

EXPERIÊNCIA 1

MEDIDA DE CORRENTE E DIFERENÇA DE POTENCIAL

I - OBJETIVO:

Mostrar os princípios básicos da instrumentação para medidas da corrente e diferença de potencial.

II - PARTE TEÓRICA:

INTRODUÇÃO:

A medida da corrente e diferença de potencial em um circuito é da maior importância em trabalhos de eletricidade. São essas grandezas que serão medidas em todos os laboratórios básicos de eletricidade. O entendimento do significado dessas grandezas e os aparelhos utilizados para medi-las é o objetivo central deste experimento. As diferenças essenciais dos medidores de corrente e tensão (amperímetro e voltímetro) serão estudadas, mostrando como se transforma a faixa de medida de um amperímetro ou de um voltímetro e também como podemos obter um voltímetro a partir de um amperímetro. Para alcançar os nossos objetivos devemos rever alguns conceitos básicos. Outros conceitos poderão ser vistos no roteiro do experimento "MEDIDAS DE RESISTÊNCIAS".

CONCEITOS BÁSICOS:

Diferença de Potencial e Corrente Elétrica

Para deslocar uma carga elétrica entre dois pontos **a** e **b** em uma região onde atua um campo elétrico rE é necessário que se realize um trabalho W_{ab} para vencer a força exercida pelo campo sobre a carga. A razão entre esta quantidade de trabalho W_{ab} e o valor da carga (trabalho por unidade de carga) é chamada de diferença de potencial entre **a** e **b**, V_{ab} . No sistema MKS a unidade de diferença de potencial (ddp) é o Volt (V), que equivale a um Joule / Coulomb.

A existência de uma diferença de potencial entre dois pontos **a** e **b**, em um meio condutor, tende a provocar o aparecimento de uma corrente elétrica, ou seja, um fluxo de cargas elétricas nessa região. Essa corrente i depende da natureza do meio material e de suas propriedades físicas. No sistema MKS a unidade de corrente elétrica é o Ampère (A). Andrés María Ampère (1775 - 1836).

De uma maneira geral, a dependência entre a ddp e a corrente pode ser expressa como:

$$V = R(I) \cdot I \quad (1)$$

O fator $R(I)$ é chamado resistência elétrica; ele depende do material, de sua geometria e, em muitos casos, da corrente elétrica. Quando a resistência não depende da corrente que a atravessa podemos escrever:

$$V = R \cdot I \quad (2)$$

Chamamos a equação 2 de Lei de Ohm, onde R é uma grandeza que depende apenas do material e de sua geometria. No sistema MKS a unidade de resistência é o Ohm (Ω). Geóge Simon Ohm (1787 - 1854).

Efeitos Magnéticos da Corrente Elétrica

A primeira constatação dos efeitos magnéticos da corrente elétrica foi feita por Hans Christian Oersted em 1820. Ele mostrou que quando uma agulha magnética é colocada paralela a um fio conduzindo corrente, essa agulha sofre uma deflexão. Foi observado ainda que a inversão no sentido da corrente provoca na agulha a mesma deflexão, mas em direção oposta. Oersted observou também que o torque na agulha é proporcional à corrente que atravessa o fio.

A descoberta desse fenômeno possibilitou uma maneira prática de medir a corrente, pela medida da deflexão causada em uma agulha magnética, da maneira como veremos no item a seguir.

O Galvanômetro

O primeiro galvanômetro foi criado por Oersted e é nada mais que o dispositivo citado anteriormente. Consta de uma agulha magnética paralela a um fio condutor estendido. A agulha é montada sobre um suporte e pode girar. Uma mola espiral é presa à agulha e sobre ela exerce um torque contrário ao da força magnética. Como o torque da mola é função do ângulo de giro e o torque da força magnética é proporcional à corrente, pode-se concluir que, quando a agulha alcança o equilíbrio, a corrente é função do ângulo de giro. A indicação do valor da corrente é obtida a partir de uma escala graduada e calibrada.

Os galvanômetros modernos diferem bastante dos primeiros galvanômetros embora o princípio de funcionamento seja o mesmo. Na figura 1, é mostrado o diagrama de um galvanômetro moderno.

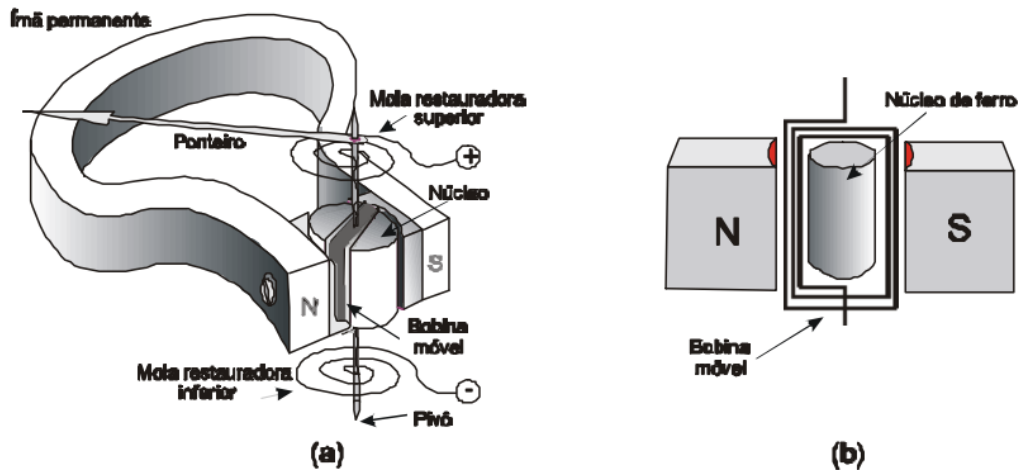


Fig. 1

Ao invés de se utilizar um fio estendido e fixo é usado um fio enrolado em forma de anel com várias voltas (bobina) e a agulha magnética é substituída por uma ímã permanente. Nesse sistema o ímã é fixo, enquanto que a bobina gira. Por isso esses aparelhos são chamados "galvanômetros de bobina móvel".

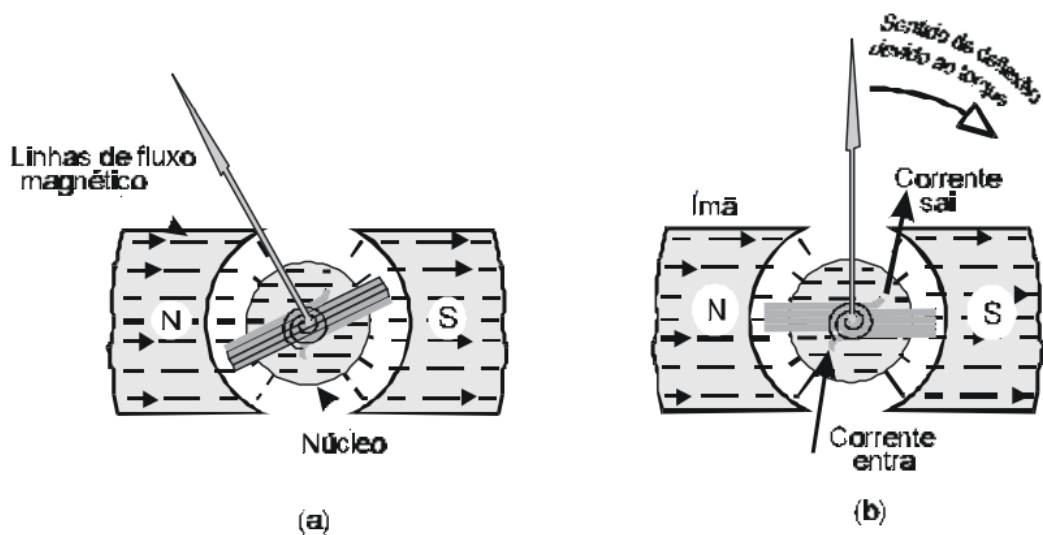


Fig. 2

Esta bobina é presa a um ponteiro que varre uma escala graduada e calibrada previamente. A bobina é montada sobre um eixo entre dois suportes (pivô), de relógio. Duas molas fazem a bobina voltar a sua posição inicial, servindo também de contato para a passagem da corrente. Costuma-se ainda utilizar um núcleo de ferro doce no interior da bobina para concentrar o campo magnético e torna-lo radial, figura 2.

Amperímetro e Voltímetro

Os aparelhos de medida de corrente e diferença de potencial, amperímetro e voltímetro respectivamente, são construídos a partir de um galvanômetro.

Amperímetro

Os galvanômetros indicam de maneira indireta, ou seja, pela deflexão de um ponteiro, a corrente que o atravessa. Normalmente, são instrumentos delicados e sensíveis sendo comum encontrar exemplares cuja deflexão máxima (fundo de escala) ocorre para correntes tão pequenas como $30 \mu\text{A}$ ($1 \mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$). Para medir correntes maiores, na faixa dos miliamperes ou do Ampère, a utilização direta do galvanômetro é inadequada pois o mesmo seria destruído pela excessiva corrente que aqueceria os fios da bobina móvel, derretendo-os. O instrumento utilizado para tais medidas é o amperímetro que é construído a partir de um galvanômetro devidamente adaptado e com uma escala conveniente, como veremos a seguir.

A bobina do galvanômetro é feita de um fio muito fino e que possui uma resistência relativamente alta. Essa resistência em conjunto com as resistências dos elementos de ligação, tipo mola espiral e outros fios, formam o que chamamos de resistência interna, R_g do galvanômetro. Um galvanômetro real pode ser representado por um galvanômetro ideal (resistência interna igual a zero) em série com uma resistência interna R_g .

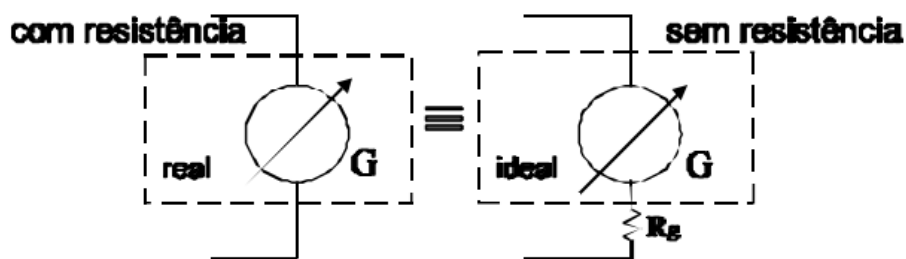


Fig. 3

Vejamos agora que para construir um amperímetro a partir de um galvanômetro, basta acrescentar em paralelo com o galvanômetro real um resistor (shunt) cuja resistência R_p seja muito menor que R_g .

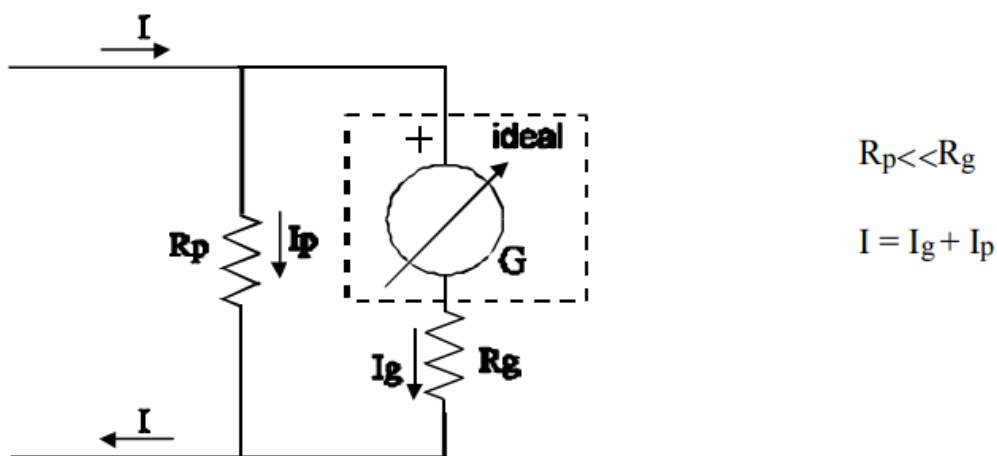


Fig. 4

Estas duas resistências, R_p e R_g , formam o que se conhece como "divisor de corrente" pois a corrente I será dividida em I_p e I_g . Como o valor de R_p foi escolhido muito menor que R_g , teremos I_p muito maior que I_g ou seja, desviamos a maior parte da corrente pelo resistor R_p . Sendo a corrente I_g uma fração da corrente I , podemos mostrar facilmente que $I_g = \frac{R_p}{R_p + R_g} \cdot I$ (mostre!).

Portanto, pode-se calibrar a escala do galvanômetro para que o mesmo indique diretamente o valor de I . Temos assim, um amperímetro ideal (sem resistência) em série com uma resistência R_a . A resistência interna do amperímetro do exemplo da figura 4, será R_p em paralelo com R_g .

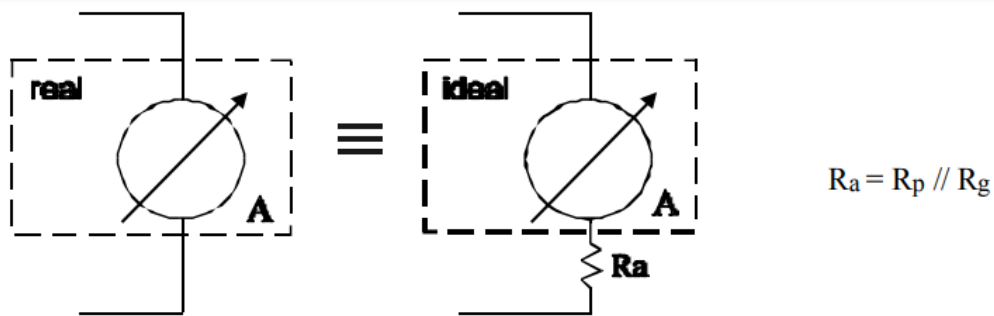


Fig. 5

Para medir a corrente elétrica em um circuito é necessário intercalar em série o amperímetro nesse circuito como está mostrado nas figuras 6.a e 6.b.

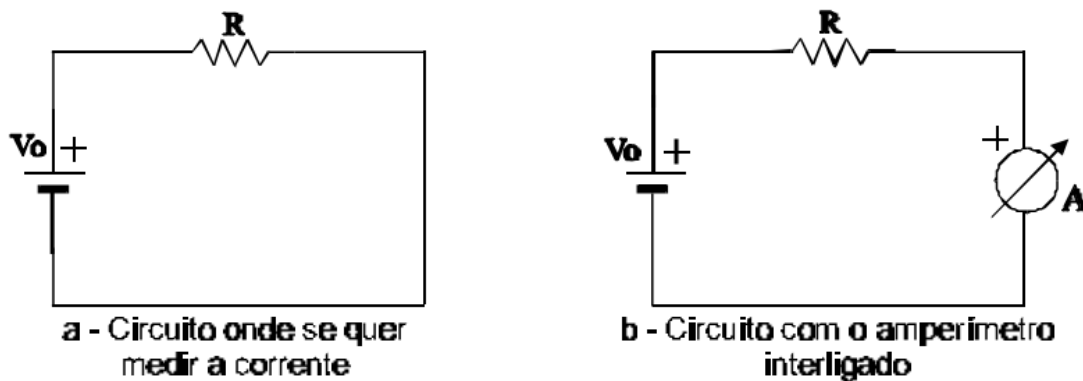


Fig. 6

A inserção do amperímetro no circuito pode alterar o valor da corrente originalmente existente, em virtude da resistência interna R_a que estará associada em série com a resistência R . Vejamos: Se fossem conhecidos os valores de V_0 e R poderíamos afirmar que a corrente no circuito da figura 6.a seria $I = V_0/R$. Ao inserirmos o amperímetro com resistência interna R_a , a corrente no circuito da figura 6.b será dada por $I' = \frac{V_0}{R + R_a}$ que é um valor menor que o anterior, sendo o valor indicado pelo amperímetro.

Vemos, portanto, que a introdução do amperímetro no circuito altera, para menos, o valor da corrente original. Para que essa alteração seja a menor possível é necessário que a resistência interna do amperímetro, R_a , seja muito menor que a resistência R do circuito original. Somente assim, podemos ter uma medida de corrente, próxima do valor que existia na ausência do amperímetro.

Voltímetro

Um galvanômetro também pode ser adaptado e calibrado para medir a diferença de potencial (ddp) entre dois pontos **a** e **b** em um circuito, uma vez que a corrente indicada nesse instrumento é diretamente proporcional à ddp aplicada entre seus terminais.

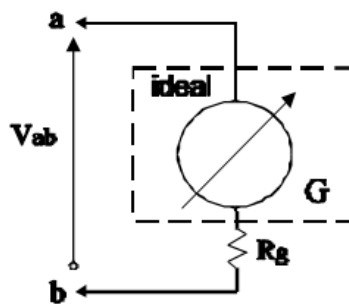


Fig. 7

A utilização de um galvanômetro para medir ddp, desse modo, apresenta um inconveniente, o galvanômetro drena corrente do circuito a que está ligado, podendo alterar o valor da ddp que existia antes da conexão.

Veja o exemplo seguinte onde se deseja medir a ddp entre os pontos **a** e **b**, no circuito da figura 8.

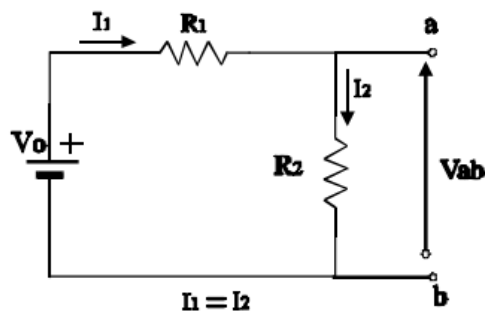
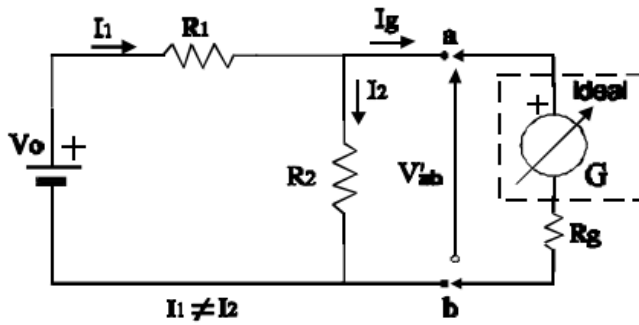


Fig. 8

Quando ligamos o galvanômetro entre os pontos **a** e **b** na tentativa de medir a ddp, temos:



$$V'_{ab} = \frac{(R_2 // R_g)}{R_1 + (R_2 // R_g)} \cdot V_o$$

Fig. 9

Para que a tensão V'_{ab} tenha o mesmo valor da tensão V_{ab} é necessário que R_g seja muito maior que R_2 . Nessa situação, a corrente I_g seria desprezível quando comparada com I_2 . Como não é possível alterar o valor de R_g , o que se faz é acrescentar em série com R_g um resistor R_s de valor elevado.

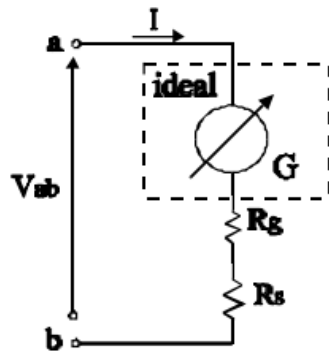


Fig. 10

Esse arranjo é denominado de voltímetro e R_v é a resistência interna do mesmo. Um bom voltímetro deve possuir uma resistência interna, R_v , elevada (centenas de $k\Omega$) e um galvanômetro bastante sensível, pois deverá defletir o ponteiro para correntes muito pequenas. Um voltímetro real pode ser representado por um voltímetro ideal (que possui resistência interna infinita) em paralelo com uma resistência interna R_v .



Fig. 11

OBSERVAÇÃO: Para medir a ddp entre dois pontos, em um circuito, devemos sempre conectar os terminais do voltímetro a esses pontos sem interromper o circuito (ligação em paralelo).

III - TEORIA DA MEDIDA

Medida de Corrente

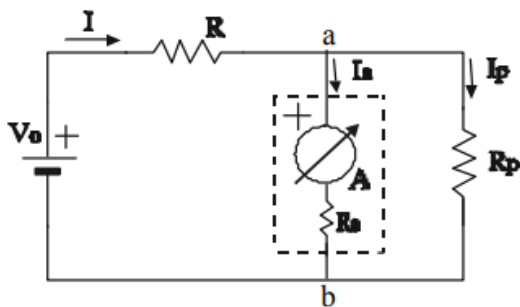
Se queremos medir uma corrente devemos antes saber que medidor devemos utilizar. Para isso, devemos conhecer a ddp à qual está submetido o circuito e a resistência mínima (carga) que o circuito terá. Assim, em um circuito onde temos aplicada uma tensão de 10V a uma resistência mínima de 10 k Ω , pela lei de Ohm, devemos ter um medidor capaz de medir uma corrente igual a:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{ V}}{10^4 \Omega} = 10^{-3} \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

Então, para medir a corrente neste circuito devemos utilizar um aparelho que possa medir uma corrente igual ou superior a 1 mA.

Suponha agora que queremos medir uma corrente maior que 1 mA, mas só dispomos de um amperímetro que mede uma corrente máxima de 1 mA. Para conseguir isso teremos que desviar o excesso de corrente do amperímetro. Criando esse desvio e sabendo a corrente que o atravessa, podemos medir uma corrente superior a 1mA.

Vamos considerar o circuito da figura 12. A corrente que atravessa esse circuito é superior ao máximo que pode ser medido pelo amperímetro "A" e por isso foi colocada a resistência R_p . Assim, a corrente divide-se, passando uma parte, I_a , pelo amperímetro e outra parte, I_p , pelo desvio.



V_0 = fonte de tensão

R = resistência

R_p = resistência de proteção (shunt)

R_a = resistência interna do amperímetro.

Fig. 12

A diferença de potencial entre os pontos **a** e **b**, onde foi colocado o amperímetro é igual a:

$$V_{ab} = R_a \cdot I_a \tag{3}$$

onde R_a é a resistência interna do amperímetro. Do mesmo modo:

$$V_{ab} = R_p \cdot I_p \quad (4)$$

onde R_p é a resistência do desvio. Assim:

$$R_a \cdot I_a = R_p \cdot I_p$$

$$R_p = \frac{I_a}{I_p} R_a \quad (5)$$

Podemos ver ainda, conforme a figura 12, que $I = I_a + I_p$ então,

$$R_p = \frac{I_a}{I - I_a} R_a \quad (6)$$

Desse modo, a partir de um amperímetro que possa medir uma corrente máxima de 1mA, podemos obter amperímetros para medir quaisquer correntes superiores a 1 mA. Por exemplo:

Para medir corrente até 10mA temos,

$$R_p = \frac{I_a}{I - I_a} R_a = \frac{1\text{mA}}{10\text{ mA} - 1\text{ mA}} \cdot R_a \therefore R_p = \frac{1}{9} \cdot R_a (\Omega)$$

Do mesmo modo, para medir corrente até 1 A temos,

$$R_p = \frac{I_a}{I - I_a} R_a = \frac{1\text{mA}}{1000\text{ mA} - 1\text{ mA}} \cdot R_a \therefore R_p = \frac{1}{999} \cdot R_a (\Omega)$$

A associação em paralelo da resistência R_a com R_p passa a ser considerada como a nova resistência interna do amperímetro. Vimos que a faixa de medida (fundo de escala) aumenta e que a resistência interna do medidor diminui.

Transformação de Amperímetro em Voltímetro

Tínhamos falado anteriormente que o voltímetro é um galvanômetro com uma grande resistência (em relação à resistência do trecho no qual se quer medir a ddp) associada em série. Vamos ver agora como transformar um amperímetro em um voltímetro.

Suponha que contamos somente com um amperímetro de 1mA e que queremos medir uma tensão de, no máximo 10V.

Nós podemos representar nosso voltímetro como:

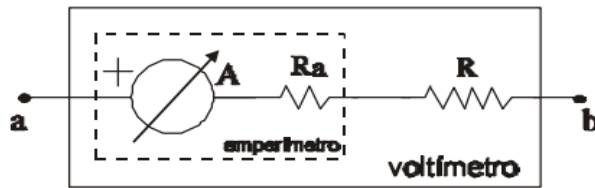


Fig. 13

Onde:

$R_v = R + R_a$, resistência interna do voltímetro.

Devemos ajustar o valor de R tal que quando entre os pontos **a** e **b** existir uma tensão igual a 10 V, circulará uma corrente de 1mA pelo amperímetro.

Daí,

$$V_{ab} = (R + R_a) \cdot I_a \quad (7)$$

onde:

$$\begin{aligned} I_a &= 1\text{mA} \\ R_v &= R + R_a \\ V_{ab} &= 10\text{V} \end{aligned}$$

$$R = \frac{V_{ba}}{I_a} - R_a \quad (8)$$

Podemos encontrar o valor de R sabendo o valor de R_a . Da relação anterior, vemos que aumentamos a faixa de medida de um voltímetro aumentando sua resistência interna.

IV - PARTE EXPERIMENTAL:

LISTA DE MATERIAL:

- fonte de tensão
- década de resistores - (duas)
- amperímetro
- chave liga - desliga
- placa de ligação
- fios

OBSERVAÇÃO:

Anotar cuidadosamente os valores: Tensão da fonte, fundo de escala, desvio avaliado do medidor bem como a tolerância dos resistores das décadas.

CUIDADOS COM OS EQUIPAMENTOS:

O amperímetro é um aparelho sensível. Sua colocação inadequada em um circuito pode danificar sua bobina. Toda atenção é necessária para não aplicar uma corrente superior ao fundo de escala, tão pouco inverter a sua polaridade. Isso pode causar danos irrecuperáveis ao medidor.

Antes de ligar o circuito, o aluno deve solicitar a presença do professor para uma última verificação.

MEDIDAS:

IV.1 - Medida de Corrente Menor que o Fundo de Escala do Amperímetro

☞ Monte o circuito de acordo com a figura 14.

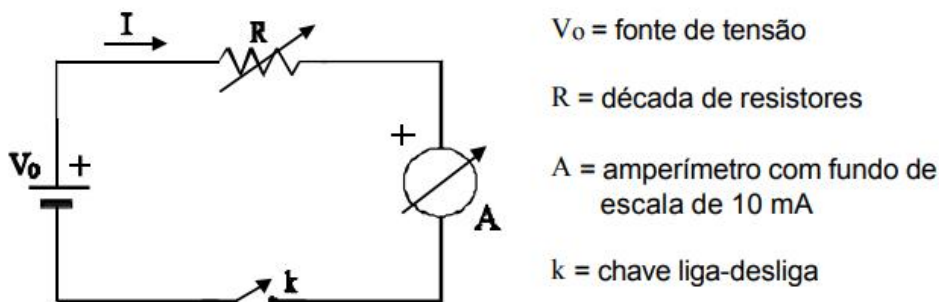


Fig. 14

☞ Calcule, com auxílio da lei de Ohm, a resistência que limita a corrente ao valor máximo (fundo de escala) que pode ser lido pelo amperímetro (**Resistência Mínima Calculada**).

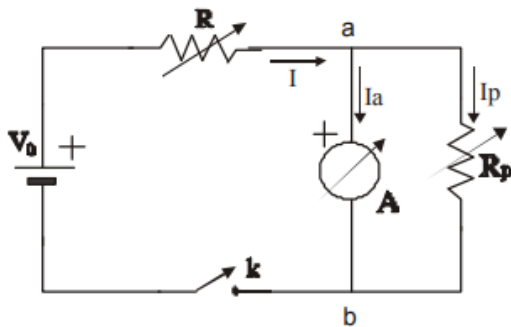
☞ Calcule também um valor de resistência que permita uma corrente mínima de 1 mA no circuito (**Resistência Máxima Calculada**).

☞ Coloque o valor da **Resistência Mínima Calculada** na década de resistores, ligue a chave, anote o valor da corrente. Provavelmente, ao ajustar a resistência mínima calculada na década, a corrente medida será diferente do fundo de escala do amperímetro. Por quê? Então, ajuste um valor de resistência na década (**Resistência Mínima Experimental**) para que a corrente lida no amperímetro seja exatamente 10 mA (fundo de escala).

☞ A partir da **Resistência Mínima Experimental**, inclusive, ajuste na década no mínimo 15 valores, entre esta e a **Resistência Máxima Calculada**, medindo as correntes. Anote todos os resultados numa tabela. Escolha valores de resistência para abranger toda a escala do amperímetro.

IV.2 - Determinação da Resistência Interna do Amperímetro

☞ Monte o circuito a seguir:



V_0 = fonte de tensão

R = década de resistores

R_p = década de resistores

A = amperímetro

k = chave liga - desliga

Fig. 15

No circuito da figura 14, a resistência total era igual a $(R + R_a)$. Como supomos que a resistência interna do amperímetro é pequena comparada com a resistência R, podemos considerar R como sendo a resistência total do circuito.

Agora, no circuito da figura 15, a resistência total é igual a $(R + R_a // R_p)$. Como não sabemos o valor de R_a , continuamos a supô-la pequena em relação a R. Então, por melhor razão, $R_a // R_p$ também o será de modo que nós podemos continuar assumindo R como a resistência total do circuito. Então, se colocamos na década de resistência R o valor da resistência mínima calculada, a corrente total do circuito da figura 15 deve ser aproximadamente 10 mA.

☞ Ajuste na década de resistências R o valor da **Resistência Mínima Calculada**. Ajuste agora na década de resistências R_p o valor zero.

☞ Ligue a chave. Qual a corrente que o amperímetro indica?

Este resultado é o esperado? Aumente a resistência R_p de 1 em 1Ω até obter 5 mA lido no medidor. Nessa situação metade da corrente passa por R_p e a outra metade passa pelo amperímetro.

Determine então a resistência interna R_a do amperímetro.

IV.3 - Transformação da Faixa de Medida de um Amperímetro

Se você observar, com atenção, verá que o circuito anterior, figura 15, divide em correntes iguais a corrente total do circuito $I = I_a + I_p$. Ou seja, ao determinar a resistência interna R_a do amperímetro ajustando um valor de resistência na década R_p , para que $R_a = R_p$, você acabou construindo um amperímetro capaz de medir correntes até 20mA.

Este novo amperímetro é constituído pelo amperímetro original com a resistência R_p colocada em paralelo com ele. A corrente que passa pelo resistor R é simplesmente o dobro da corrente indicada no amperímetro original. Dizemos portanto que duplicamos o fundo de escala do instrumento. Dessa forma você acabou de construir um sistema capaz de medir correntes até 20 mA (escala duplicada). Portanto utilize esse mesmo circuito, figura 15, no próximo item.

i) Duplicação do fundo de escala do amperímetro

☞ Calcule o valor da resistência R necessária para fazer a corrente I atingir 20 mA. Como você já conhece todas as resistências envolvidas no circuito, calcule o valor exato levando em conta a associação em série de R com a associação em paralelo de R_a com R_p .

☞ Ajuste as décadas para os valores calculados, ligue a chave e anote em uma tabela o valor de R e de I medido; **sem modificar a resistência R_p** , duplique sucessivamente a resistência R até um total de cinco medidas.

ii) Quadruplicação do fundo de escala do amperímetro

☞ Repita o procedimento anterior para obter um aparelho capaz de medir 4 vezes o fundo de escala do amperímetro original. Lembre-se que agora, além de R , você deve determinar um novo valor para R_p que possibilite a passagem de 40 mA por essa nova associação R_a/R_p .

☞ Ajuste as décadas para os *valores* calculados, ligue a chave, construa uma nova tabela com os valores, **mantendo o valor de R_p , calculado para este item, constante**. Duplique sucessivamente a resistência R até um total de cinco medidas.

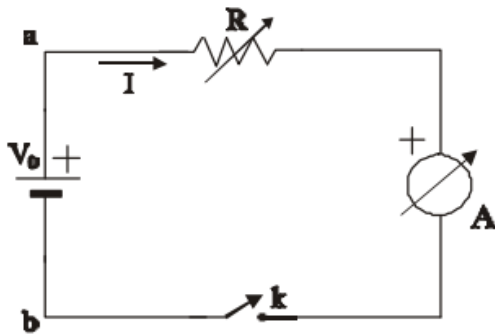
Agora você construiu um amperímetro capaz de medir correntes até 40 mA.

IV.4 - Transformação de um Amperímetro em Voltímetro

Partindo do nosso amperímetro original, vamos construir dois voltímetros capazes de medir 5 V e 10 V, respectivamente.

i) Voltímetro com fundo de escala de 5V

☞ Monte o circuito a seguir.



V_0 = fonte de tensão

A = amperímetro

R = década de resistência

k = chave liga-desliga

Fig. 16

☞ Calcule o valor de R para obter o voltímetro com fundo de escala 5 V.

☞ Ajuste na década este valor, ligue a chave e anote a corrente lida no amperímetro. Qual o valor da tensão correspondente? Anote o desvio avaliado do medidor. Escreva a tensão lida com o respectivo desvio.

ii) Voltímetro com fundo de escala de 10 V

☞ Calcule agora a resistência R necessária para transformar o amperímetro num voltímetro de 10V. Compare o valor de R com o anterior.

☞ Coloque na década este valor. Meça, com este voltímetro, a diferença de potencial de baterias alcalinas fornecidas pelo professor. Observe com cuidado se o valor lido para a tensão usada no experimento corresponde ao valor indicado na bateria.

V - RELATÓRIO:

Os itens seguintes devem ser observados em seu relatório. Esta lista, entretanto, não é limitativa.

- Na seção IV.1, calcule teoricamente, desprezando a resistência interna R_a do amperímetro, a corrente que deverá passar em R, para os valores das resistências usadas nesta seção. Compare com os valores medidos. Faça uma tabela onde deve constar R, I_m (corrente medida), I_c (corrente calculada), e $\delta I = I_c - I_m$.

Os valores teóricos são maiores ou menores que os experimentais ? A que se deve isso?

- Discuta a diferença entre os valores: **Rmin calculado e Rmin experimental.**

- Na seção IV.2, qual o desvio avaliado do novo amperímetro?

- Explique porque utilizamos nesse item a resistência mínima calculada e não a resistência experimental que produz a corrente correspondente ao fundo de escala do miliamperímetro.

- Partindo da expressão utilizada para o cálculo da resistência interna do amperímetro

$$R_a = \frac{I - I_a}{I_a} R_p$$

- Calcule o erro cometido na determinação dessa resistência, em função dos erros ΔI_a e ΔR_p , supondo que I não contém erro. Sabendo-se que os resistores da década têm um desvio relativo de 5% dado pelo fabricante. Escreva corretamente o valor da resistência interna do amperímetro na forma $(R_a \pm \Delta R_a)$.

Você utilizou o valor mínimo calculado da resistência R e tomou como hipótese que a corrente era de aproximadamente 10 mA, desprezando o efeito da resistência equivalente da associação em paralelo de R_a com R_p .

Agora que você conhece a resistência interna R_a :

- Calcule qual é a corrente que realmente passa pelo resistor R . Utilize o valor calculado da resistência R , da resistência interna R_a e da resistência R_p a situação na qual o valor indicado no amperímetro foi 5mA. O valor dessa corrente calculada difere muito de 10 mA? A aproximação foi boa?

- Na seção IV.3, calcule os valores teóricos da corrente que passa por R e compare com os valores medidos. Faça uma tabela onde conste R , I_m , I_c e $\delta I = I_c - I_m$. Os valores teóricos são maiores ou menores que os experimentais? Por quê? Qual o desvio avaliado e a resistência interna do seu novo medidor para cada uma das ampliações do fundo de escala? O desvio relativo muda?

- Na seção IV.4, qual o desvio avaliado de cada voltímetro e qual a sua resistência interna para cada caso? (5 V e 10 V). Escreva corretamente todos os valores de tensão na forma $(V \pm \Delta V)$.

VI - LEITURA COMPLEMENTAR:

HALLIDAY, David, RESNICK, Robert. Fundamentos de Física, 3.ed, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editôra S.A, 1993. v.3, p. 115 – 125.

TIPLER, Paul A. Física, 2.ed, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984. v.2a, p. 717 - 719.

SEARS, Francis, ZEMANSKY, Mark W, YOUNG, Hugh D. Física Eletricidade e Magnetismo, 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editôra S.A, 1994. v.3, p. 663 - 664.

WHITE, Marsh W, MANNING, Kenneth V. Experimental College Physics, 3.ed, N.Y: McGraw Hill Book Company, Inc, 1954. p. 199 - 206.