## 1: Medidas de intensidade de corrente

A intensidade de corrente é medida por instrumentos chamados amperômetros, ou amperímetros. Há vários tipos de amperômetros, cada tipo baseado em um fenômeno físico diferente. Vimos no tópico **"**Aplicações do Efeito Joule**"** a descrição do amperômetro térmico.

## 2: Shunt de um galvanômetro

Suponhamos que o galvanômetro G deva medir a corrente de intensidade I. Quando o galvanômetro não suporta essa corrente, ligamos em derivação com o galvanômetro uma resistência r. A finalidade dessa resistência é fazer que parte da corrente I se desvie por ela. Essa resistência é chamada Shunt. Seja i a intensidade da corrente que passa pelo shunt e $i_g$ a que passa pelo galvanômetro; r a resistência do shunt e $r_g$ a do galvanômetro (fig. 186). Temos:

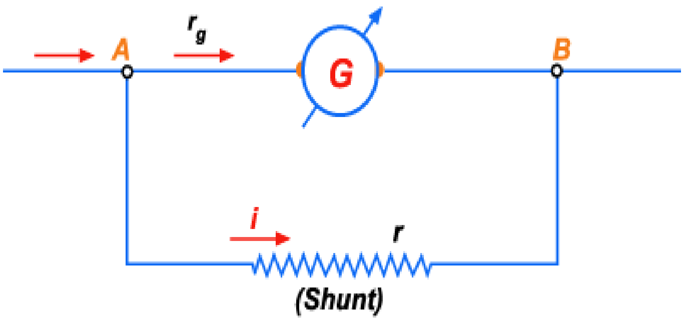


Figura 186

$$i + i_g = I \quad \therefore \quad i = I - i_g$$

A diferença de potencial entre A e B vale:

$$V = r.i = r_g.i_g$$

$$\therefore \quad r.\left(I - i_g\right) = r_g.i_g$$

$$rI - ri_g = r_g.i_g \quad \therefore \quad I = \frac{i_g\left(r_g + r\right)}{r}$$

Ou

$$I = i_g \left( \frac{r_g}{r} + 1 \right)$$

Lemos no galvanômetro a corrente $i_g$. Multiplicamos pelo número $\frac{r_g}{r} + 1$, e obtemos a corrente I do circuito exterior.

O número $\frac{r_g}{r} + 1$ é chamado fator de multiplicação, ou fator de ampliação do shunt. O fator de multiplicação é fixado antecipadamente. Depois calculamos o valor de r. Exemplo: suponhamos que queiramos um fator de multiplicação igual a 100. Temos:

$$\frac{r_g}{r} + 1 = 100 \;\therefore\; \frac{r_g}{r} = 99 \;\therefore\; r = \frac{1}{99} rg$$

Costumamos denominar o shunt pela relação $\frac{r}{r_g}$. O shunt do nosso exemplo é chamado shunt $\frac{1}{99}$. Exemplo: os shunts de $\frac{1}{999}$ e $\frac{1}{9999}$, tem fator de multiplicação igual a 1000 e 10000, respectivamente.

## 3: Medida de diferença de potencial

Os instrumentos que medem a diferença de potencial entre dois pontos são chamados voltômetros, ou voltímetros. O princípio de seu funcionamento é o seguinte: suponhamos que entre dois pontos, B e C, de um circuito seja ligado um amperômetro A, em série com uma resistência r muito grande e constante (fig. 187). Sendo $r_a$ a resistência do amperômetro, i a intensidade da corrente que passa pelo amperômetro e $V_B - V_C$ a diferença de potencial a medir,

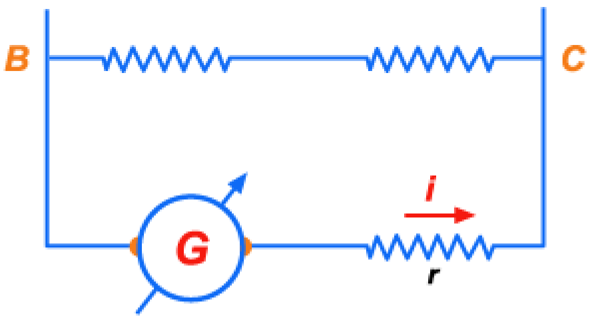


Figura 187

temos:

$$V_B - V_C = (r_a + r)i$$

Como $r_a + r$ é constante, $V_B - V_C$ é proporcional a i. Então o i medido pelo amperômetro, multiplicado por $r_a + r$ dá $V_B - V_C$, que se quer medir. Logo, um voltômetro é obtido de um amperômetro A ligado em série com uma grande resistência.

Os voltômetros que se encontram no comércio trazem duas simplificações importantes:

1ª) a resistência r já é ligada internamente no instrumento;
2ª) como o fabricante conhece o valor de $r_a + r$, o voltômetro tem uma escala graduada em diferenças de potencial e não em intensidade de corrente.

Observação

| |
|---|
| Vemos pela própria teoria de seu funcionamento que um voltômetro deve sempre ser ligado em paralelo entre os dois pontos cuja diferença de potencial se quer medir. |

## 4: Medida de resistência elétrica

Há vários processos para a medida de uma resistência. Veremos três:

1º) pela ponte de Wheatstone;
2º) pelo método de substituição;
3º) pelo método do voltômetro e amperômetro.

## 1. Ponte de Wheatstone

Para medirmos uma resistência $r_1$ pela ponte de Wheatstone, ligamos $r_1$ com mais três resistências conhecidas, $r_2, r_3$ e $r_4$, de acordo com a figura 188. Entre A e C ligamos um gerador, que vai fornecer corrente ao circuito. Entre B e D ligamos um galvanômetro G ou qualquer outro dispositivo capaz de acusar uma diferença de potencial entre esses dois pontos. Se o potencial de B for maior que o de D, a corrente $i_1$ se desdobrará em duas no ponto B: uma que percorrerá o ramo BD, outra que percorrerá BC. Se o potencial de D for maior que o de B, a corrente $i_2$ se desdobrará em duas: uma que percorrerá DB, outra que percorrerá DC. Mas, se o potencial de B for igual ao de D, nenhuma das duas correntes se desdobrará: $i_1$ percorrerá $r_1$ e $r_2$ e $r_2$, e $i_2$ percorrerá $r_3$ e $r_4$.

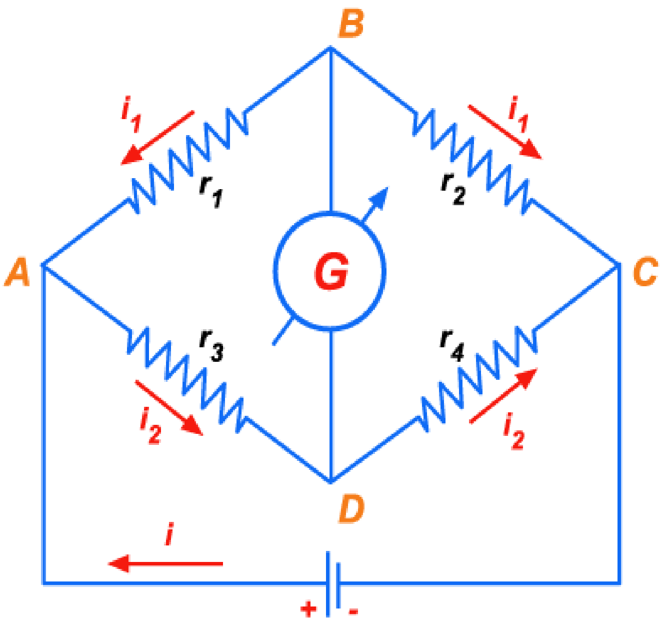


Figura 188

Admitamos então que as resistências conhecidas $r_2, r_3$ e $r_4$ sejam escolhidas de tal modo que o potencial de B seja igual ao de D. Nesse caso, o galvanômetro não acusa a passagem de corrente alguma. Vejamos qual a conclusão a que chegaremos. Temos:

$$V_A - V_B = r_1 i_1$$
$$V_A - V_D = r_3 i_2$$
$$V_B - V_C = r_2 i_1$$
$$V_D - V_C = r_4 i_2$$

Sendo $V_B = V_D$, temos:

$$V_A - V_B = V_A - V_D \text{ e } V_B - V_C = V_D - V_C$$

isto é:

$$r_1 i_1 = r_3 i_2 \text{ e } r_2 i_1 = r_4 i_2$$

Dividindo membro a membro essas igualdades, temos:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4} \text{ ou } r_1 r_4 = r_2 r_3$$

Concluímos que quando os potenciais de B e D são iguais. os produtos das resistências opostas são iguais. Tiramos:

$$r_1 = r_2 . \frac{r_3}{r_4}$$

**Conclusão**

Para medirmos a resistência $r_1$ pela ponte de Wheatstone devemos ajustar os valores de $r_2, r_3 \, e \, r_4$ até que não passe corrente pelo galvanômetro. Então o potencial do ponto B estará igual ao potencial do ponto D. Nesse caso a equação é satisfeita e calculamos por ela o valor de $r_1$. Para tornarmos o potencial de B igual ao potencial de D há dois processos:

1$^o$) manter fixas as resistências $r_3 \, e \, r_4$ e variar $r_2$ até que o galvanômetro não acuse passagem de corrente;

2$^o$) manter fixa $r_2$ e variar o quociente $\frac{r_3}{r_4}$ até que o galvanômetro não acuse passagem de corrente. Este 2$^o$ processo é realizado comodamente introduzindo-se uma simplificação na ponte de Wheatstone, com a qual a ponte é às vezes chamada ponte de fio, ou ponte de corda.

**Ponte de fio –** Se os condutores AD e DC forem de mesmo material e tiverem mesma secção transversal, a relação de suas resistências é igual à relação de seus comprimentos, isto é:

$$\frac{r_3}{r_4} = \frac{L_3}{L_4}$$

A incógnita $r_1$ será dada por:

$$r_1 = r_2 . \frac{L_3}{L_4}$$

Consegue-se isso fazendo-se com que ADC seja um fio único, e o ponto D seja um cursor que se desloca sobre esse fio (fig. 189). O cursor é deslocado até que não passe corrente pelo galvanômetro. Esse fio ADC está assentado sobre uma régua graduada que dá os comprimentos AD e DC$\left(L_3 \text{ e } L_4\right)$. Em geral essa régua não é graduada para dar $L_3$ e $L_4$, separadamente mas, para dar o quociente $\frac{L_3}{L_4}$ .

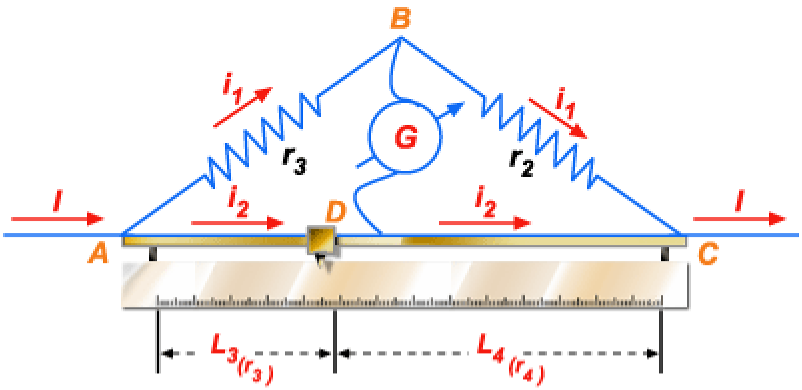


Figura 189

## 2. Método de substituição

Forma-se um circuito com uma pilha de f.e.m. E, um miliamperômetro e a resistência incógnita r (fig. 190). O miliamperômetro indicará a passagem de uma corrente i. Chamando R à soma das resistências da pilha e do miliamperômetro, temos pela lei de Pouillet:

$$E=\left(R+r_1\right)i_1$$

Depois substituímos a resistência incógnita r por uma resistência conhecida $r_1$. O miliamperômetro indicará uma outra corrente, $i_1$. Teremos:

$$E=\left(R+r_1\right)i_1$$

Logo,

$$\left(R+r\right)i=\left(R+r_1\right)i_1$$

donde:

$$r=\frac{\left(R+r_1\right)i_1-R}{1}$$

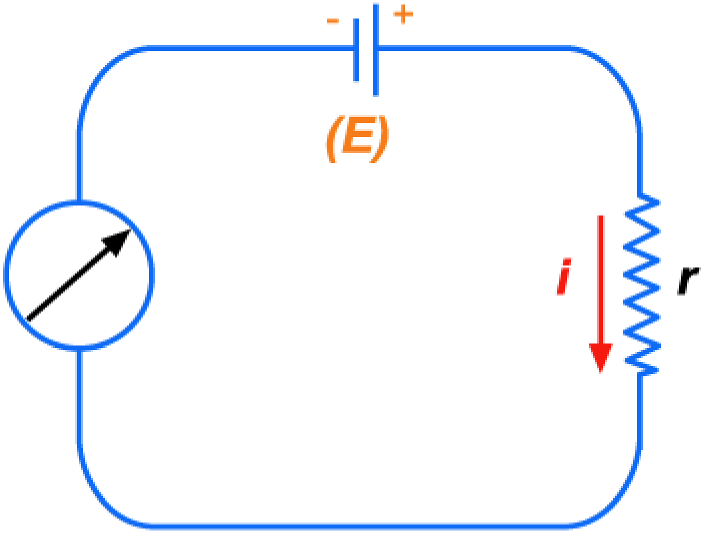


Figura 190

Obtemos assim r em função de valores conhecidos $R, r_1, i, i_1$.

## 3. Método do voltômetro e amperômetro

A resistência incógnita r é ligada em série com um miliamperômetro A de resistência conhecida $r_a$. Entre os pontos B e C é ligado um voltômetro V. Os pontos B e C são ligados aos polos de uma pilha, como indica a figura 191. O miliamperômetro indica a corrente i que passa por ele e pela resistência r. O voltômetro indica a diferença de potencial v entre B e C. Pela lei de Ohm, temos:

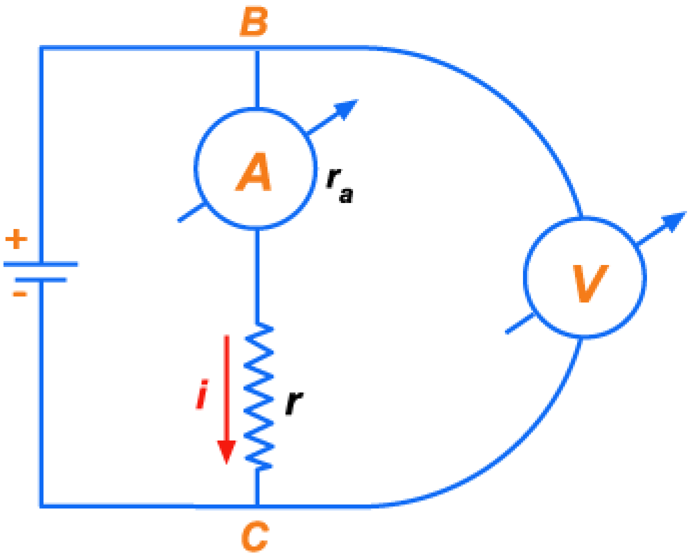


Figura 191

$$v = (r_a + r)i$$

donde

$$r = \frac{v}{i} - r_a$$

Ainda com o voltômetro e amperômetro se pode medir a resistência r montando-se o circuito como está indicado na figura 192. O voltômetro V é ligado em paralelo com r. Deve-se conhecer a resistência $r_v$ do voltômetro. Deixamos a cargo do leitor demonstrar que, neste caso, a resistência r é dada por:

$$r = \frac{V_{r_v}}{Ir_v - V}$$

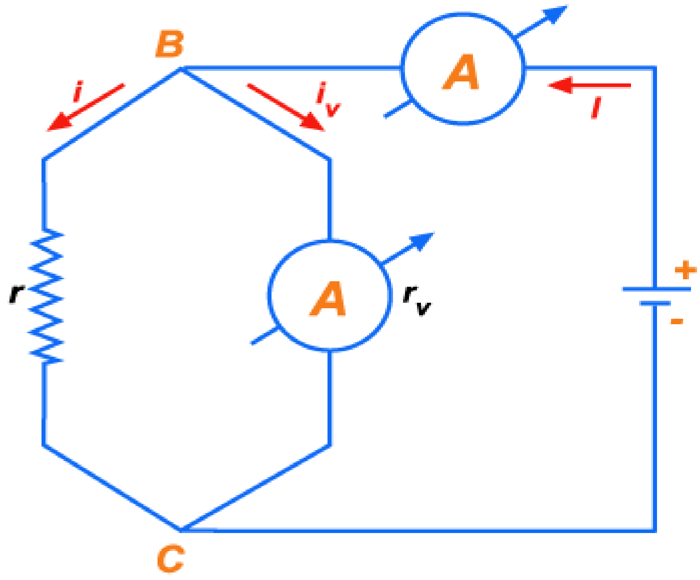


Figura 192

## 5: Potenciômetro

Suponhamos um circuito constituído por uma pilha P, de f.e.m. E, e um condutor AB de resistência R. Sendo i a intensidade da corrente, a diferença de potencial entre A e B é:

$$V_A - V_B = Ri$$

Seja C um ponto qualquer do condutor AB, r a resistência do trecho AC (fig. 193-a). A diferença de potencial entre A e C é:

$$V_A - V_C = ri$$

Se ligarmos entre A e C um condutor qualquer M, esse condutor suportará a diferença de potencial $V_A - V_C$. (Na

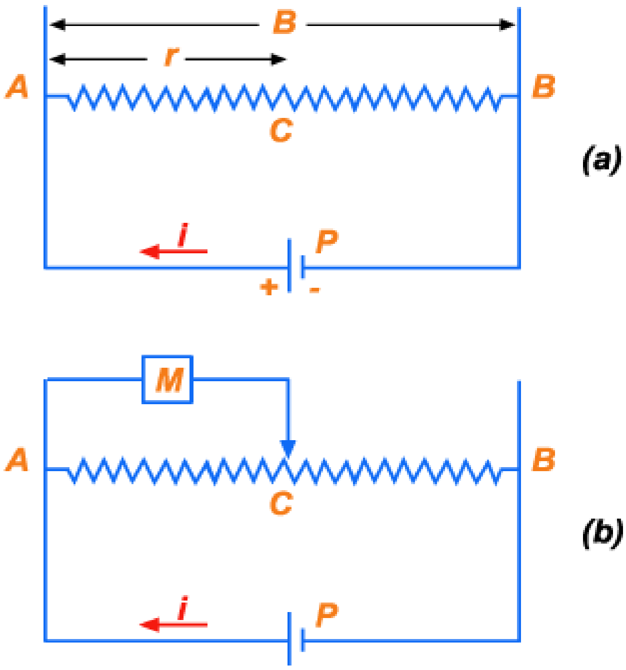


Figura 193

verdade, ao intercalarmos o condutor M, a sua resistência modificará a resistência do trecho AC e a diferença de potencial entre A e C não será a mesma. Mas, se a resistência de AC for muito pequena em relação à de M, a modificação da diferença de potencial será desprezível).

Se o ponto C, em vez de fixo, for um cursor que se desloca de A até B, então variando a sua posição entre A e B estaremos variando a diferença de potencial $V_A - V_C$. Assim, se o ponto C coincide com o ponto A, temos: $r = 0$ e $V_A - V_C = 0$;

Se o ponto C coincide com o ponto B, temos: $r = R$ e $V_A - V_C = V_A - V_B = Ri$;

se o ponto C estiver em qualquer posição intermediária, então $V_A - V_C = ri$. Essa operação é realizada comodamente na prática fazendo-se com que AB seja um reostato e C o cursor do reostato.

Concluímos que o circuito formado pelo reostato AB e a pilha P constitui uma fonte de diferença de potencial variável de O até $Ri$. O condutor AB com o cursor C, usado nas condições citadas é chamado potenciômetro. O circuito formado pelo potenciômetro mais a pilha P é chamado circuito potenciométrico.

## 6: Medida da força eletromotriz pelo método de oposição, ou método de compensação, ou método de Poggendorff

O método de Poggendorff permite a comparação das f.e.m. $E_1$ e $E_2$ de duas pilhas. Forma-se um circuito potenciométrico com uma pilha P e um fio homogêneo AB com um cursor C. Nesse circuito se intercala um miliamperômetro $A_1$ que permite medir a corrente i que a pilha P fornece. Para manter essa corrente constante se intercala também um reostato R. (Vemos que o circuito $PACBA_1RP$ é um circuito

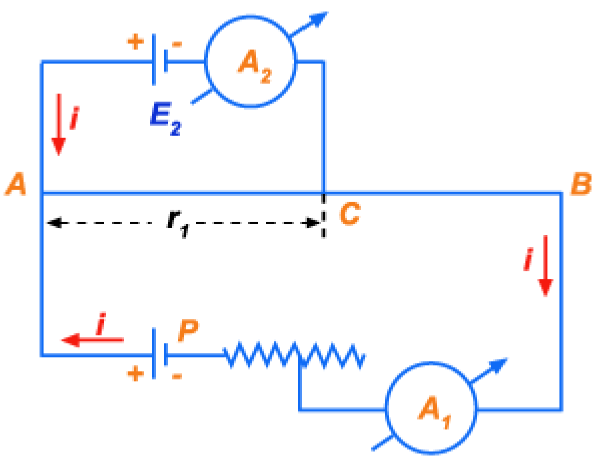


Figura 194

típico potenciométrico descrito no parágrafo anterior).

Entre os pontos A e C ligamos a pilha cuja f.e.m. $E_1$ queremos medir, e um miliamperômetro $A_2$ que medirá a corrente que vai circular pelo ramo $CA_2E_1A$. Essa pilha deve ser ligada de tal modo que a corrente $i_1$ que ela fornece aos ramos $CA_2E_1A$ tenha sentido oposto ao da corrente que é fornecida ao mesmo ramo pela pilha P. Para isso, os polos de mesmo nome das duas pilhas devem ser ligados juntos em A. Uma ligação desse tipo é chamada ligação em oposição (daí o nome do método).

Deslocamos o cursor C até que o miliamperômetro $A_2$ não acuse nenhuma corrente no ramo $CA_2E_1A$, isto é, até que a corrente $i_1$ fornecida pela pilha $E_1$ seja anulada pela parcela de i que se opõe a $i_1$. Chamando $r_1$ a resistência do trecho AC, e aplicando a 2ªlei de Kirchhoff à malha $CA_2E_1A$, temos:

$$E_1 = r_1.i$$

Depois substituímos a pilha $E_1$ por outra de f.e.m. $E_2$ e repetimos a operação. Chamando $r_2$ à resistência do trecho AC quando a segunda pilha está no circuito, concluímos:

$$E_2 = r_2.i$$

Dividindo membro a membro $E_1 = r_1.i$ e $E_2 = r_2.i$, temos:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

Supondo-se que $E_2$ seja a f.e.m. conhecida e $E_1$ a desconhecida, temos:

$$E_1 = E_2 \frac{r_1}{r_2}$$

Chamando $l_1$ e $l_2$ respectivamente aos comprimentos da parte AC nos dois casos é claro que

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

A expressão anterior fica então:

$$E_1 = E_2 \frac{l_1}{l_2}$$

Os comprimentos $l_1$ e $l_2$ podem ser medidos numa régua colocada por baixo do fio AB.