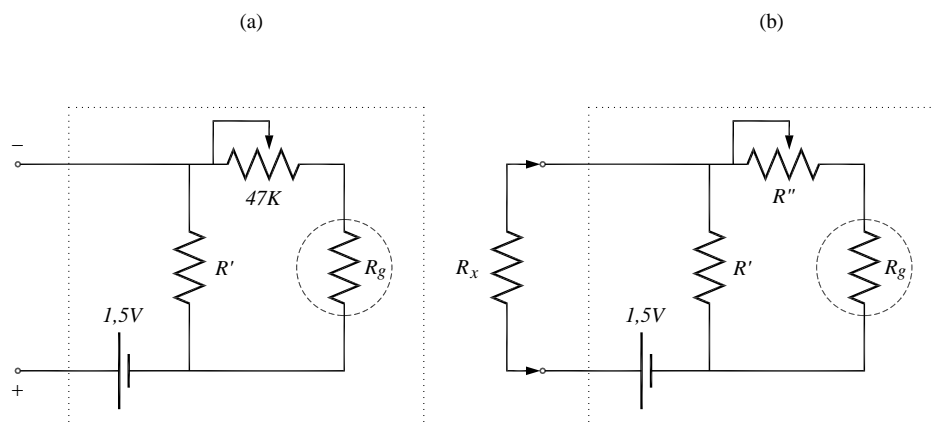


Figura 9 – Circuito elétrico do ohmímetro a ser construído.

Calibração de um voltímetro com fundo de escala de 5V

R (Ohmímetro Digital)	I_G (μA)	R (Ohmímetro Construído)
$R'' =$	$R_G =$	$R' =$

Apêndice – Multímetro analógico comercial

A figura 1A mostra um exemplo de um circuito interno de um multímetro analógico comercial simples. O multímetro possui um galvanômetro, uma bateria, alguns resistores e uma chave seletora de oito posições e três polos (isso significa que as três chaves mostradas na figura estarão sempre ligadas no mesmo número).

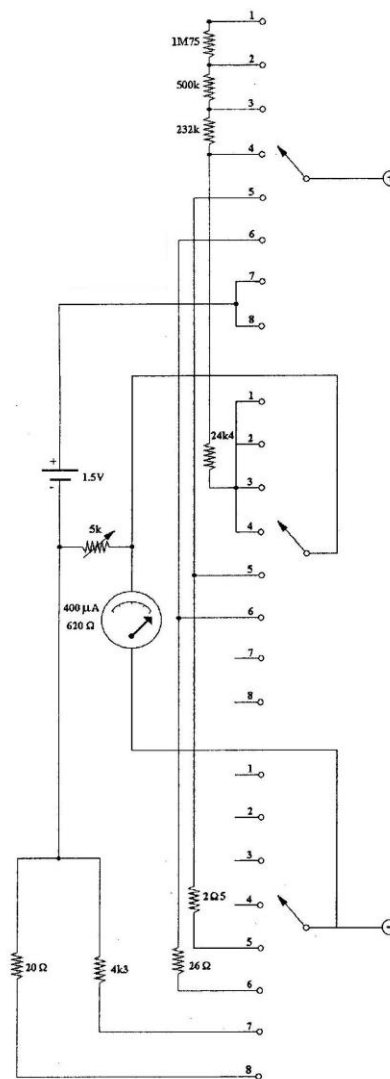


Figura 1A – Circuito de um multímetro analógico comercial

Vamos supor que a chave esteja na posição 1. Qual a função do multímetro nesse caso, e quais são suas características? Para obter a

resposta, vamos percorrer o circuito a partir da entrada positiva e desenhar o circuito equivalente (figura 2A):

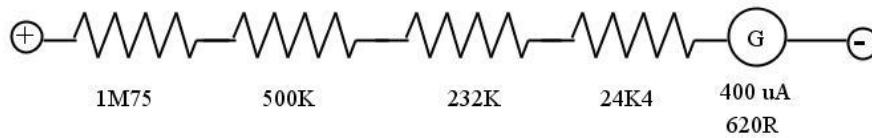


Figura 2A – Circuito equivalente ao multímetro analógico da figura 1A, com a chave na posição 1.

Esse circuito é nada mais que um galvanômetro com uma resistência em série, o que faz com que o multímetro funcione como voltímetro. A resistência em série ao galvanômetro vale $R' = 2506,4 \text{ k}\Omega$, enquanto a resistência do galvanômetro é de 620Ω e a corrente de fundo de escala é $400 \mu\text{A}$. A tensão de fundo de escala desse voltímetro é:

$$V_{m\acute{a}x} = (2506,4 + 0,62) \text{ k}\Omega \cdot 400 \mu\text{A} = 1002,8 \text{ V}$$

A resistência interna é:

$$R_V = (2506,4 + 0,62) \text{ k}\Omega = 2507,02 \text{ k}\Omega$$

Analise qual é a função e as características do multímetro quando a chave seletora estiver nas outras posições.