

CONDUTOR EM EQUILÍBRIO ELETROSTÁTICO

Um condutor, eletrizado ou não, encontra-se em equilíbrio eletrostático, quando nele não ocorre movimento ordenado de cargas elétricas em relação a um referencial fixo no condutor.

Um condutor em equilíbrio eletrostático apresenta várias propriedades:

- As cargas elétricas de um condutor em equilíbrio eletrostático distribuem-se na sua superfície externa;
- O campo elétrico resultante nos pontos internos do condutor é nulo (se nos pontos internos do condutor o campo não fosse nulo, ele atuaria nos elétrons livres, colocando-os em movimento ordenado, contrariando a hipótese do condutor estar em equilíbrio eletrostático);
- Nos pontos da superfície de um condutor em equilíbrio eletrostático, o vetor campo elétrico tem direção perpendicular à superfície;
- O potencial elétrico em todos os pontos internos e superficiais do condutor é constante (se houvesse uma ddp entre dois pontos quaisquer, os elétrons livres estariam em movimento ordenado, em direção as regiões de maior potencial, contrariando a hipótese do condutor estar em equilíbrio eletrostático).

CAPACITÂNCIA ELETROSTÁTICA DE UM CONDUTOR ISOLADO

Considere um condutor isolado, inicialmente neutro. Eletrizando-o com carga Q , ele adquire potencial elétrico V ; com carga $2Q$, seu potencial passa a ser $2V$, e assim sucessivamente. Isso significa que a carga Q de um condutor e o seu potencial elétrico V são grandezas diretamente proporcionais. Portanto:

$$Q = CV$$

onde C é uma constante de proporcionalidade característica do condutor e do meio no qual se encontra. Portanto a grandeza C mede a capacidade que um condutor possui de armazenar cargas elétricas e recebe o nome de

capacitância ou capacidade eletrostática do condutor.

Quando dois condutores estiverem num mesmo potencial V , armazenará mais cargas elétricas aquele que tiver maior C .

UNIDADE DE CAPACITÂNCIA ELETROSTÁTICA

Sendo $C = \frac{Q}{V}$, temos:

$$= 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}} = 1 \text{ farad} = 1F$$

Submúltiplos utilizados:

$$\begin{aligned} 1 \text{ microfarad} &= 1\mu F = 10^{-6} F \\ 1 \text{ nanofarad} &= 1nF = 10^{-9} F \\ 1 \text{ picofarad} &= 1pF = 10^{12} F \end{aligned}$$

Calculemos a capacitância eletrostática de um condutor esférico, de raio R , isolado e no vácuo.

Eletrizando-o com carga Q , ele adquire potencial elétrico $V = k \frac{Q}{R}$. Como $C = \frac{Q}{V}$, resulta:

$$C = \frac{Q}{k \frac{Q}{R}} \Rightarrow C = \frac{R}{k}$$

A capacitância eletrostática de um condutor esférico é diretamente proporcional ao seu raio.

Ex: Qual deve ser o raio de uma esfera condutora para que no vácuo tenha capacitância igual a $1F$?

Sendo $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$.

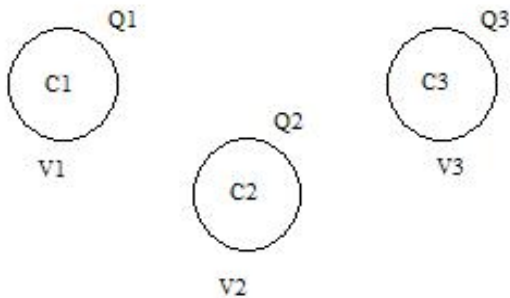
Solução:

$$C = \frac{R}{k} \Rightarrow R = kC \Rightarrow R = 9 \cdot 10^9 \cdot 1 \Rightarrow R = 9 \cdot 10^9 m$$

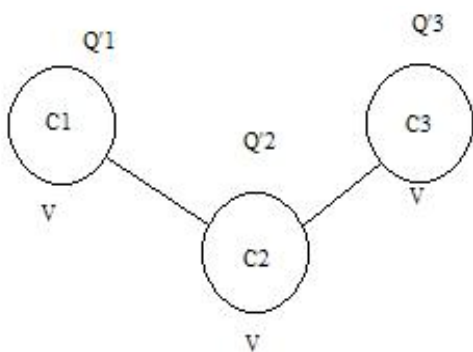
Obs: seu raio deve ser igual a $9.10^6 Km$ (nove milhões de quilômetros, o que corresponde, aproximadamente, a 1.500 vezes o raio da Terra). Isso significa que 1F é um valor enorme de capacitância. Daí o uso dos submúltiplos.

EQUILÍBRIO ELÉTRICO DE CONDUTORES

Considere três condutores de capacitâncias C_1, C_2 e C_3 eletrizados com cargas $Q_1, Q_2, e Q_3$ e potenciais $V_1, V_2, e V_3$, respectivamente.



Supondo esses condutores bem afastados, vamos ligá-los através de fios condutores de capacitância eletrostática desprezível. Quando for estabelecido o equilíbrio eletrostático entre os condutores, isto é, quando atingirem o mesmo potencial elétrico, o movimento de cargas entre eles cessará. Nessas condições, seja V o potencial comum estabelecido e sejam $Q'_1, Q'_2, e Q'_3$ as novas cargas.



O potencial V de equilíbrio é dado por:

$$V = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

Mas como $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$ e $Q_3 = C_3V$, temos:

$$V = \frac{C_1V + C_2V + C_3V}{C_1 + C_2 + C_3}$$

Determinando V , obtemos as novas cargas:

$$\begin{aligned} Q'_1 &= C_1V \\ Q'_2 &= C_2V \\ Q'_3 &= C_3V \end{aligned}$$

CORRENTE ELÉTRICA

Condutor elétrico é todo corpo que permite a movimentação de carga no seu interior. Caso não seja possível essa movimentação, então o corpo é chamado de isolante elétrico. A seguir mostramos numa tabela alguns condutores e alguns isolantes:

Os condutores elétricos mais comuns são os metais, que se caracterizam por possuírem

BONS CONDUTORES	BONS ISOLANTES
☛ metais em geral	☛ vidro
☛ grafite	☛ cera
☛ cerâmica	☛ borracha
☛ água	☛ seda

grande

quantidade de elétrons-livres, por exemplo: o alumínio possui 2 elétrons na última camada, já o ferro possui 2 e o cobre possui 1. Esses elétrons possuem uma ligação fraca com o núcleo, tendo certa liberdade de movimentação, o que confere condutibilidade aos metais.

Normalmente, o movimento dos elétrons livres no metal é caótico e imprevisível. No entanto, em certas condições, esse movimento torna-se ordenado, constituindo o que chamamos de corrente elétrica.

Corrente elétrica: é o movimento ordenado de cargas elétricas

Embora a corrente elétrica nos metais seja constituída de elétrons em movimento ordenado, por convenção, tradicionalmente aceita, admite-se que o sentido da corrente elétrica é oposto ao movimento dos elétrons. Ou seja, o sentido é o mesmo de cargas positivas.



Portanto de agora em diante iremos utilizar o sentido convencional, para indicar o sentido da corrente elétrica.

INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA

Definimos intensidade de corrente elétrica como sendo a quantidade de carga que passa numa seção transversal de um condutor durante certo intervalo de tempo.



É importante dizer que seção transversal é um corte feito no fio para medir, como num pedágio, quantos elétrons passam por ali num intervalo de tempo. Portanto, podemos escrever que:

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

☞ FREQUENTEMENTE UTILIZAMOS SUBMÚLTIPLOS DO AMPERE.

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A (miliampere)}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A (microampere)}$$

☞ Quando a corrente elétrica mantém sentido invariável ela é denominada **corrente contínua** (C.C.). Caso o sentido da corrente elétrica se modifique no decorrer do tempo, ela é denominada **corrente alternada** (C.A.)

$\Delta t \rightarrow$ intervalo de tempo \Rightarrow segundo (s)

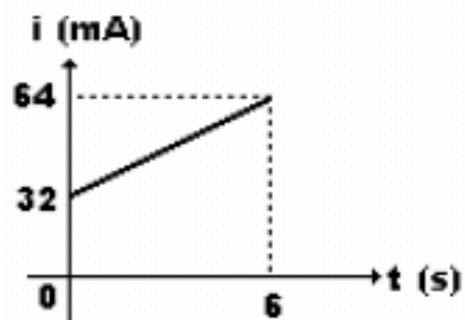
$i \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica \Rightarrow Coulomb por segundo (C/s) = Ampere (A)

Exercícios

1) Através de uma seção transversal de um fio condutor passaram $2,5 \times 10^{21}$ elétrons num intervalo de tempo de 200 s. Qual o valor da intensidade de corrente elétrica através desse condutor?

2) O gráfico anexo representa a intensidade da corrente que percorre um condutor em função do tempo. Sendo a carga elementar $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C, determine:

- (a) a carga elétrica que atravessa a seção transversal do condutor em 6 s;
- (b) o número de elétrons que nesse intervalo de tempo atravessou a seção;
- (c) a intensidade média de corrente elétrica entre 0 e 6 s.



Entre esses pontos haverá uma diferença de potencial elétrico (d.d.p.) ou tensão elétrica (U), dada por:

$$U = V_a - V_b$$

UNIDADES NO SI:

E → energia ⇒ Joule (J)

e → carga elementar ⇒ Coulomb (C)

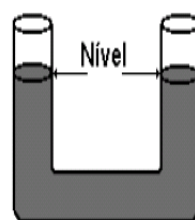
V → potencial elétrico ⇒ Joule por Coulomb = Volt (V)

U → d.d.p. ⇒ Joule por Coulomb = Volt (V)

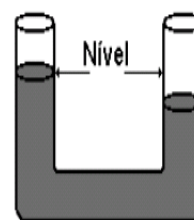
Relembrando:

Para uma melhor compreensão da importância da d.d.p. dentro da eletricidade iremos fazer uma analogia com a hidrostática.

Observe a figura abaixo (figura a) e note que o nível do líquido é o mesmo dos dois lados do tubo (vaso comunicante). Neste caso não

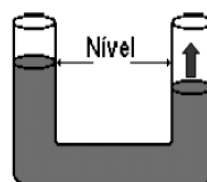


a



b

existe movimento do líquido para nenhum dos dois lados. Para que ocorra movimento é necessário um desnivelamento entre os dois lados do tubo (observe a figura b).



c

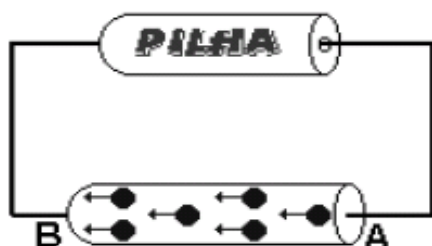


d

TENSÃO ELÉTRICA OU DIFERENÇA DE POTENCIAL (d.d.p)

Normalmente as cargas elétricas livres de um condutor metálico isolado estão em movimento desordenado, caótico. Falamos anteriormente que em certas condições podemos transformar este movimento desordenado em movimento ordenado, basta ligarmos as extremidades do condutor aos terminais de um dispositivo chamado gerador. A função do gerador é fornecer energia elétrica às cargas elétricas, evidentemente, à custa de outra forma de energia. Resumindo, um gerador é o dispositivo elétrico que transforma um tipo qualquer de energia em energia elétrica. São exemplos de geradores as pilhas, as baterias de relógio e as baterias de automóvel.

À medida que as cargas se movimentam elas se chocam com os átomos que constituem a rede cristalina do condutor, havendo uma conversão de energia elétrica em energia térmica. Assim, as cargas elétricas irão “perdendo” a energia elétrica que receberam do gerador. Portanto, considerando o condutor representado na figura abaixo, na extremidade B cada carga elementar possui uma energia elétrica E_B menor que a energia elétrica E_A na extremidade A ($E_B < E_A$).



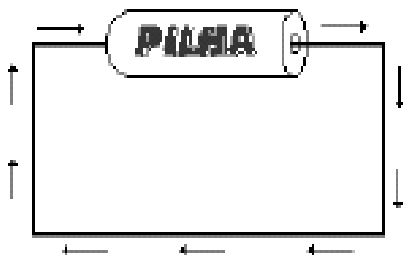
A relação entre a energia elétrica que a partícula possui num determinado ponto do condutor e a sua carga elétrica “e” (carga elementar) define uma grandeza física chamada de *potencial elétrico* (V).

$$V_A = \frac{E_A}{e} \quad V_B = \frac{E_B}{e}$$

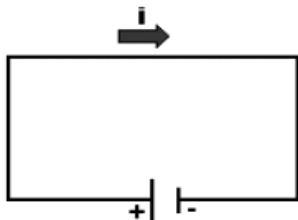
Neste caso o líquido tenderá a se mover até que os dois lados do tubo se nivelem novamente (figura c). Podemos concluir que para existir movimento é necessário que exista uma diferença de nível entre os dois lados do tubo (d.d.n.).

Para que o líquido fique sempre em movimento, podemos colocar uma bomba para retirar a água de um lado para o outro, fazendo com que sempre haja uma d.d.p. entre os dois tubos (figura d).

Podemos fazer uma analogia da situação descrita anteriormente com o movimento das cargas elétricas. Para isso vamos trocar os tubos por condutores elétricos (fios), a bomba por um gerador (pilha) e passaremos a ter a seguinte situação:



Da mesma forma que a bomba mantém uma diferença de nível para manter o movimento do líquido,



o gerador mantém a diferença de potencial elétrico (d.d.p.) para manter o movimento ordenado de elétrons. Esquemáticamente temos:

Pode-se verificar que no condutor, o sentido da corrente elétrica é da extremidade de maior potencial (pólo positivo) para a extremidade de menor potencial (pólo negativo).

EXERCÍCIO

1) Ao se deslocar entre dois pontos de um condutor, uma carga elementar perde $3,2 \times 10^{-16}$ Joules de energia elétrica. Determine a d.d.p. entre os dois pontos considerados. A carga elementar é igual a $1,6 \times 10^{-19}$ C.

ENERGIA E POTÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA

Retornemos ao exemplo, onde uma determinada carga se move de um ponto A para um ponto B de menor potencial. Como dito anteriormente, ela perde uma quantidade de energia, que se transforma em alguma outra forma de energia. A diferença de energia $E = \Delta qU$ entre os pontos é igual ao trabalho gasto pelo gerador para transportar a carga do ponto A ao ponto B.

Lembrando que potência é a razão da energia produzida/consumida por um intervalo de tempo: $P = \frac{E}{\Delta t}$, logo, a potência elétrica gerada ou consumida é dada por:

$$P = \frac{\Delta qU}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{P = iU}$$

Recordemos as unidades: P em watt (W), U em volt (V) e i em ampère (A).

Em eletricidade mede-se também a potência em quilowatt ($1kW = 10^3W$) e a energia elétrica em quilowatt-hora (kWh). Um kWh é a quantidade de energia trocada no intervalo de tempo de 1h com potência de 1kW. Portanto:

$$1kWh = 1kW \cdot 1h = 1.000W \cdot 3.600s$$

$$\boxed{1kWh = 3,6 \cdot 10^6 J}$$

RESISTORES

Num circuito elétrico, os condutores que atravessados por uma corrente elétrica transformam a energia elétrica em energia térmica (calor) são chamados de **resistores**. Esquemáticamente:



Esse fenômeno de transformação é conhecido como *Efeito Joule* e é resultado de choques entre os elétrons que constituem a corrente elétrica e os átomos, o que ocasiona um aquecimento do condutor. Existem alguns eletrodomésticos que possuem como função básica a transformação de energia elétrica em energia térmica, tais como: ferro elétrico, chuveiro elétrico, aquecedores, etc.

Os resistores podem ser representados num circuito das seguintes maneiras:



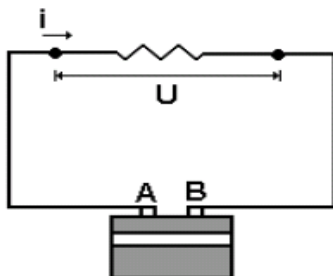
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O resistor possui uma característica de dificultar a passagem de corrente elétrica através do condutor. Essa característica é chamada de resistência elétrica.

1ª LEI DE OHM

O físico George S. Ohm verificou, experimentalmente, no século XIX, que alguns condutores possuíam um comportamento similar. Ao alterar a tensão para valores $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$, a intensidade de corrente no condutor também se altera, mas de uma maneira sempre igual. De tal forma que ao dividirmos as tensões pelas respectivas intensidades de corrente elétrica, para um mesmo condutor, a divisão será uma constante, esta constante é a resistência elétrica.

$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = \dots = \frac{U_N}{i_N} = R$$



Os condutores que possuem este comportamento são chamados de condutores ôhmicos e para eles vale a seguinte relação:

$$U = R \cdot i$$

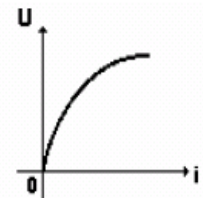
UNIDADES NO SI:

$U \rightarrow$ d.d.p entre os pontos A e B ou tensão elétrica \Rightarrow Volt (V)

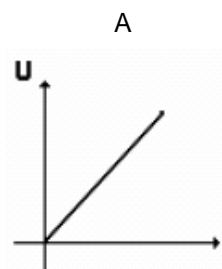
$i \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica \Rightarrow Ampere (A)

$R \rightarrow$ resistência elétrica \Rightarrow Ohm (Ω)

Graficamente um condutor ôhmico é representado como na figura a, já a figura b mostra o comportamento de algum condutor que não respeita a lei de Ohm. Este condutor é



chamado de não-ôhmico.

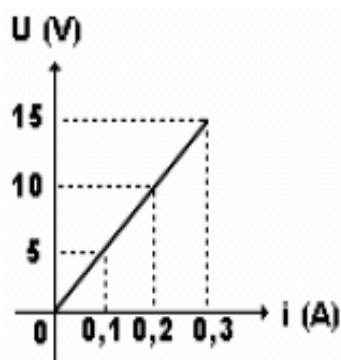


EXERCÍCIOS

(1) Um resistor ôhmico é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 5 A, quando submetido a uma d.d.p. de 100 V. Determine:

- (a) a resistência elétrica do resistor;
- (b) a intensidade de corrente que percorre o resistor quando submetido a uma d.d.p. de 250 V;
- (c) a d.d.p. a que deve ser submetido para que a corrente que o percorre tenha intensidade de 2 A.

(2) Variando-se a d.d.p. U nos terminais de um resistor ôhmico; a intensidade da corrente i que percorre varia de acordo com o gráfico da figura abaixo. Determine:



- (a) a resistência elétrica do resistor;
- (b) a intensidade de corrente que atravessa o resistor quando a d.d.p. em seus terminais for 100 V;
- (c) a d.d.p. que deve ser estabelecida nos terminais desse resistor para que ele seja percorrido por corrente de intensidade 6 A.

RESISTIVIDADE – 2ª LEI DE OHM

É importante salientar que o título 2a Lei de Ohm é apenas didático. Na História da Física temos apenas o conhecimento da Lei de Ohm e não 1a e 2a, mas para fins de uma melhor organização do conteúdo faremos essa separação.

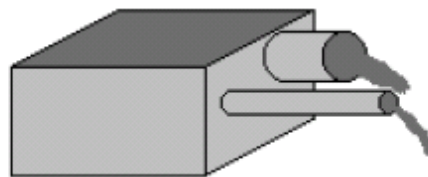
Um aspecto importante, levantado por Ohm, foi a descoberta de fatores que influem no valor da resistência elétrica de um resistor, são eles:

- A dimensão do resistor (área e comprimento);
- O material que constitui este resistor.

Consideremos um fio condutor de comprimento L e área de seção transversal A .



Para compreendermos melhor a relação entre resistência, área e comprimento, podemos fazer uma analogia com tubos de água, vejamos a figura posterior:



Como podemos notar na figura acima, a água possui maior facilidade para sair pelo cano de menor comprimento e maior área, já no cano mais longo existe uma maior dificuldade para água se locomover e o estreitamento do cano aumenta esta dificuldade.

No caso da energia elétrica e do condutor o comportamento é mantido o mesmo:

- A resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do fio, ou seja, quanto maior o comprimento do fio maior é a dificuldade de movimentação dos elétrons.
- A resistência elétrica é inversamente proporcional ao valor da área da seção transversal do fio, ou seja, quanto maior a área mais fácil é a movimentação dos elétrons, portanto a resistência elétrica diminui.

Logo podemos escrever que:

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

Onde:

A resistividade ρ é uma característica do material. Cada material possui um valor de ρ , sendo que quanto melhor condutor for este

UNIDADES NO SI:

$R \rightarrow$ resistência elétrica \Rightarrow Ohm (Ω)

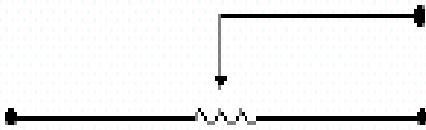
$L \rightarrow$ comprimento do fio \Rightarrow metro (m)

$A \rightarrow$ área da seção transversal \Rightarrow metro quadrado (m^2)

$\rho \rightarrow$ resistividade \Rightarrow Ohm . metro ($\Omega \cdot m$)

material, menor será sua resistividade.

Reostatos são resistores cuja resistência elétrica pode ser variada. Um reostato é simbolizado por:



EXERCÍCIOS

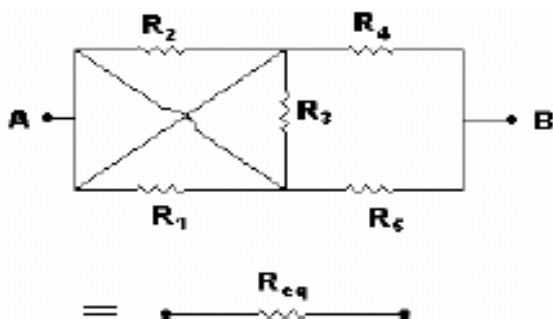
(1) Um fio metálico é feito de um material cuja resistividade é $0,20 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ e tem seção transversal de área $0,10 \text{ mm}^2$. Determine a resistência elétrica desse fio por metro de comprimento.

(2) Um reostato de cursor tem resistência elétrica igual a 20Ω , quando o fio que o constitui tem comprimento igual a 25 cm . Qual a resistência elétrica do reostato para um comprimento de fio de $2,0 \text{ m}$?

(3) A resistência elétrica de um resistor de fio metálico é de 60Ω . Cortando-se um pedaço de 3 m de fio, verifica-se que a resistência do resistor passa a ser 15Ω . Calcule o comprimento do fio.

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Até agora aprendemos a trabalhar com apenas um resistor. Na prática teremos circuitos com vários resistores ligados entre si, constituindo o que chamamos de uma associação de resistores. Portanto, a partir de agora, iremos trabalhar com dois tipos básicos de associação: a *associação em série* e a *associação em paralelo*. Após o estudo minucioso desses dois tipos passaremos a resolver problemas com associações mistas (série mais paralelo).



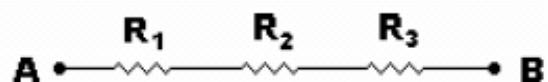
Estaremos preocupados em determinar o valor da chamada resistência equivalente a uma dada associação; entende-se por resistência equivalente a uma única resistência que submetida à mesma tensão da associação deverá ser percorrida pela mesma corrente.

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE

Um grupo de resistores está associado em série quando estiverem ligados de tal forma que sejam percorridos pela mesma corrente elétrica.

Consideremos três resistores, associados em série:

Os três resistores serão percorridos pela mesma corrente elétrica e, portanto, cada resistor possuirá uma d.d.p. correspondente ao valor de sua resistência.



Usaremos a seguinte nomenclatura:

NOMENCLATURA:

$i \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica que atravessa os resistores

$U \rightarrow$ tensão elétrica total

$R_1, R_2, R_3 \rightarrow$ resistência elétrica 1, 2 e 3

$U_1, U_2, U_3 \rightarrow$ tensão elétrica 1, 2 e 3

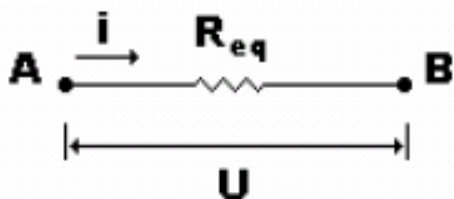
Como a corrente é a mesma em cada resistor, podemos cortá-la na equação. Portanto, para associações em série, calculamos a resistência equivalente da seguinte maneira:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Numa associação em série, a d.d.p. total U_{AB} é igual a soma das d.d.p.s. individuais de cada resistor:

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3$$

Para determinarmos a resistência equivalente R_{eq} , ou seja, aquela que submetida a mesma tensão U é atravessada pela mesma corrente i , devemos proceder da seguinte maneira:



Sabemos que a intensidade da corrente elétrica é a mesma nos três resistores. Aplicando a 1ª lei de Ohm nas resistências, temos:

$$U_1 = R_1 \cdot i \quad U_2 = R_2 \cdot i$$

$$U_3 = R_3 \cdot i$$

Substituindo as expressões anteriores na equação da tensão elétrica total

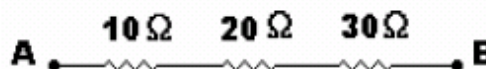
$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3$, obtemos:

$$R_{eq} \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i$$

Obs: esta equação é válida para um número qualquer de resistores.

EXERCÍCIOS

1) Na associação de resistores dada a seguir, a d.d.p. entre os pontos A e B é igual a 120 V.



- determine a resistência equivalente entre os pontos A e B;
- determine a intensidade da corrente no trecho AB;
- qual a d.d.p. em cada resistor?

2) Têm-se 16 lâmpadas, de resistência elétrica 2Ω cada uma, para associar em série, afim de enfeitar uma árvore de Natal. Cada lâmpada suporta, no máximo, corrente elétrica de intensidade 3,5 A.

- o que acontece com as demais lâmpadas se uma delas se queimar?
- qual a resistência elétrica da associação?
- qual a d.d.p. máxima a que pode ser submetida a associação, sem perigo de queima de nenhuma lâmpada?
- qual a d.d.p. a que cada lâmpada fica submetida nas condições do item anterior?

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

Um grupo de resistores está associado em paralelo quando todos eles estiverem submetidos a uma mesma diferença de potencial elétrico (d.d.p.).

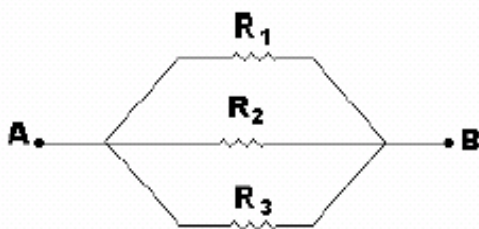
Sabemos que intensidade de corrente elétrica total no circuito é a soma da corrente elétrica em cada resistor, ou seja:

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

As tensões correspondentes as resistências 1, 2 e 3 são iguais:

$$U_{AB} = U_1 = U_2 = U_3$$

Considere 3 resistores associados em paralelo:



A intensidade de corrente elétrica é dividida para cada ramo (caminho) inversamente proporcional ao valor de cada resistência elétrica, mas a d.d.p. é igual para todos os resistores.

Da 1ª lei de Ohm sabemos que $i = \frac{U}{R}$,

logo:

$$i_1 = \frac{U}{R_1} \quad i_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{U}{R_3} \quad i = \frac{U}{R_{eq}}$$

Substituindo as expressões anteriores na equação da corrente elétrica, temos:

$$\frac{U_{AB}}{R_{eq}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3}$$

Como a d.d.p. em cada ramo é a mesma, podemos cortá-las. Portanto para associações em paralelo, calculamos a resistência equivalente da seguinte forma:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

NOMENCLATURA:

$i \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica total.

$U \rightarrow$ tensão elétrica total.

$R_1, R_2, R_3 \rightarrow$ resistência elétrica 1, 2 e 3.

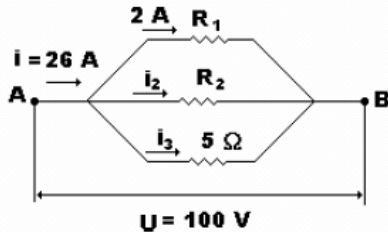
$i_1, i_2, i_3 \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica para os resistores 1, 2 e 3.

EXERCÍCIOS

1) Três resistores de resistências elétricas $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 8 \Omega$ e $R_3 = 10 \Omega$ são associados em

paralelo. A associação é percorrida por uma corrente de intensidade de 20 A. Determine:
 (a) a resistência equivalente;
 (b) a d.d.p. a que está submetida a associação;
 (c) a intensidade da corrente que percorre cada um dos resistores;
 (d) a d.d.p a que está submetido cada um dos resistores.

2) Para a associação esquematizada na figura,



determine:

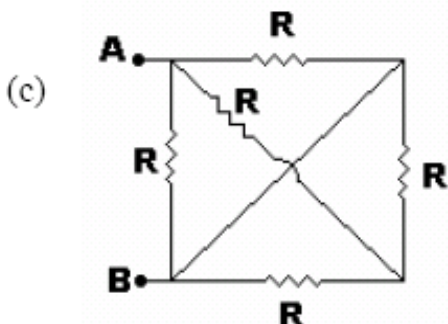
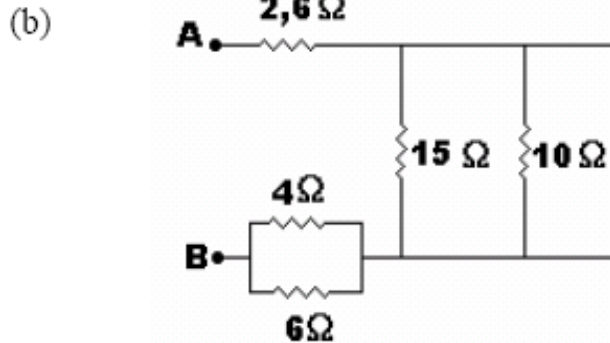
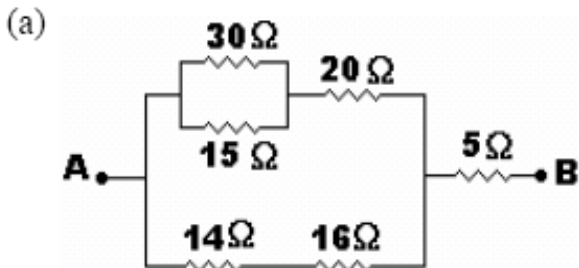
- (a) a resistência elétrica R1;
- (b) a intensidade de corrente i3;
- (c) a intensidade de corrente i2;
- (d) a resistência elétrica R2;
- (e) a resistência equivalente da associação

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES MISTA

Na maioria dos exercícios e na prática do dia-a-dia encontraremos associações em série e paralelo no mesmo circuito, este tipo de associação é chamada mista.

EXERCÍCIO

1) Determine a resistência equivalente entre os pontos A e B em cada caso abaixo:

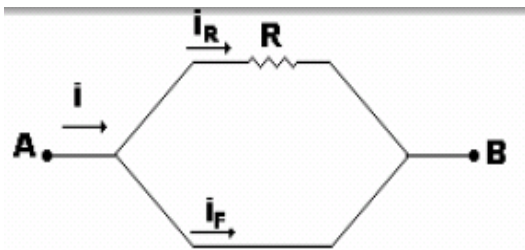


Dado que $R = 12 \Omega$

AMPERÍMETRO E VOLTÍMETRO – MEDIÇÕES ELÉTRICAS

CURTO-CIRCUITO

Em algumas associações de resistores, poderemos encontrar um resistor em curto-circuito; isto ocorre quando tivermos um resistor em paralelo com um fio sem resistência.



Como o fio não possui resistência, não há dissipação de energia no trecho AB, portanto:

- Potencial Elétrico em A é igual em B, portanto a diferença de potencial elétrico entre esses pontos é igual a zero e a intensidade de corrente elétrica no resistor também será zero:

$$V_A = V_B \Rightarrow U_{AB} = 0 \Rightarrow i_R = 0$$

- Como a corrente no resistor é zero a corrente no fio sem resistor será a corrente total:

Importante:

Havendo curto-circuito, toda a corrente elétrica do circuito se desvia pelo condutor de resistência nula. Para todos efeitos práticos é como se o resistor não estivesse associado no circuito. Num novo esquema do circuito, podemos considerar os pontos ligados pelo condutor (A e B) como coincidentes, deixando de representar o resistor.

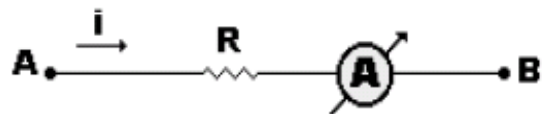
Na prática são utilizados nos circuitos elétricos aparelhos destinados a medições elétricas, chamados de forma genérica galvanômetros. Quando este aparelho é destinado a medir intensidade de corrente elétrica, ele é chamado de Amperímetro. Será considerado ideal, quando sua resistência interna for nula.

Como ligar um amperímetro?

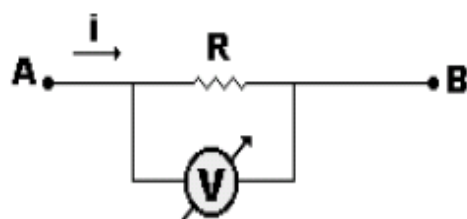
Devemos ligar um amperímetro em série no circuito, fazendo com que a corrente elétrica passe por ele e então registre o seu valor. É exatamente por isso que num amperímetro ideal a resistência interna deve ser nula, já que o mínimo valor existente de resistência mudará o resultado marcado no amperímetro. Sua representação é feita da seguinte forma:

Como ligar um voltímetro?

Quando o aparelho é destinado a medir a d.d.p. entre dois pontos de um circuito, ele é chamado de Voltímetro. Será considerado ideal, quando possuir resistência interna infinitamente grande.

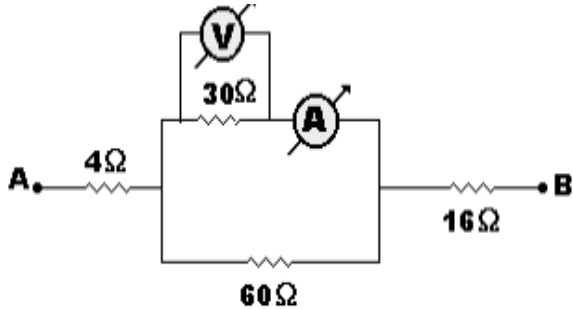


Devemos ligar um voltímetro em paralelo ao resistor que queremos medir sua d.d.p., fazendo com que nenhuma corrente elétrica passe por ele. É exatamente por isso que no caso ideal ele deve possuir resistência elétrica infinita, fazendo com que a corrente elétrica procure o caminho de menor resistência. Sua representação num circuito é dada do seguinte modo:

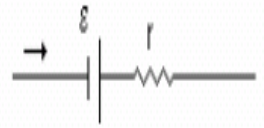


EXERCÍCIO

- 1) No circuito dado a seguir, determine a indicação no amperímetro e no voltímetro (considere os dispositivos ideais). Dado que a tensão entre A e B é igual a 120 V.



Esquemáticamente temos:



Observe que a força eletromotriz ε somente será igual a tensão U lançada ao circuito externo, caso $i = 0$, ou seja, não haja corrente no circuito. Seria o caso de um circuito aberto, em que o gerador não esteja “ligado”. Portanto, um gerador fornecerá sempre uma tensão de valor inferior a sua força eletromotriz.

GERADORES

Como já foi falado anteriormente o Gerador é um dispositivo elétrico que possui a função de transformar energia qualquer em energia elétrica, como exemplo, podemos citar a pilha que transforma energia química em energia elétrica.

É importante dizer que o Gerador como sendo um dispositivo elétrico está sujeito a resistência elétrica, ou seja, energia dissipada. Até agora não considerávamos esta dissipação.

A d.d.p. realmente criada dentro do gerador é chamada de força eletromotriz (ε). Para sabermos quanto é liberada para fora do Gerador devemos descontar a parte dissipada pela resistência interna (r), logo teremos:

$$U = \varepsilon - ri$$

NOMENCLATURA:

$U \rightarrow$ d.d.p. fornecida pelo gerador

$\varepsilon \rightarrow$ força eletromotriz

$r \rightarrow$ resistência interna do gerador

$i \rightarrow$ corrente elétrica que atravessa o gerador.

RECEPTORES

Receptor é um dispositivo elétrico que possui a função de transformar energia elétrica em energia qualquer. Como exemplo, podemos citar o liquidificador, que transforma energia elétrica em energia cinética, a televisão que transforma energia elétrica em sonora e luminosa e outros dispositivos.

É importante dizer que o Receptor, como sendo um dispositivo elétrico, está sujeito a resistência elétrica, ou seja, energia dissipada. Portanto para o seu funcionamento correto ele deverá receber a energia normal de funcionamento mais a parte que irá dissipar.

A d.d.p. realmente utilizada por um receptor para cumprir sua função é chamada de força contra-eletromotriz (ε'). Para sabermos quanto o receptor deve receber para seu funcionamento correto devemos considerar a força contra-eletromotriz mais a d.d.p. dissipada por sua resistência interna (r'), logo teremos:

$$U = \varepsilon' + r'i$$

Esta equação é chamada de Equação do Receptor, onde:

- VI. Determinar o que se pede em seguida no problema (Geralmente o que marca Voltímetros e Amperímetros).

O Cálculo da corrente total é feito da seguinte forma:

$$i = \frac{\sum \varepsilon - \sum \varepsilon'}{\sum R_{eq}}$$

Onde \sum é o sinal de somatório.

NOMENCLATURA:

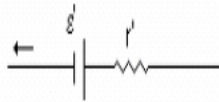
$U \rightarrow$ d.d.p. recebida pelo receptor

$\varepsilon' \rightarrow$ força contra-eletromotriz

$r' \rightarrow$ resistência interna do receptor

$i \rightarrow$ corrente elétrica que atravessa o receptor.

Esquemáticamente temos:



Observe que no caso do receptor, a força contra-eletromotriz ε' do aparelho será menor que a d.d.p. U recebida pelo circuito ao qual está ligado. Somente será igual caso a corrente i seja nula.

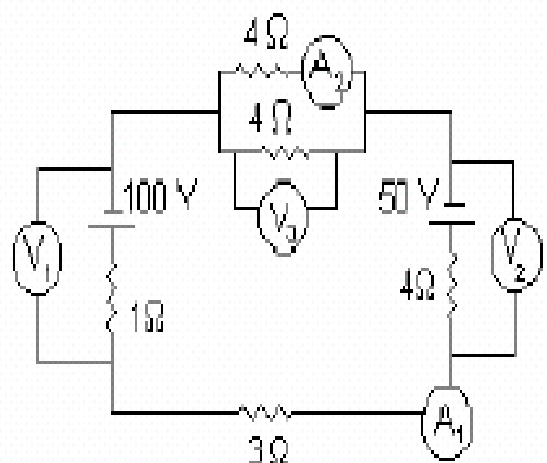
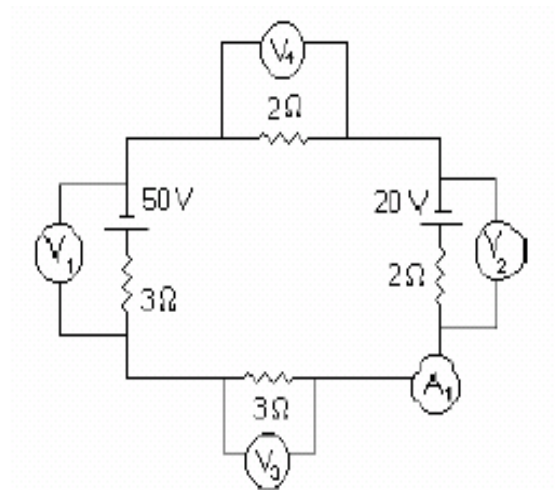
Circuito gerador, receptor e resistor

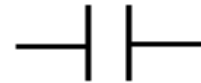
Para resolvermos circuitos com geradores, receptores e resistores, devemos proceder da seguinte forma:

- I. Analisar e separar os geradores, os receptores e os resistores.
- II. Observar o sentido da corrente elétrica quando tiver mais de um receptor ou gerador.
- III. Somar todos os valores de força eletromotriz (ε) e todos os valores de força contra-eletromotriz (ε').
- IV. Determinar a Resistência equivalente do circuito.
- V. Determinar a corrente elétrica total do circuito.

EXERCÍCIOS

- 1) Determine o que marca cada amperímetro e cada voltímetro abaixo. Considere os aparelhos ideais.



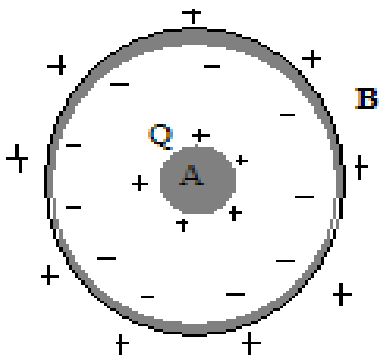


A capacitância ou capacidade eletrostática de um capacitor é o quociente constante da sua carga Q pela ddp U entre suas armaduras:

$$C = \frac{Q}{V}$$

CAPACITORES

Imagine uma esfera A carregada com uma carga positiva Q . Se a envolvermos com uma esfera B inicialmente neutra, cargas negativas e positivas serão induzidas nas superfícies interna e externa desta esfera, respectivamente. A carga na superfície interna da esfera B é igual a $-Q$ e na externa vale $+Q$.



Todo par de condutores A e B , nestas condições, recebem o nome de capacitor ou condensador.

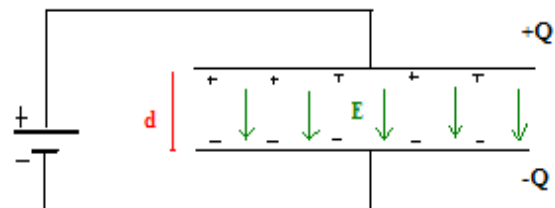
A função de um capacitor é, portanto, a de armazenar cargas elétricas.

Os condutores A e B chamam-se *armaduras do capacitor*. A é a armadura positiva e B a armadura negativa. As armaduras são separadas umas das outras por um isolante. Dependendo da natureza do isolante, temos capacitores de papel, mica, óleo etc.

Um capacitor é representado pelo símbolo abaixo:

CAPACITOR PLANO

O capacitor plano é formado por duas armaduras planas, iguais, cada uma de área A , colocadas paralelamente a uma distância d .



Entre as armaduras existe um isolante, que inicialmente, será considerado o vácuo.

Ao ser ligado ao gerador, o capacitor se carrega. Entre suas placas, estabelece-se um campo elétrico uniforme \vec{E} .

A capacitância eletrostática C de um capacitor plano:

- É diretamente proporcional à área A das armaduras;
- É inversamente proporcional à distância d entre elas;
- Varia com a natureza do isolante (no caso em estudo, o vácuo).

Assim, temos:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

A constante de proporcionalidade ϵ_0 é denominada permissividade absoluta do vácuo e vale:

$$\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ F / m}$$

A expressão para o campo elétrico entre as placas do capacitor é:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

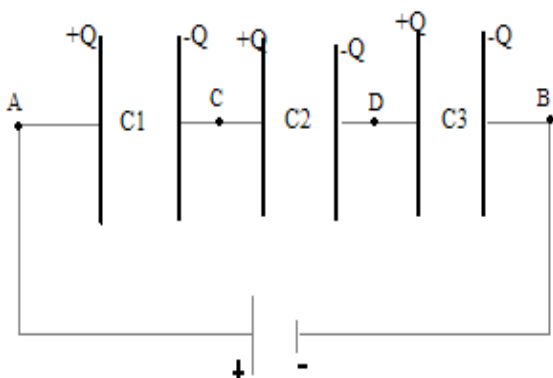
Onde $\sigma = \frac{Q}{A}$ é a densidade elétrica superficial.

ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Os capacitores, analogamente aos resistores e geradores, podem ser associados em série e paralelo. Denomina-se capacitor equivalente da associação aquele “que”, eletrizado com a mesma carga que a associação, suporta entre seus terminais a mesma ddp.

ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES EM SÉRIE

Na associação em série, a armadura negativa de um capacitor está ligada à armadura positiva do seguinte e assim sucessivamente.



Nessas condições, podemos concluir:

Na associação em série, todos os capacitores apresentam mesma carga Q .

A associação está sob ddp $U = V_A - V_B$, que é a mesma ddp do capacitor equivalente, cuja capacitância é C_s . Podemos escrever:

$$V_A - V_B = (V_A - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_B)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Na associação em série, a ddp aplicada à associação é a soma das ddps dos capacitores associados.

Assim, a associação em série permite subdividir a ddp, solicitando menos de cada capacitor.

Sendo $U = \frac{Q}{C}$ em qualquer capacitor, aplicando esta fórmula em $U = U_1 + U_2 + U_3$, resulta:

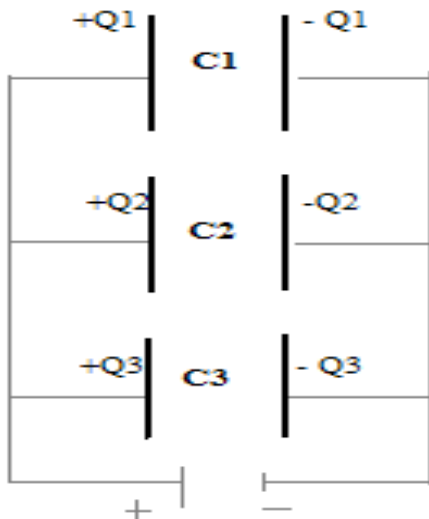
$$\frac{Q}{C_s} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Esta fórmula permite determinar a capacitância do capacitor equivalente.

ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES EM PARALELO

Na associação em paralelo, as armaduras positivas estão ligadas entre si, apresentando o mesmo potencial V_A , e as armaduras negativas também estão ligadas entre si, possuindo o potencial comum V_B .



Portanto:

Na associação em paralelo, todos os capacitores apresentam a mesma ddp: $U = V_A - V_B$.

A carga Q fornecida à associação divide-se em Q_1 , Q_2 e Q_3 , localizando-se nas armaduras positivas dos capacitores. Portanto, podemos escrever:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Como $Q_1 = C_1U$, $Q_2 = C_2U$, $Q_3 = C_3U$ e $Q = C_pU$, onde C_p é a capacitância do capacitor equivalente da associação, temos:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

Esta fórmula determina a capacitância do capacitor equivalente.

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA ARMAZENADA POR UM CAPACITOR

O gerador, ao carregar o capacitor, fornece energia potencial elétrica W . Essa energia é proporcional ao produto da carga armazenada no capacitor pela ddp a ele submetida, ou seja:

$$W = \frac{QU}{2}$$

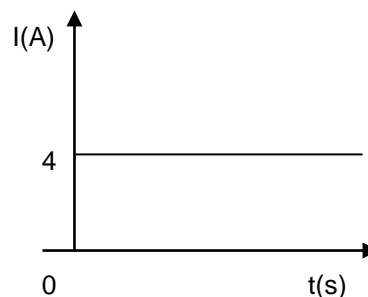
Sendo $Q = CU$, resulta:

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

Note que a energia potencial elétrica de uma associação qualquer de capacitores é a soma das energias potenciais elétricas dos capacitores associado e ainda, igual à energia potencial elétrica do capacitor equivalente.

Exercícios

1. A corrente elétrica que percorre um condutor em função do tempo é fornecida pelo gráfico:

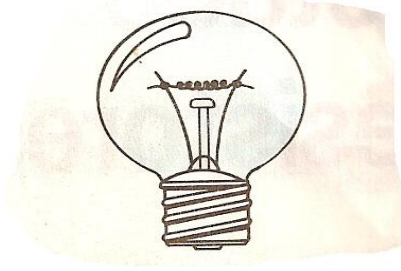


Determinar o número de elétrons que atravessam uma seção reta desse condutor em 5 segundos.

- a) $1,20 \cdot 10^{20}$
- b) $1,25 \cdot 10^{20}$
- c) $1,00 \cdot 10$

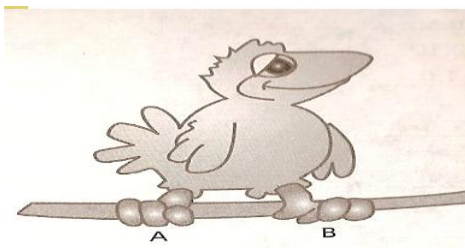
d) $5.0 \cdot 10^{10}$

2. Pelo filamento de uma lâmpada incandescente flui uma corrente elétrica contínua de intensidade i tal que, em cada hora, atravessam esse filamento $12.5 \cdot 10^{20}$ elétrons. Determine i .



- a) $1/20$ A
- b) $3/18$ A
- c) $1/18$ A
- d) $2/20$ A

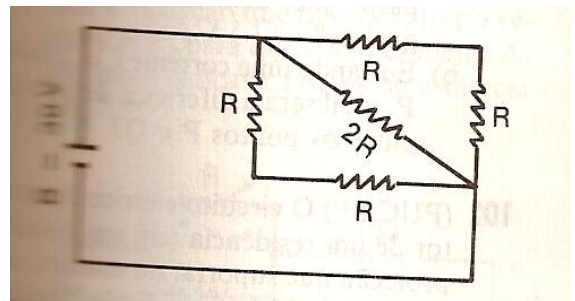
3. Os passarinhos, mesmo pousando sobre fios condutores desencapados de alta tensão, não estão sujeitos a choques elétricos que possam causar-lhes algum dano. Qual das alternativas indica uma explicação correta para o fato?



- A) A Diferença de potencial elétrico entre os dois pontos de apoio do pássaro no fio (pontos A e B) é quase nula.

- B) A Diferença de potencial elétrico entre os dois pontos de apoio do pássaro no fio (pontos A e B) é muito elevada.
- C) A resistência elétrica do corpo do pássaro é praticamente nula.
- D) O corpo do passarinho é um bom condutor de corrente elétrica.
- E) A corrente elétrica que circula nos fios de alta tensão é muito baixa.

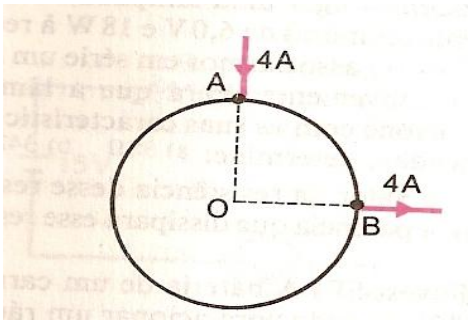
4. No circuito dado, R são resistores de resistência 15Ω e B é uma bateria de $30V$. Calcule a intensidade de corrente no resistor de 30Ω .



- a) 2 A
- b) 3 A
- c) 4 A
- d) 0,5 A
- e) 1 A

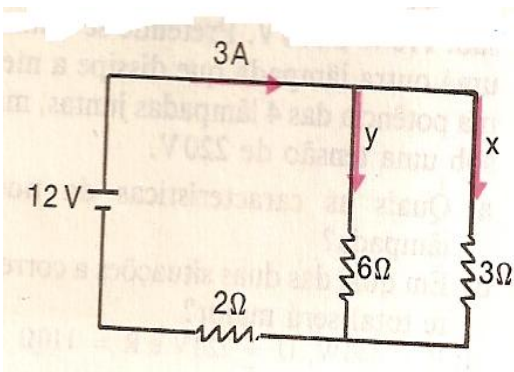
5. Um condutor homogêneo de resistência 8Ω tem forma de circunferência. Uma corrente $I = 4^a$ chega por um fio retilíneo ao ponto A e sai pelo ponto B por outro fio retilíneo perpendicular, conforme a figura. As resistências dos fios retilíneos podem ser consideradas desprezíveis.

Calcule a intensidade das correntes nos dois arcos de circunferência compreendidos entre A e B.



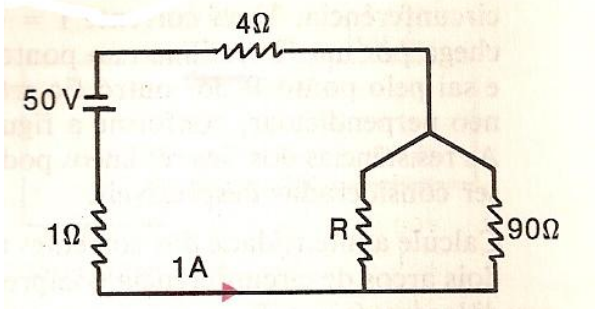
- a) 1 A e 3 A
- b) 3 A e 1 A
- c) 2 A e 1 A
- d) 1 A e 2 A
- e) 1 A e 1 A

6. Determine as intensidades das correntes x e y indicadas na figura.



- a) 2 A e 3 A
- b) 3 A e 1 A
- c) 1 A e 2 A
- d) 2 A e 1 A

7. No circuito indicado, qual é o valor da resistência R , em ohms:



- a) 80Ω
- b) 90Ω

- c) 1Ω
- d) 50Ω
- e) 4Ω

8. O circuito elétrico de um setor de uma residência tem um fusível de proteção que suporta, no Máximo, uma corrente de 20 A. Estão "ligados" ao mesmo tempo um televisor, quatro lâmpadas L e uma torneira elétrica. Será possível ainda ligarmos o ferro elétrico do desenho, sem que o fusível "queime"? Justifique.

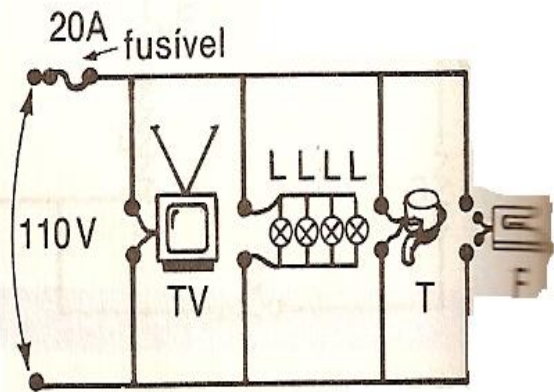
Dados: resistências: $R_{TV} = 980\Omega$

$R_L = 80\Omega$

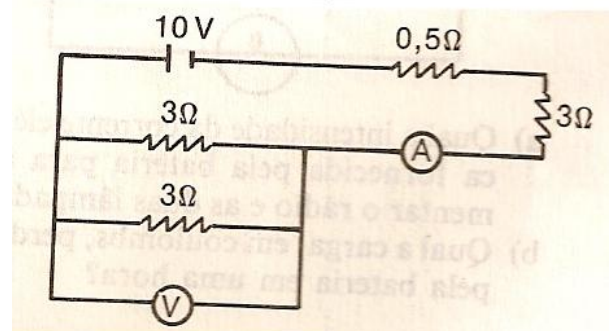
(cada lâmpada)

$R_T = 20\Omega$

$R_F = 20\Omega$

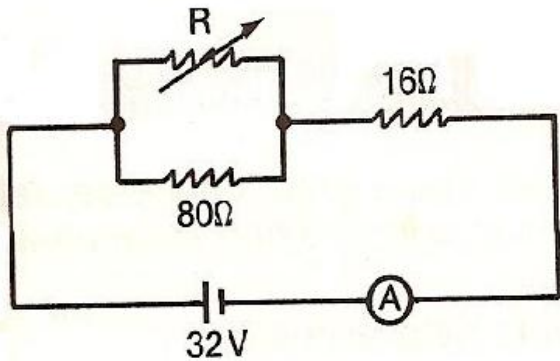


9. No circuito da figura, determine a corrente no amperímetro A e a tensão no voltímetro V .



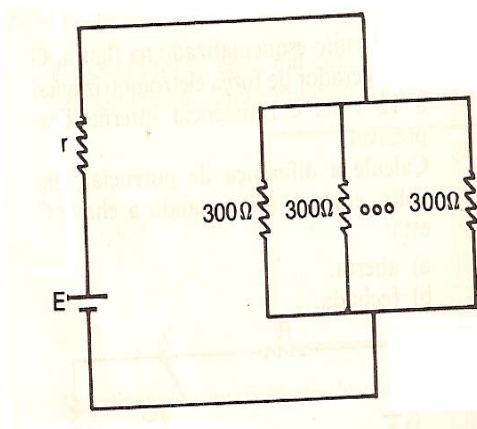
- a) 3 A e 4 V
- b) 1 A e 3 V
- c) 2 A e 2 V
- d) 2 A e 1 V
- e) 2 A e 3 V

10. No circuito abaixo, determine a variação que deverá sofrer a resistência R , para que o amperímetro A , que antes indicava 1 A , passe a indicar 2 A .



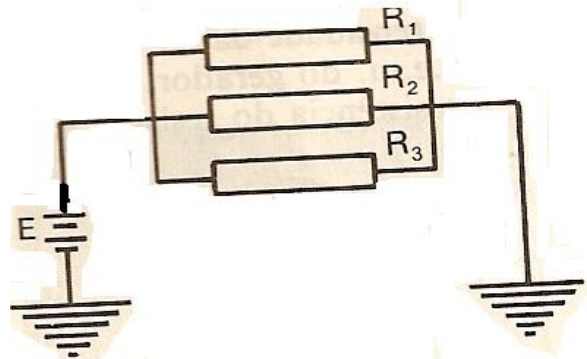
- a) 10Ω
- b) 15Ω
- c) 20Ω
- d) 25Ω
- e) 30Ω

11. Uma bateria alimenta um circuito formado por 100 lâmpadas ligadas em paralelo, tendo cada resistência 300 ohms . Substituindo essa associação por outra, de 150 lâmpadas iguais às anteriores, também ligadas em paralelo, observa-se que a diferença de potencial nos terminais da bateria cai de 225 V para 210 V . Supondo desprezíveis as resistências dos fios de ligação, Calcule a resistência interna r da bateria e a força eletromotriz E da bateria e marque a opção correta.



- a) $0,5\Omega$ e $262,5\text{ V}$
- b) $0,5\Omega$ e 160 V
- c) 1Ω e 160 V
- d) $1,5\Omega$ e 100 V
- e) 1Ω e 100 V

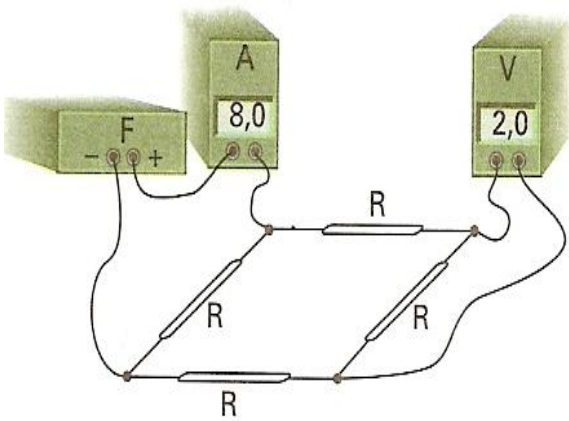
12. Uma bateria de f.e.m. $E = 12\text{ V}$ e resistência interna desprezível tem seu terminal negativo ligado à terra. Ao terminal positivo estão ligadas em paralelo três resistências que se ligam no outro extremo a um fio que vai para a terra. A corrente fornecida pela bateria é de $6,0\text{ A}$ e as resistências estão entre si na razão $R_2 = 1,5 R_1$ e $R_3 = 2 R_2$.



Qual é o valor em ohms, de R_1 , R_2 e R_3 :

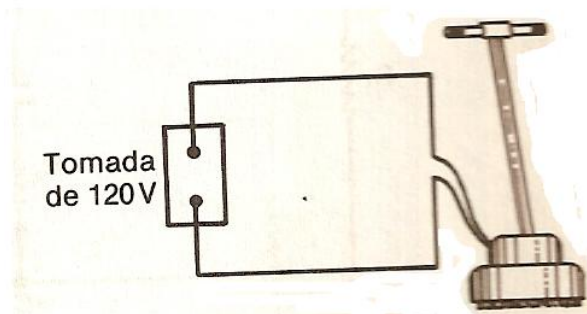
- a) 4Ω , 6Ω , 12Ω
- b) 4Ω , 4Ω , 4Ω
- c) 5Ω , 8Ω , 12Ω
- d) 5Ω , 6Ω , 10Ω
- e) 4Ω , 6Ω , 12Ω

13. Considere a montagem da figura, composta por 4 resistores iguais a R , uma fonte de tensão F , um medidor de corrente A , um medidor de tensão V e fios de ligação. O medidor de corrente indica $8,0\text{ A}$ e o de tensão $2,0\text{ V}$. Pode-se afirmar que a potência dissipada nos 4 resistores é, aproximadamente, de:



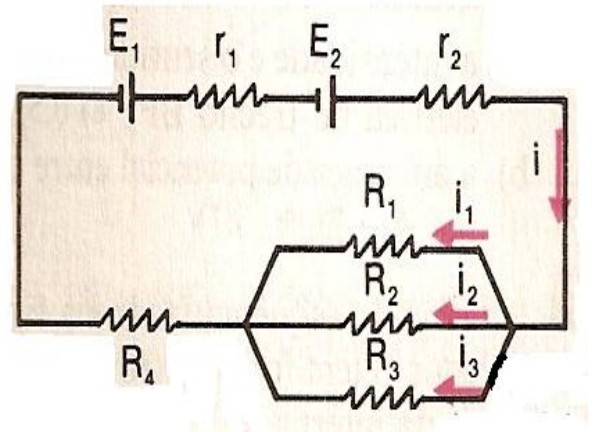
- a) 8 W
- b) 16 W
- c) 32 W
- d) 48 W
- e) 64 W

14. A figura esquematiza o circuito elétrico de uma enceradeira em movimento. A potência elétrica dissipada por ela é de 20 W e sua força contra-eletromotriz, 110 V. Qual é a resistência interna da enceradeira.



- a) 2 Ω
- b) 5 Ω
- c) 6 Ω
- d) 8 Ω
- e) 9 Ω

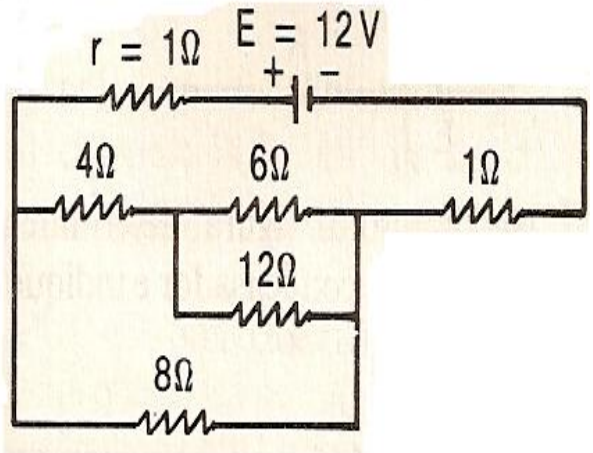
15. Considere o circuito da figura seguinte em que:
 $E_1 = 10 \text{ V}$; $r_1 = 2 \Omega$; $R_1 = 10 \Omega$; $R_3 = 20 \Omega$
 $E_2 = 10 \text{ V}$; $r_2 = 1 \Omega$; $R_1 = 10 \Omega$; $R_3 = 3 \Omega$



Determine:

- a) i, i_1, i_2 e i_3 ;
- b) o rendimento do gerador equivalente.

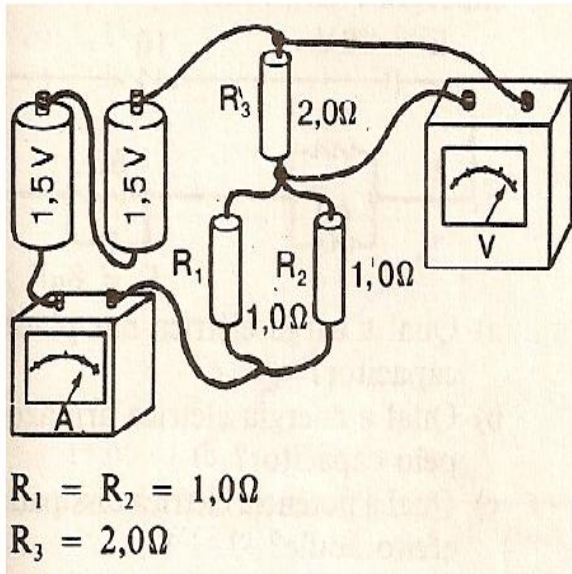
16. Qual é a intensidade da corrente na bateria do circuito abaixo.



- a) 3 A
- b) 1 A
- c) 2 A
- d) 4 A
- e) 5 A

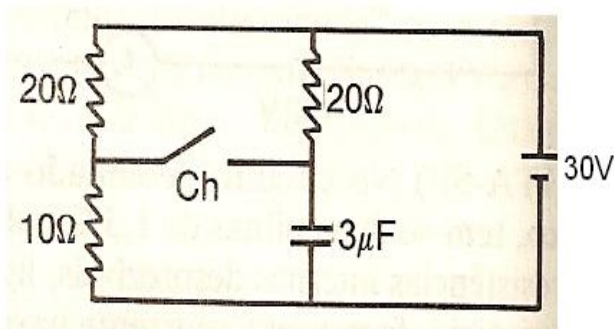
17. No circuito desenhado abaixo, tem-se duas pilhas de 1,5 V cada, de resistências internas desprezíveis, ligadas em série, fornecendo corrente para três resistores com valores indicados. Ao circuito estão ligados um voltímetro e um amperímetro de resistências

internas, respectivamente, muito alta e muito baixa. Qual é a leitura desses instrumentos:



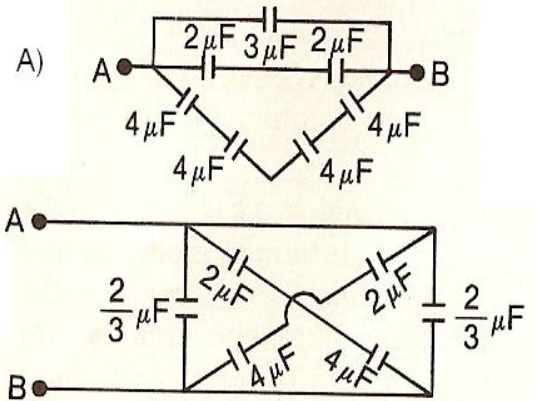
- a) 1,2 A e 2,4 V
- b) 1,2 A e 2,0 V
- c) 1,6 A e 2,4 V
- d) 2,2 A e 1,4 V
- e) 2,4 A e 1,2 V

18. Dado o circuito elétrico esquematizado na figura, obtenha:



- a) a carga no capacitor, enquanto a chave Ch estiver aberta;
- b) a carga final no capacitor, após o fechamento da chave.

19. Determine a capacidade equivalente das associações entre os pontos A e B.



Gabarito

- 53. B
- 54. C
- 55. A
- 56. E
- 57. A
- 58. D
- 59. B
- 60. $i = 16,61 \text{ A}$, logo podemos ligar o ferro
- 61. E
- 62. C
- 63. A
- 64. A
- 65. D
- 66. B
- 67. $i = 2 \text{ A}$, $i_1 = 0,8 \text{ A}$, $i_2 = 0,8 \text{ A}$ e $i_3 = 0,4 \text{ A}$
- 68. C
- 69. A
- 70. a) $90 \mu\text{C}$; b) $45 \mu\text{C}$
- 71. a) $5 \mu\text{C}$; b) $4 \mu\text{C}$

BIBLIOGRAFIA:

- Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga – Curso de Física Básica. Vol 3- 3ª Edição. Editora Harba

- Ramalho, Nicolau, Toledo – Os Fundamentos de Física . Vol 3 - 8ª Edição. Editora Moderna