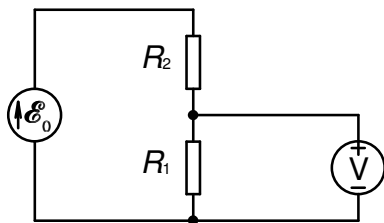


5.7 Divisor de tensão

Um divisor de tensão ou divisor de voltagem é um circuito extremamente simples, mas sumamente importante. Ele serve para gerar uma tensão V a partir de uma tensão V_0 de uma fonte, sendo V alguma fração de V_0 .

Em circuitos eletrônicos precisa-se de um número elevado de tensões diferentes. Nos rádios, em aparelhos de som e em outros equipamentos, há transistores e para que estes desempenhem seu papel corretamente é preciso colocar uma das três “pernas” do transistor (geralmente a “perna” chamada de base) num determinado potencial elétrico. Cada transistor precisa de um valor adequado. Imagine um radinho de pilha para o qual o usuário teria que comprar uma meia dúzia de baterias diferentes para poder fornecer estas voltagens! Ninguém iria comprar este radinho! O que se faz para providenciar estas voltagens é usar uma única bateria de voltagem suficientemente alta e fabricar aquela meia dúzia de voltagens necessárias com a ajuda de divisores de tensão.

A figura 5.7.1 mostra o circuito do divisor de tensão junto com um voltímetro.



Uma fonte, de eletromotância \mathcal{E}_0 e resistência interna desprezível, está ligada em dois resistores em série. A diferença de potencial que se estabelece no resistor R_1 é observada com um voltímetro ideal.

Fig. 5.7.1 Divisor de voltagem com voltímetro.

A análise de circuito para este caso é extremamente simples. Sabemos, de antemão, que não flui corrente pelo voltímetro. Então precisamos de apenas uma definição de corrente. Na fonte, no resistor R_2 e no R_1 flui a mesma corrente I , cujo sentido positivo escolheremos circulando no sentido horário. Então a lei de malha para os elementos que levam a corrente é

$$-\mathcal{E}_0 + R_2 I + R_1 I = 0 \quad (5.7.1)$$

A lei das malhas aplicada na malha formada pelo resistor R_1 e o voltímetro fornece a equação

$$-R_1 I + V_{\text{leitura}} = 0 \quad (5.7.2)$$

onde V_{leitura} é a voltagem indicada pelo voltímetro. Eliminando I do sistema de equações obtemos

$$V_{\text{leitura}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \mathcal{E}_0 \quad (5.7.3)$$

O fator $R_1 / (R_1 + R_2)$ que multiplica a eletromotância é um número puro entre 0 e 1. Então o circuito que está na caixa pontilhada da figura 5.7.2 se comporta como uma fonte de eletromotância efetiva

$$\mathcal{E}_{\text{efetiva}} \stackrel{\text{def.}}{=} \mathcal{E}_0 \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (5.7.4).$$

A tensão original \mathcal{E}_0 foi dividida numa parcela que aparece no resistor R_1 e numa que aparece no R_2 . Daí resultou o nome do circuito.

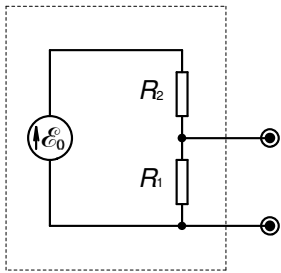


Fig. 5.7.2 Fonte efetiva feita com uma fonte e um divisor de tensão.

Faremos uma experiência para verificar o resultado. Na figura 5.7.3 temos uma fonte de aproximadamente 30 V ligada num divisor de tensão feita com resistores com valores $R_1 = 220\Omega$ e $R_2 = 330\Omega$. O voltímetro é uma construção especial adequada para experiências para auditórios grandes. O galvanômetro deste instrumento possui um pequeno espelho no lugar do ponteiro, e um feixe de luz verde refletido neste espelho faz o papel do ponteiro. O valor indicado corresponde perfeitamente ao valor esperado:

$$\frac{220\Omega}{220\Omega + 330\Omega} 30\text{ V} = \frac{22}{55} \times 30\text{ V} = 12\text{ V} \quad (5.7.5).$$

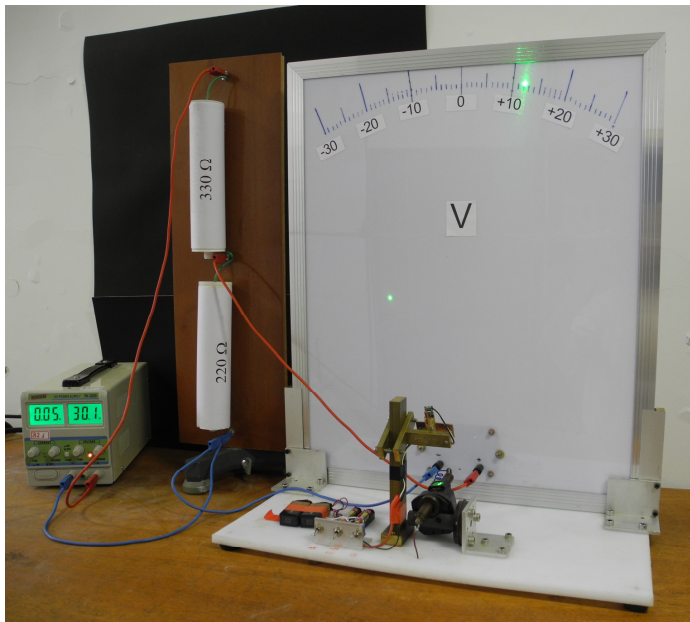


Fig. 5.7.3 Confirmação experimental do resultado (5.7.3).

Tenho aqui uma pequena lâmpada incandescente. É uma lâmpada de carro adequada para justamente 12 V. Podemos ver que ela funciona perfeitamente; ligando-a numa bateria de carro de 12 V ela acende, como podemos ver na figura 5.7.4.



Fig. 5.7. 4 Teste de uma lâmpada para 12 V.

Agora ligo esta lâmpada na nossa fonte feita com o divisor de tensão. Vimos que esta fonte fornecia perfeitamente 12 V. Mas aí vem a grande decepção: a lâmpada não acende; como podemos ver na fotografia na figura 5.7.5. Olhando os detalhes da fotografia percebemos que a voltagem, agora não tem mais o valor de 12 V . A tensão arriou para um valor perto de zero. O que aconteceu?

Para explicar este fenômeno temos que nos lembrar de que uma fonte não é apenas caracterizada por uma eletromotância. A resistência interna de uma fonte também é uma característica importante. Na fórmula (5.5.7) vimos que a corrente que passa por um resistor ligado numa fonte depende também da resistência interna da fonte. Se esta for

muito elevada a corrente será pequena e correspondentemente a potência absorvida pelo resistor será pequena. No caso da lâmpada ela pode ser tão pequena que a ligação não resulta na emissão de luz visível.

Então vamos tentar entender qual é a resistência interna da nossa fonte da caixinha pontilhada da figura 5.7.2. Vamos imaginar que liguemos um resistor R na caixinha pontilhada da figura 5.7.2. Fazendo isto obtemos o circuito da figura 5.7.6.

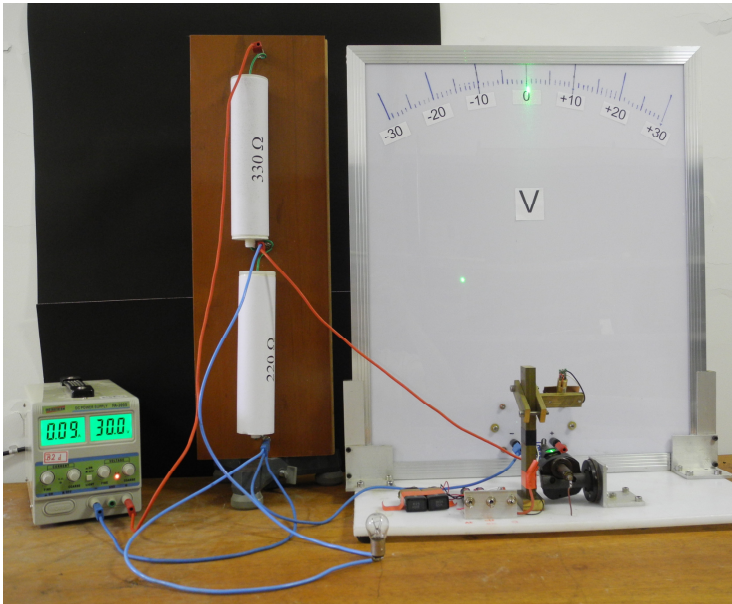


Fig. 5.7.5 A lâmpada de farol de carro não acende quando a ligamos no divisor de voltagem.

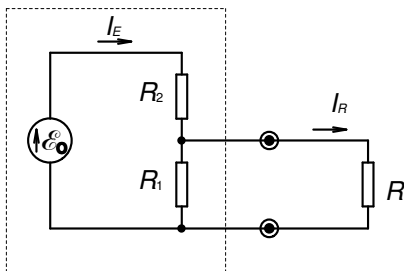


Fig. 5.7.6 Resistor ligado na fonte feita com divisor de voltagem.

Obtemos exatamente o circuito da figura 5.5.13, que já foi analisado na seção 5.5. Podemos utilizar o antigo resultado fazendo a seguinte correspondência de grandezas:

Fig.5.5.13	→	Fig.5.7.6	
R		R_2	
R_2		R	(5.7.6)
I_2		I_R	

Então, do antigo resultado (5.5.24), obtemos

$$I_R = \frac{\mathcal{E}_0 R_1}{R_2 (R_1 + R) + R_1 R} = \frac{\mathcal{E}_0 R_1}{R_2 R_1 + (R_1 + R_2) R} \quad (5.7.7).$$

É conveniente expressar este resultado em termos da eletromotância efetiva da fonte da caixinha pontilhada: $\mathcal{E}_{efetiva} = \mathcal{E}_0 \times R_1 / (R_1 + R_2)$. Para este fim dividimos o numerador e o denominador por $(R_1 + R_2)$:

$$I_R = \frac{\mathcal{E}_{efetiva}}{\frac{R_2 R_1}{R_1 + R_2} + R} \quad (5.7.8).$$

Comparando este resultado com a expressão da corrente ligada numa fonte (não ideal), isto é, com a fórmula (5.5.7), nos vemos obrigados a atribuir à nossa fonte da caixinha pontilhada a resistência interna

$$R_{int} = \frac{R_2 R_1}{R_1 + R_2} \quad (5.7.9).$$

Isto é curiosamente a resistência equivalente de R_1 paralelo com R_2 . Seguramente todo mundo julgava que estes resistores estivessem ligados em série. Verdade! Do ponto de vista da fonte de alimentação original, estes resistores estão em série. Mas, do ponto de vista de quem tira corrente do ponto de junção destes dois resistores, eles estão ligados em paralelo! Os alunos que pretendem trabalhar com circuitos profissionalmente devem memorizar este resultado (5.7.9); ele pode facilitar muitas contas.

Há uma forma especialmente interessante de divisor de voltagem em que os dois resistores formam um único resistor que pode ser acessado lateralmente com a ajuda de um contato móvel. O resistor pode ter uma forma reta ou uma forma circular. No caso reto o contato móvel pode deslizar num trilho reto e no caso circular ele é montado num eixo de tal forma que um giro deste eixo muda o ponto de acesso ao resistor. A ideia é formar um divisor de voltagem com um fator de redução $R_1 / (R_1 + R_2)$ variável. As figuras 5.7.7 – 5.7.10 mostram exemplos destes componentes eletrônicos, e a figura 5.7.11 mostra símbolos frequentemente usados para representá-los em esquemas de circuitos.



Fig. 5.7.7 Potenciômetros redondos.

Fig. 5.7.8 Potenciômetro reto. Os extremos estão ligados em fios vermelhos e o ponto móvel num fio azul.

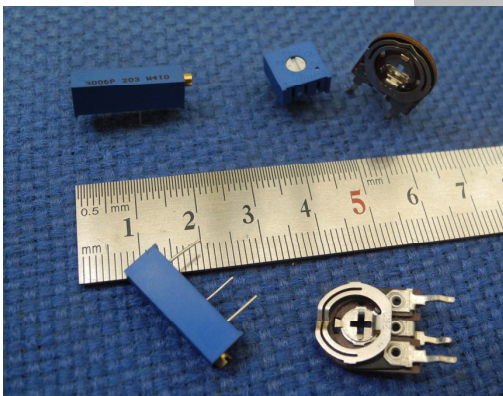
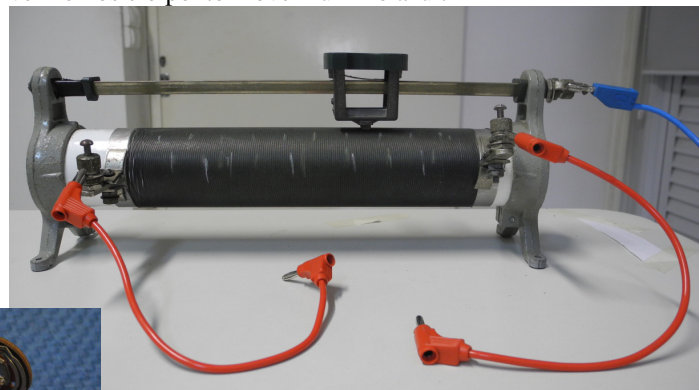
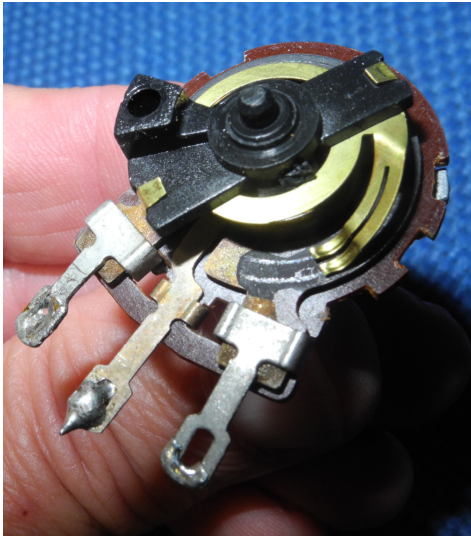


Fig. 5.7.9 Trim pots. Os “tijolinhos” compridos são potenciômetros retos nos quais o contato móvel pode ser deslocado com a ajuda de um parafuso.

Este tipo de elemento é chamado de *potenciômetro* ou de forma abreviada de *poti*. Logo mais comentaremos sobre a origem deste nome. Os exemplos mostrados na figura 5.7.7 possuem eixos que permitem a fixação de um botão. Todo mundo já girou este tipo de eixo de potenciômetro em aparelhos de som no

ajuste da amplitude do som. Atrás dos botões na nossa fonte regulável também se escondem potenciômetros deste tipo. Os potenciômetros da figura 5.7.9 propositadamente não têm tanta facilidade de mudança de posição do contato móvel. Este, chamado de “trimpot”, serve para ajustes que um técnico deve fazer, e geralmente este potenciômetro é inacessível ao usuário de um equipamento.



←Fig. 5.7.10 Potenciômetro aberto. O contato móvel aparece em forma de garfo. Pelo uso este garfo deixou duas trilhas na superfície do resistor.

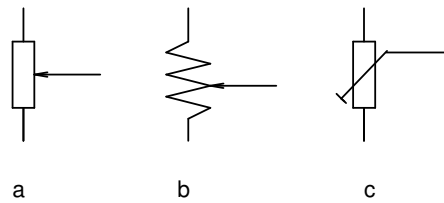


Fig. 5.7.11 Símbolos usados para representar potis em esquemas de circuitos. A versão c é especialmente usada para trimpots.

O nome potenciômetro sugere que este instrumento serve para medir algo. Isto parece estranho. Mas de fato esta invenção foi originalmente usada para medir diferenças de potencial. Depois da invenção das válvulas e dos transistores MOS-FET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) temos condições de construir voltímetros de altíssima resistência interna. Antes os pesquisadores resolveram o problema de medir diferenças de potencial elétrico com um mínimo de perturbação do circuito da seguinte forma genial: usa-se um divisor de tensão (realizado com um potenciômetro com escala) para dividir uma tensão bem conhecida gerando assim uma outra tensão conhecida que pode ser escolhida livremente. A tensão desconhecida que queremos medir é então comparada com a tensão conhecida e variável. A comparação é feita com um galvanômetro extremamente sensível. A figura 5.7.12 mostra o esquema: a posição do potenciômetro é regulada até o ponto em que o galvanômetro indica a corrente zero. Nesta posição sabemos que a tensão fornecida pelo divisor (conhecida) é igual à tensão entre os pontos a e b de algum circuito que era desconhecida. Neste ponto não há corrente e não perturbamos o circuito.

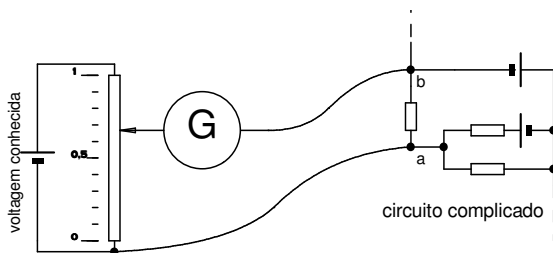


Fig. 5.7.12 Medida de diferença de potencial entre os pontos a e b de algum circuito com um potenciômetro.

Exercícios:

E 5.7.1: Mostramos que o divisor de voltagem (figura 5.7.2) é uma fonte de força eletromotriz efetiva $\mathcal{E}_{efetiva} = \mathcal{E}_0 R_1 / (R_1 + R_2)$ e resistência interna efetiva $R_{efetiva} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$. Existe uma generalização importante deste circuito: a figura 5.7.13 mostra um circuito de $n+1$ baterias de eletromotância \mathcal{E} e resistência interna desprezível, $n+2$ resistores de valor $2R$, n resistores de valor R e $n+1$ chaves com duas possíveis posições A e B. O número n é algum número inteiro não negativo; $n = 0, 1, 2, 3, \dots$. As chaves e baterias são numeradas de 0 até n como indicado na figura. Para a k -ésima chave, vamos definir um número a_k que descreve o estado da chave:

$$a_k = \begin{cases} 1 & \text{se a chave } k \text{ estiver na posição A} \\ 0 & \text{se a chave } k \text{ estiver na posição B} \end{cases}$$

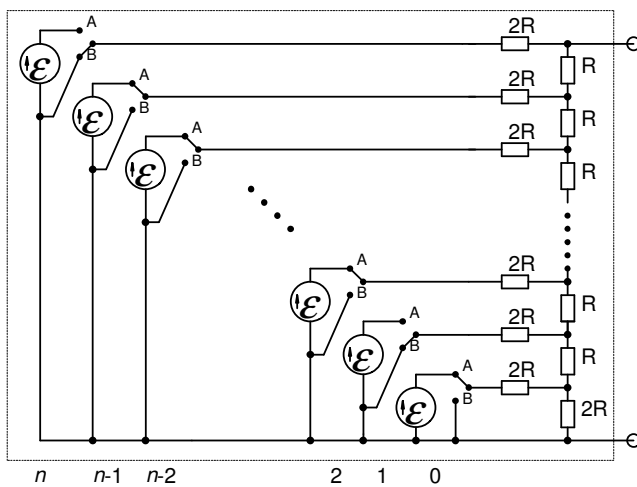


Fig. 5.7.13 Conversor digital - análogo.

Mostre que a eletromotância efetiva do circuito vale

$$\mathcal{E}_{efetiva} = \frac{\sum_{k=0}^n a_k 2^k}{2^{n+1}} \mathcal{E}$$

e que a resistência interna efetiva vale R . Sugestão: use o método de indução matemática para provar estas afirmações. Pense numa aplicação prática do

circuito da figura 5.7.13.

E 5.7.2: Escreva os pontos de destaque desta seção.