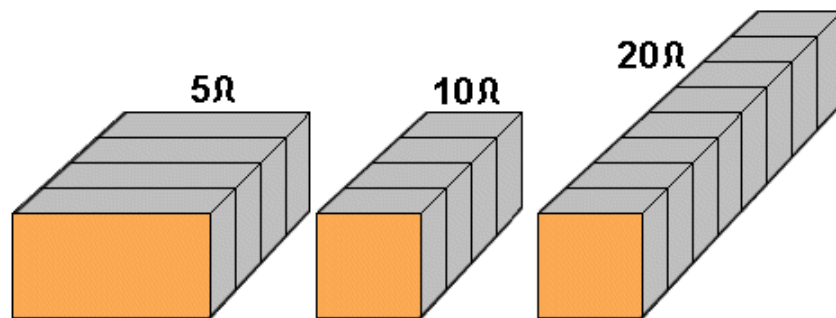


Aula 11 – Resistores

Lembrete: Definição de resistência (geral: vale para qualquer material)

$$R = \frac{V}{i}$$

Lei de Ohm: define uma classe de materiais (metais): R é constante, independente do valor e da polaridade da ddp V



Resistência elétrica de uma barra (prismática ou cilíndrica) de área A e comprimento L

O condutor não está em equilíbrio eletrostático devido à condução de corrente: há um campo elétrico E em seu interior, que pode ser suposto uniforme (as extremidades da barra são superfícies equipotenciais).

Logo $V = E L$, onde V é a ddp aplicada nas extremidades da barra. Da definição de resistividade

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/L}{i/A} = \frac{V}{i} \frac{A}{L} = R \frac{A}{L}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Obs.: fórmula só se aplica se a seção reta do prisma for uniforme.

Problema resolvido: Um paralelepípedo feito de Ferro tem dimensões 1,2 x 1,2 x 15 cm. (a) Qual a resistência do paralelepípedo medida entre as duas extremidades quadradas? (b) Qual a resistência entre duas faces retangulares opostas?

Solução: (a) A área de uma extremidade quadrada de lado 1,2 cm é $0,012^2 = 1,44 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{9,68 \times 10^{-8} \times 0,15}{1,44 \times 10^{-4}} = 1,0 \times 10^{-4} \Omega$$

(b) A área de uma face retangular de lados 1,2 cm e 15 cm é $0,012 \times 0,15 = 1,80 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{9,68 \times 10^{-8} \times 0,012}{1,80 \times 10^{-3}} = 6,5 \times 10^{-7} \Omega$$

Problema proposto: Uma barra metálica cilíndrica tem 1,60 m de comprimento e 5,50 mm de diâmetro. A resistência entre suas duas extremidades é $1,09 \times 10^{-3} \Omega$. (a) Qual é o material? (b) Um disco de diâmetro 2,00 cm e espessura 1,0 mm é feito do mesmo material. Qual a resistência entre as faces do disco? Respostas: (a) Prata; (b) 51,6 nΩ.

Código para fios de Cobre: usa-se no Brasil a norma americana para padronização dos fios de Cobre, de acordo com o seu diâmetro (os valores “quebrados” da tabela devem-se à conversão de milésimos de polegadas para milímetros) . A corrente de segurança indicada é determinada pela temperatura a que o fio é aquecido devido à passagem de corrente durante um certo tempo de operação. Em manuais técnicos, aparecem em geral as grandezas ρ/A ou R/L (unidade Ω/m).

Número	Diâmetro a 20°C (mm)	Corrente de segurança (A)
4	5,189	70
6	4,115	50
8	3,264	35
10	2,588	25
12	2,053	20
14	1,628	15
16	1,291	6
18	1,024	3
20	0,8118	
22	0,6438	

Obs.: para o Cobre a resistividade e o coeficiente de temperatura são, respectivamente, iguais a $\rho = 1,69 \times 10^{-8} \Omega.m$ e $\alpha = 4,3 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Varição da resistência elétrica com a temperatura: sendo L e A constantes (desprezamos efeitos de dilatação térmica) R é proporcional a ρ , logo segue a mesma dependência com a temperatura da resistividade:

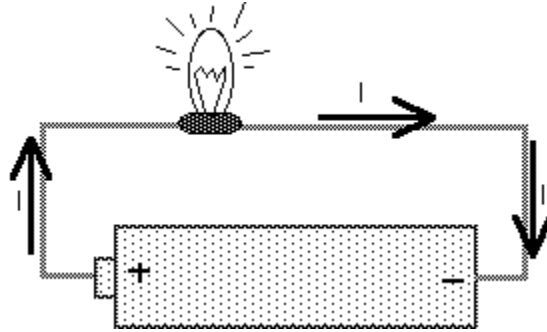
$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

onde:

$T_0 = 20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$: temperatura de referência

R_0 : resistência à temperatura T_0

R : resistência à temperatura T



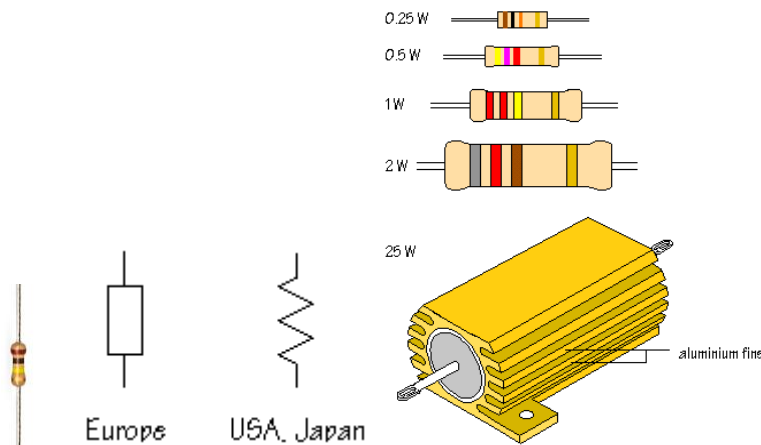
Problema resolvido: Uma lâmpada incandescente (possuindo um filamento de tungstênio) é projetada para operar a 0,30 A e 2,9 V. Se a resistência do filamento da lâmpada à temperatura ambiente (20°C) for de $1,1\ \Omega$, qual será a temperatura do filamento quando a lâmpada estiver acesa?

Solução: Quando a lâmpada está apagada não passa corrente por ela, de modo que ela está "fria" ($R_0 = 1,1\ \Omega$ a $T_0 = 293\text{ K}$). Quando a lâmpada está acesa sob uma ddp de $V = 2,9\text{ V}$, passa uma corrente $i = 0,30\text{ A}$, de modo que sua resistência vale $R = V/i = 2,9/0,30 = 9,7\ \Omega$

Da fórmula anterior, isolando T temos

$$T = T_0 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R}{R_0} - 1 \right) = 293 + \frac{1}{4,5 \times 10^{-3}} \left(\frac{9,7}{1,1} - 1 \right) = 2030\text{ K}$$

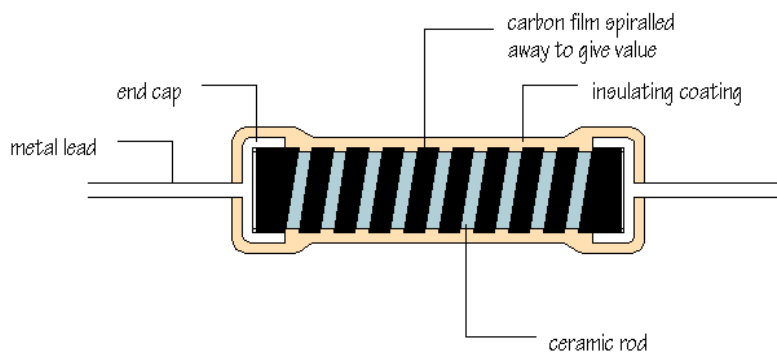
Problema proposto: Uma barra de cobre está inicialmente a 0°C . Quanto deve subir a sua temperatura para que a sua resistência elétrica cresça 10%? Resposta: $21,25^\circ\text{C}$.



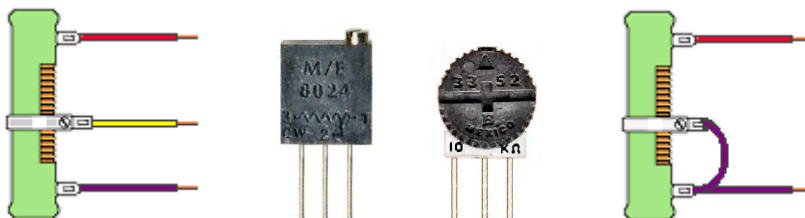
Resistores: elementos de um circuito eletrônico caracterizados por um valor bem-definido da resistência elétrica. Mesmo assim, qualquer resistor tem R definido a menos de uma tolerância, por diversos motivos (incluindo variações estatísticas nos seus parâmetros nominais, como comprimento, área ou resistividade).

Tipos de resistores:

- 1. Resistores de fio:** são construídos a partir de um longo e fino fio enrolado num suporte isolante. Como $R = \rho L/A$, podemos aumentar os valores da resistência R de três formas: (i) escolhendo materiais de alta resistividade; (ii) diminuindo a área da seção reta do fio e (iii) aumentando seu comprimento. Desejamos também que a resistência R tenha uma baixa tolerância, ou seja, que varie pouco com a temperatura, uma vez que todo resistor dissipa calor devido ao Efeito Joule. Usa-se para essa finalidade as seguintes ligas metálicas: Manganina (84% de Cobre, 12% de Manganês, 4% de Níquel) e Constantan (60 % de Cobre, 40% de Níquel), ambas com baixíssimos coeficientes de temperatura (da ordem de 10^{-6}), de forma que suas resistividades são praticamente constantes, mesmo que o resistor se aqueça. São, por isso, usados em aplicações onde necessita-se de valores de resistência com alta precisão (baixa tolerância).
- 2. Resistores de película fina:** têm um filme fino de metal enrolado num suporte cilíndrico isolante. São conseguidos tipicamente valores altos de resistência, devido aos baixos valores da espessura da película. No entanto, como o controle de qualidade da mesma é menos desenvolvido, são resistores com valores menos precisos (alta tolerância). Como não têm os problemas indutivos do fio enrolado, são bons para aplicações de altas frequências.

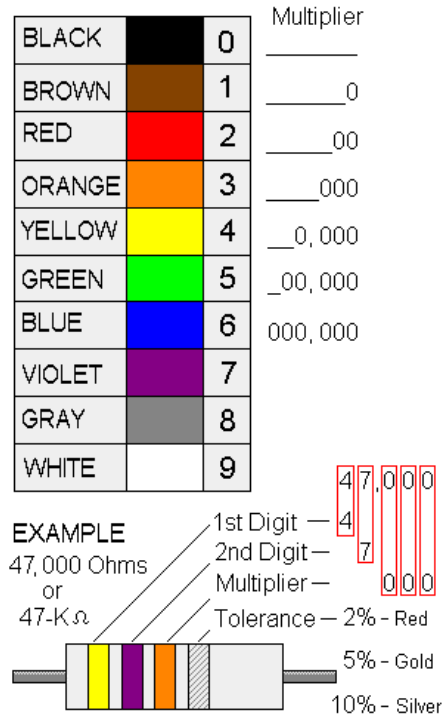


- 3. Resistores de composição:** são tarugos feitos de grãos de carvão comprimidos. A resistividade do carbono já é grande (da ordem de $10^{-5} \Omega.m$), e é aumentada pelos pontos de contacto entre os grãos.



4. **Resistores variáveis:** têm um cursor mecânico que desliza sobre o elemento resistivo, selecionando assim a extensão efetiva do elemento no circuito. Os elementos resistivos são usualmente circulares, de tal modo que o cursor pode ser movido por meio de um eixo (botão seletor). Se eles tiverem dois terminais, são denominados reostatos, se tiverem três terminais, potenciômetros.

Resistores de película e de composição têm isolamentos para proteção e manipulação. Os valores da resistência são usualmente denotados por faixas coloridas pintadas no isolamento dos resistores, de acordo com um código de cores padrão.

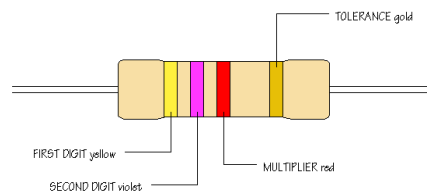


As duas primeiras faixas indicam os valores, e a terceira indica o multiplicador (número de zeros após os valores), de acordo com a tabela acima. A última faixa indica a tolerância, de 2% a 10%.

Problema resolvido: Qual o intervalo de resistências para o resistor da figura acima, se a quarta faixa for prateada?

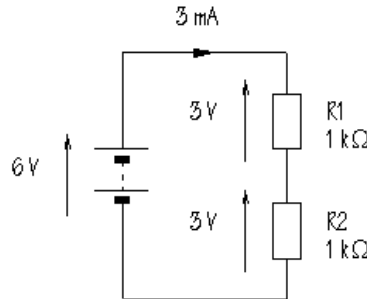
Solução: O valor nominal é $R = 47\,000\ \Omega$, com tolerância de 10%, ou seja, 4700 Ω . Logo, o intervalo vai de $47\,000 - 4\,700 = 42\,300\ \Omega$ até $47\,000 + 4\,700 = 51\,700\ \Omega$.

Problema proposto: Ache o intervalo de resistências para o resistor abaixo. Resposta: $4465\ \Omega < R < 4935\ \Omega$



Associação de resistores: como nem sempre encontramos o resistor com o valor de R que desejamos, é necessário associar resistores (como fizemos com capacitores). O resistor equivalente tem a mesma resistência R_{eq} da associação. Os dois tipos básicos são:

1º. Caso: Associação em série: todos os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica. Então $i_1 = V_1/R_1 = i_2 = V_2/R_2 = i = V/R_{eq}$



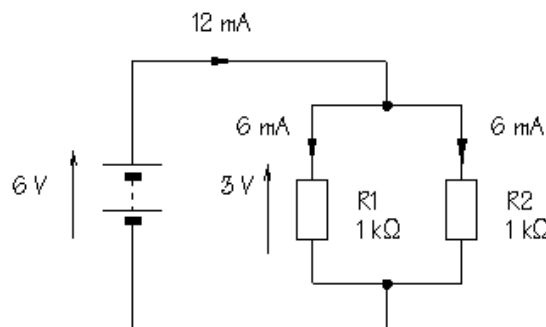
Há uma queda de tensão em cada resistor, de modo que a ddp sobre a associação é a soma das ddp's em cada resistor: $V = V_1 + V_2$.

Então $i R_{eq} = i_1 R_1 + i_2 R_2$. Dividindo tudo por $i = i_1 = i_2$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

2º. Caso: Associação em Paralelo: a ddp através da associação é a mesma para cada resistor: $V_1 = R_1 i_1 = V_2 = R_2 i_2 = V = R_{eq} i$

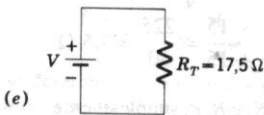
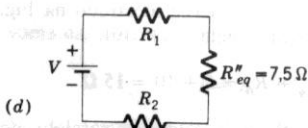
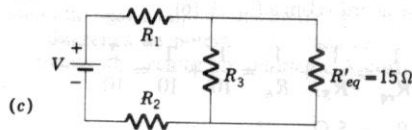
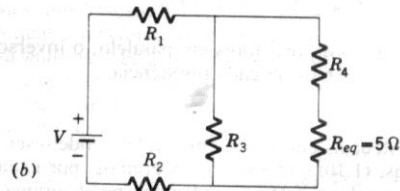
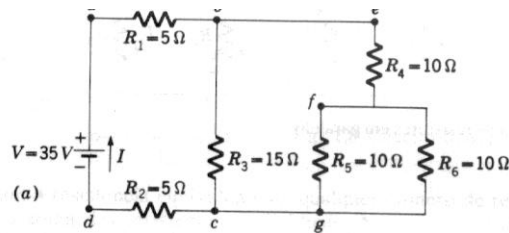
A corrente elétrica na associação é dividida para cada resistor, de modo que $i = i_1 + i_2$. Logo $(V/R_{eq}) = (V_1/R_1) + (V_2/R_2)$. Dividindo tudo por $V = V_1 = V_2$ resulta em



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

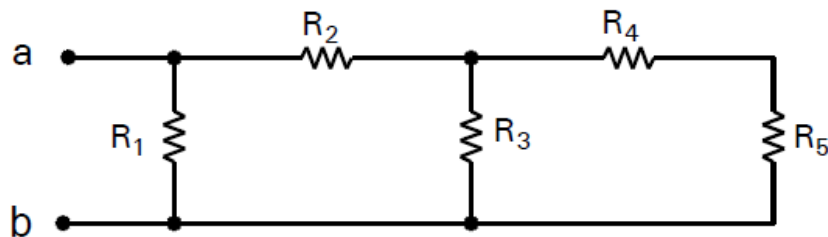
Obs.: caso de dois resistores: $R_{eq} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ (“produto dividido pela soma”)

Problema resolvido: Determine a resistência equivalente da associação mista de resistores abaixo:

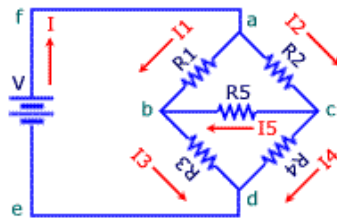


Solução: (a) A associação paralelo de R_5 e R_6 , cada uma com 10Ω , pode ser substituída por um resistor de $R_{eq} = 10 \times 10 / (10 + 10) = 100 / 20 = 5 \Omega$. (b) A combinação série de R_{eq} com $R_4 = 10 \Omega$ fornece $R'_{eq} = 5 + 10 = 15 \Omega$. (c) R'_{eq} e R_3 estão em paralelo, de modo que $R''_{eq} = (15 \times 15) / (15 + 15) = 225 / 30 = 7,5 \Omega$. (d) A associação em séries de R''_{eq} , R_1 e R_2 fornece $R_T = 7,5 + 5 + 5 = 17,5 \Omega$.

Problema proposto: Ache a resistência equivalente entre os pontos a e b da associação de resistores representada abaixo, onde $R_1 = 2,0 \Omega$, $R_2 = 5,0 \Omega$, $R_3 = 1,0 \Omega$, $R_4 = 9,0 \Omega$, e $R_5 = 3,0 \Omega$. Resposta: $1,49 \Omega$



É importante notar que nem toda a associação de resistores pode ser reduzida a uma combinação do tipo série-paralelo. Um contra-exemplo importante é a chamada “ponte de Wheatstone”, que é um dispositivo para medição de resistências desconhecidas:



Neste e em casos similares, não se deve procurar calcular o resistor equivalente. Temos, sim, que usar as leis de Kirchhoff para determinar a corrente e a ddp em cada resistor, o que será visto nas próximas aulas.