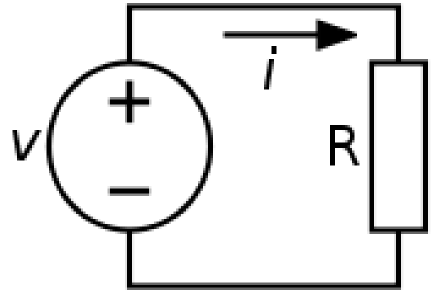
Universidade Federal do ABC

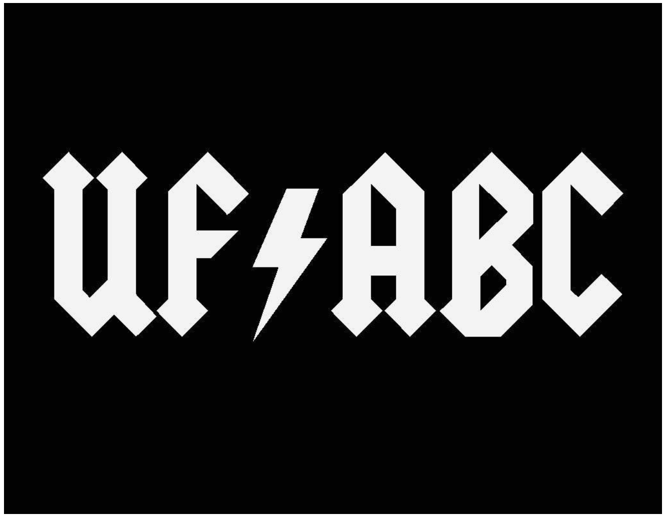
Fenômenos Eletromagnéticos

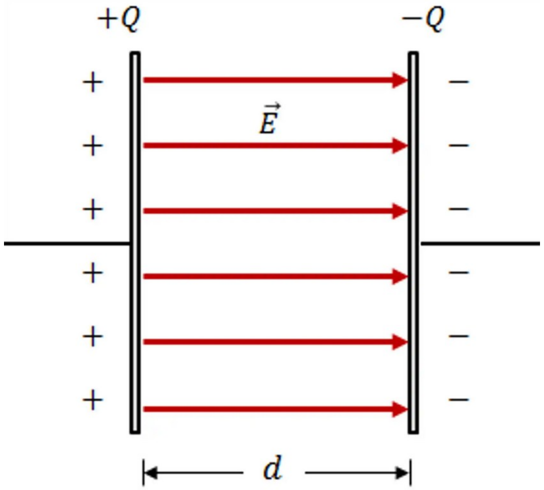
10. Fontes de FEM, Resistores em série e em paralelo, Leis de Kirchhoff, Circuito *RC*

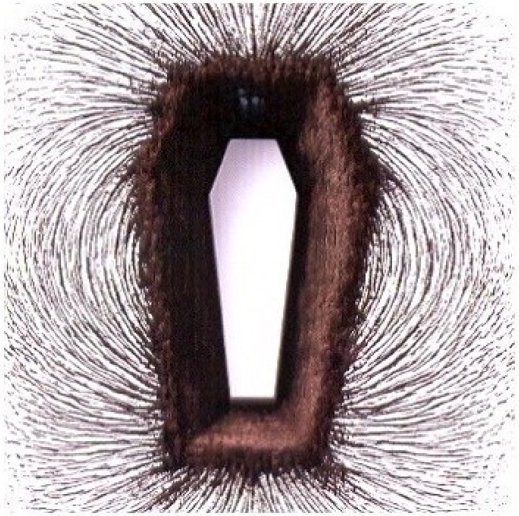
Prof. Pieter Westera
pieter.westera@ufabc.edu.br



http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/EM.html

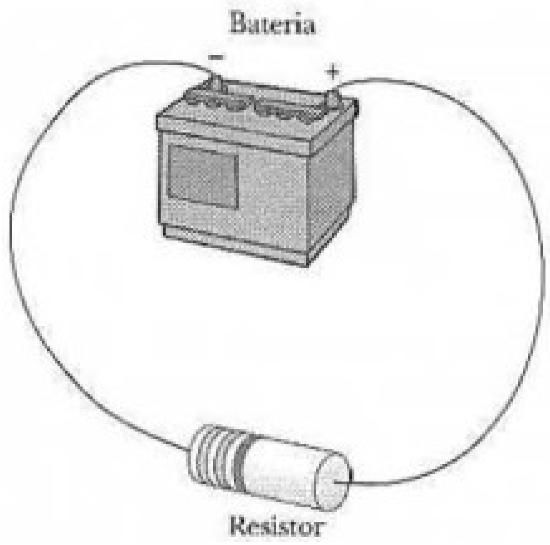






Fontes de FEM

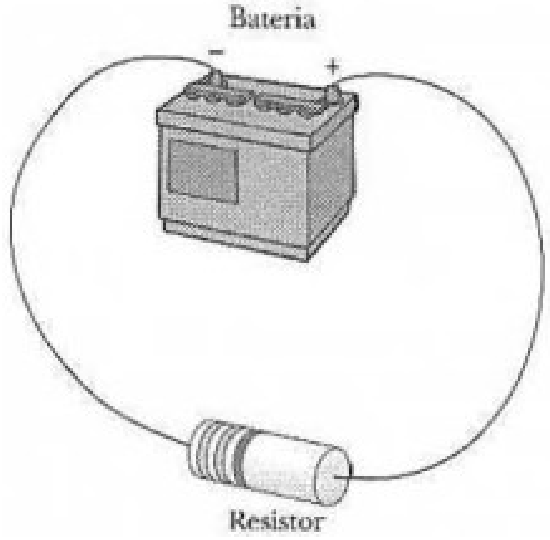
FEM: "Força EletroMotriz" $\mathcal{E}$
Na verdade, uma diferença de potencial/ tensão/voltagem fornecida por uma fonte como uma bateria, um gerador elétrico, etc., enquanto cargas o atravessam.
!!! Não é uma força !!!



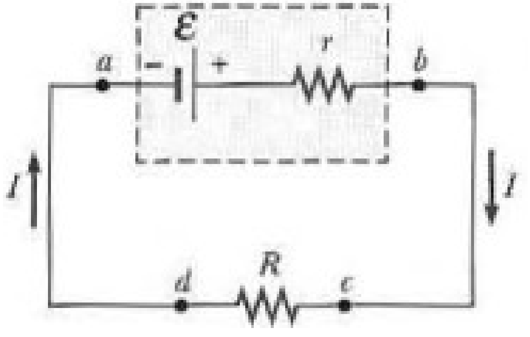
Uma fonte de fem pode ser vista como uma "bomba de carga".

Fontes de FEM

!!! A fem de uma bateria não é a diferença de potencial que ela fornece ao resto do circuito (neste exemplo o resistor e os fios), cuja resistência é, às vezes, chamada resistência de carga.
Já que a bateria tem uma resistência interna *r*, esta diferença de potencial é um pouco menor que a fem da bateria.



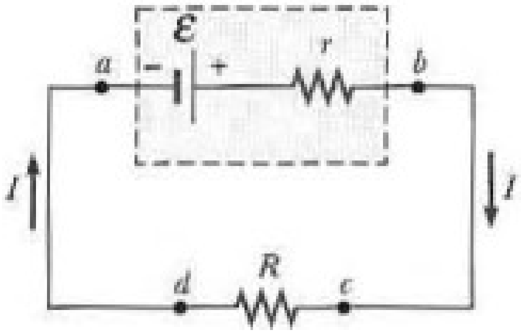
Dá para simbolizar o circuito por este diagrama:



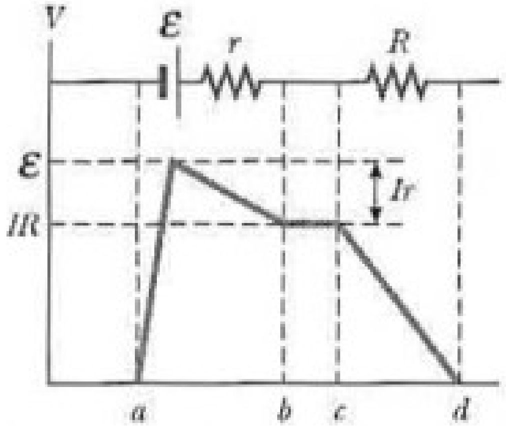
Assim: $\Delta V = V_b - V_a = \mathcal{E} - Ir$

Fontes de FEM

Para ilustrar isto melhor, podemos fazer um gráfico mostrando como o potencial varia ao longo do circuito.



$\Delta V = \mathcal{E} - Ir$
$=> \mathcal{E} = IR + Ir$
$=> I = \mathcal{E}/(R + r)$



Às vezes, i.e., quando a fonte de fem está sendo carregada por outra fonte e a direção da corrente é oposta à fem, podemos ter $\Delta V = \mathcal{E} + Ir$.

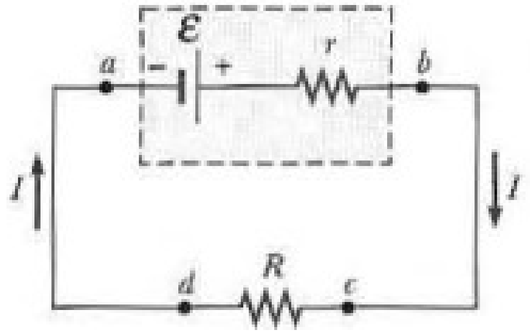
Fontes de FEM

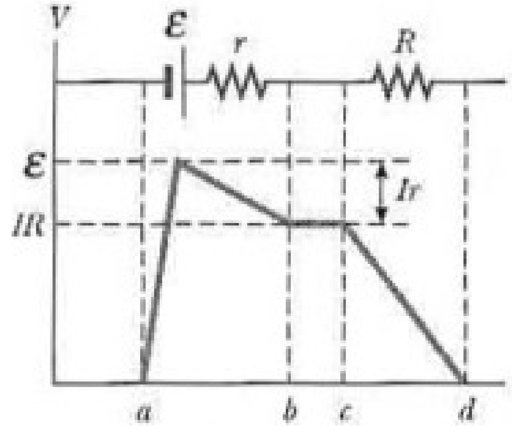
Multiplicando $\mathcal{E} = IR + Ir$ com a corrente, obtemos

$I\mathcal{E} = I^2R + I^2r = \mathscr{P}$.

Parte da potência fornecida pela bateria é inevitavelmente consumida pela resistência interna dela própria.

Na prática, em muitos casos,
a resistência interna é muito pequena comparada com a resistência de carga e pode ser desprezada.





Fontes de FEM

Enigma Rápido 21.7

Se a energia transferida para uma bateria carregável descarregada durante a carga for E, a energia total que sai da bateria para uma resistência elétrica durante uma utilização na qual a bateria descarrega completamente também será E?

Fontes de FEM

Enigma Rápido 21.7

Se a energia transferida para uma bateria carregável descarregada durante a carga for *E*, a energia total que sai da bateria para uma resistência elétrica durante uma utilização na qual a bateria descarrega completamente também será *E*?

Resposta:
Não, assim durante a carga como durante a utilização, a resistência interna causa perdas de energia.

Fontes de FEM

Enigma Rápido 21.8

Se os faróis estiverem ligados quando você ligar seu carro, por que eles ficam mais fracos quando o carro está dando a partida?

Fontes de FEM

Enigma Rápido 21.8

Se os faróis estiverem ligados quando você ligar seu carro, por que eles ficam mais fracos quando o carro está dando a partida?

Resposta:
Por que, na hora de dar a partida, a resistência total é maior do que quando apenas os faróis estão ligados
=> A corrente que passa pelo sistema elétrico do carro, incl. os faróis, é menor e os faróis ficam mais fracos.

Fontes de FEM

Exercício

(a) Qual é a corrente em um resistor de 5.60 Ω conectado a uma bateria que tenha uma resistência interna de 0.200 Ω, se a voltagem entre os terminais da bateria é de 10.0 V?
(b) Qual é a fem da bateria?

Fontes de FEM

Exercício

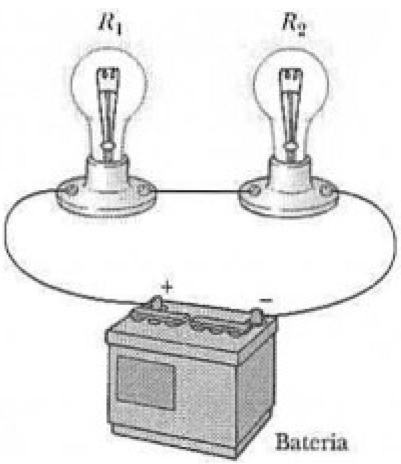
(a) Qual é a corrente em um resistor de 5.60 Ω conectado a uma bateria que tenha uma resistência interna de 0.200 Ω, se a voltagem entre os terminais da bateria é de 10.0 V?
(b) Qual é a fem da bateria?

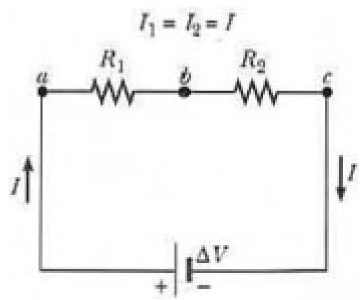
Solução:
(a) $I = \Delta V/R = 1.79$ A
(b) $\mathcal{E} = \Delta V + Ir = (1 + r/R)\Delta V = 10.4$ V

Resistores em Série e em Paralelo

Combinação em Série

Circuito Diagrama





A corrente passando pelos dois resistores é igual (nenhuma carga se acumula, surge ou some entre eles)
=> $I_1 = I_2 = I$

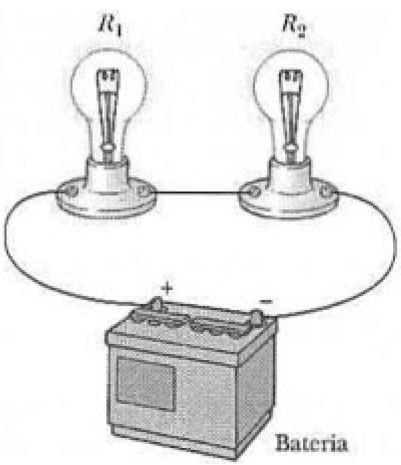
Diferenças de potencial:
$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$

=> Resistência equivalente
$R_{eq} = \Delta V/I = I(R_1 + R_2)/I = R_1 + R_2$

Resistores em Série e em Paralelo

Combinação em Série

Circuito



Diagrama

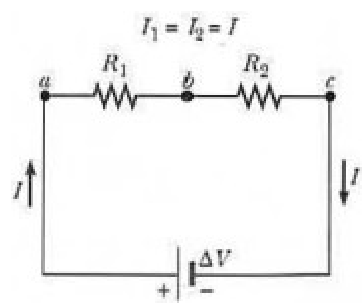
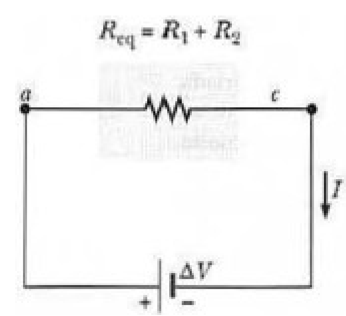


Diagrama Simplificado



A resistência equivalente de resistores ligados em série é a soma das resistências individuais.

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

Assim, R_{eq} é maior que qualquer das resistências individuais.

Fontes de FEM

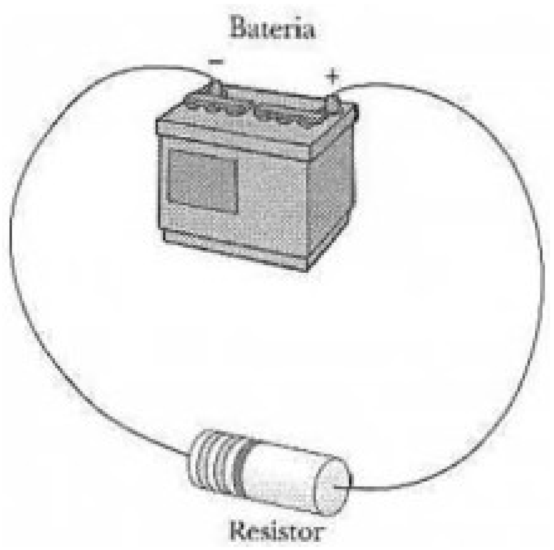
No circuito fonte-resistor do início da aula, os resistores de carga R e interno r podem ser interpretados como resistores em série:

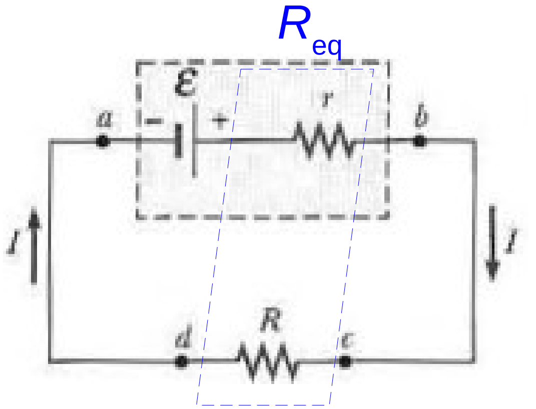
$R_{eq} = R + r$

$\Rightarrow I = \Delta V_{tot}/R_{eq} = \mathcal{E}/R_{eq} = \mathcal{E}/(R + r)$,

$\mathscr{P} = I^2 R_{eq} = I^2 R + I^2 r$

Os mesmos resultados que antes.

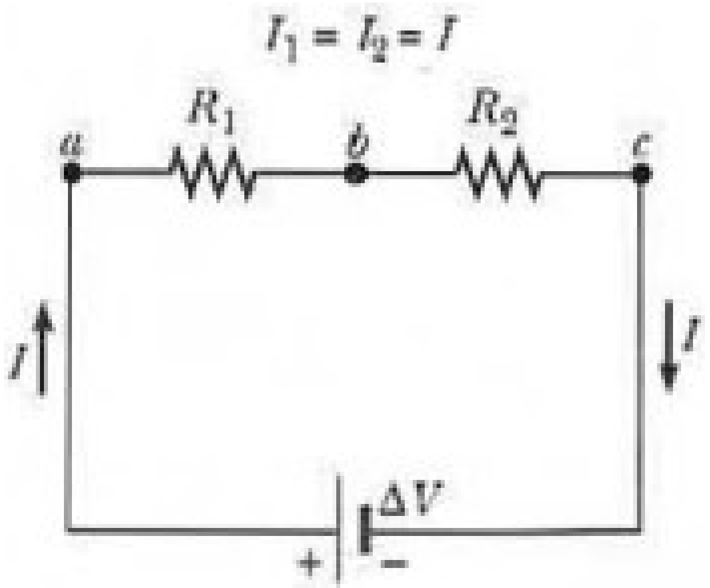




Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.9

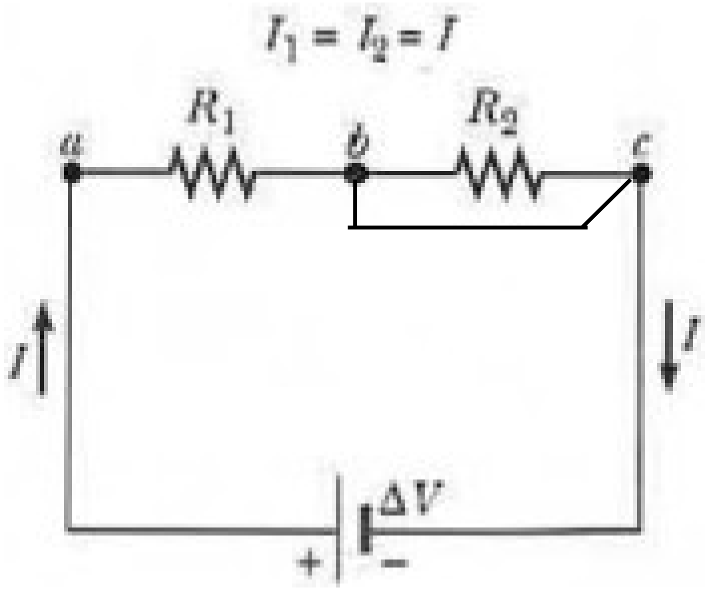
Se um pedaço de fio é usado para conectar os pontos *b* e *c* na figura, o brilho da lâmpada R_1 aumenta, diminui ou permanece o mesmo? O que acontece ao brilho da lâmpada R_2?



Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.9

Se um pedaço de fio é usado para conectar os pontos *b* e *c* na figura, o brilho da lâmpada R_1 aumenta, diminui ou permanece o mesmo? O que acontece ao brilho da lâmpada R_2?



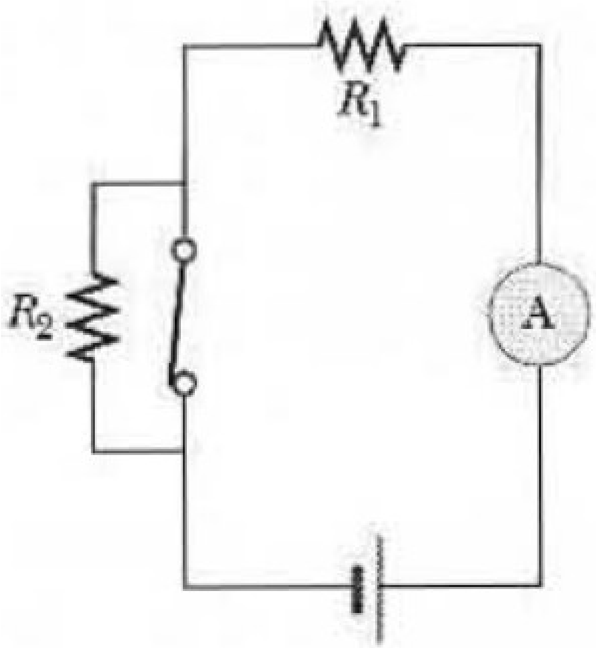
Resposta:

O brilho de R_1 aumenta, pois R_{eq} diminui e I aumenta.

A lâmpada R_2 apaga, pois a corrente pega o caminho "sem resistência" pelo novo fio.

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.10

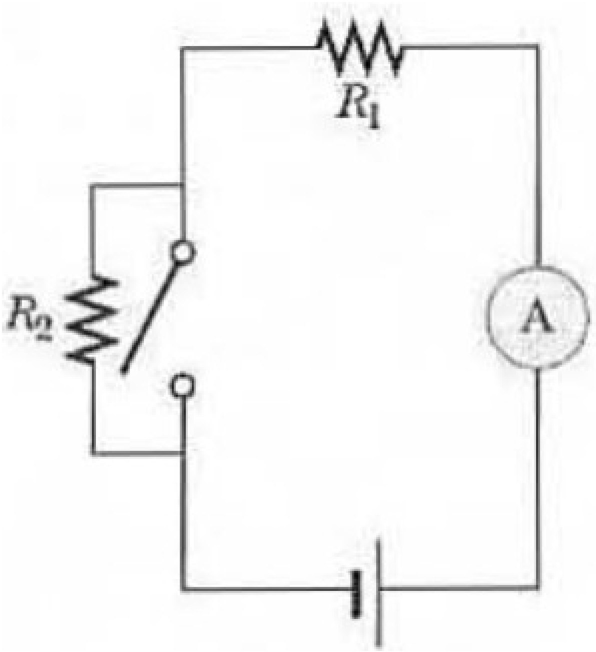


Com a chave fechada no circuito desta figura, nenhuma corrente circula por R_2 porque a corrente tem uma trajetória alternativa de resistência nula através da chave. Uma corrente circula por R_1 e é medida com o amperímetro (um aparelho para medir corrente) no lado direito do circuito. Se a chave for aberta, a corrente circulará por R_2. O que acontece na indicação do amperímetro quando a chave é aberta?

(a) A indicação sobe.
(b) A indicação desce.
(c) A indicação não muda.

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.10



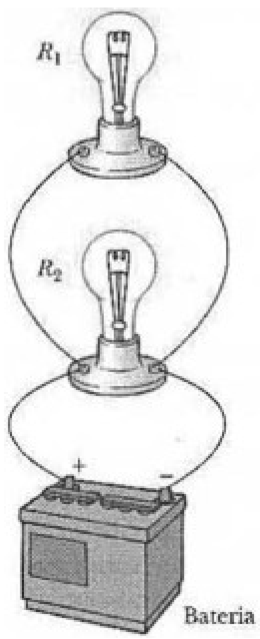
Com a chave fechada no circuito desta figura, nenhuma corrente circula por R_2 porque a corrente tem uma trajetória alternativa de resistência nula através da chave. Uma corrente circula por R_1 e é medida com o amperímetro (um aparelho para medir corrente) no lado direito do circuito. Se a chave for aberta, a corrente circulará por R_2. O que acontece na indicação do amperímetro quando a chave é aberta?

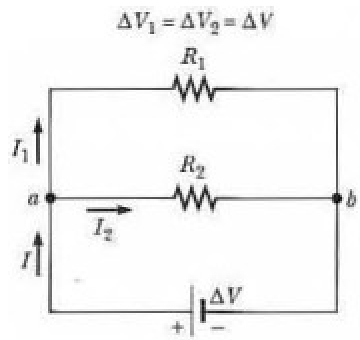
(a) A indicação sobe.
(b) A indicação desce. (já que R_{eq} aumenta)
(c) A indicação não muda.

Resistores em Série e em Paralelo

Combinação em Paralelo

Circuito   Diagrama





Os terminais dos resistores R_1 e R_2 estão conectados

=> no mesmo potencial

=> $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$

Corrente nos resistores R_1 e R_2:

$I_1 = \Delta V/R_1$, $I_2 = \Delta V/R_2$

=> $I = I_1 + I_2 = \Delta V/R_1 + \Delta V/R_2$

=> Resistência equivalente

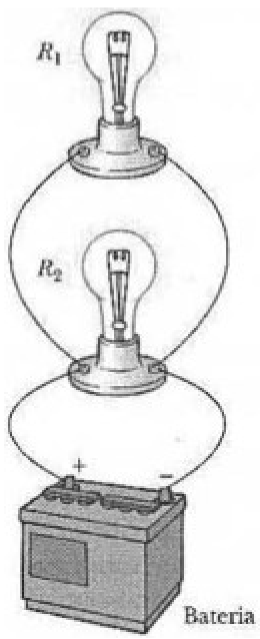
$1/R_{eq} = I/\Delta V = (\Delta V/R_1 + \Delta V/R_2)/\Delta V = 1/R_1 + 1/R_2$

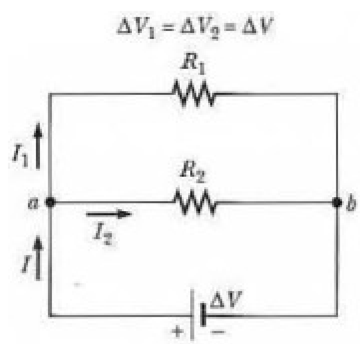
(ou $R_{eq} = (R_1 + R_2)/R_1R_2$)

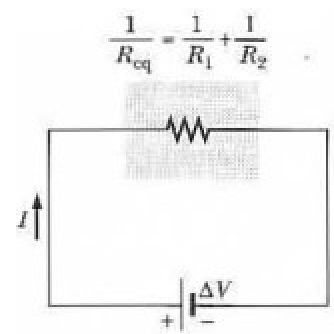
Resistores em Série e em Paralelo

Combinação em Paralelo

Circuito | Diagrama | Diagrama Simplificado







O inverso da resistência equivalente de resistores ligados em paralelo é a soma dos inversos das resistências individuais.

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + ...$$

Assim, R_{eq} é menor que qualquer das resistências individuais.

Resistores em Série e em Paralelo

Combinação em Paralelo

As tomadas na sua casa e nas extensões que você usa, e por isto, os aparelhos elétricos, estão todas ligadas em paralelo, para que:

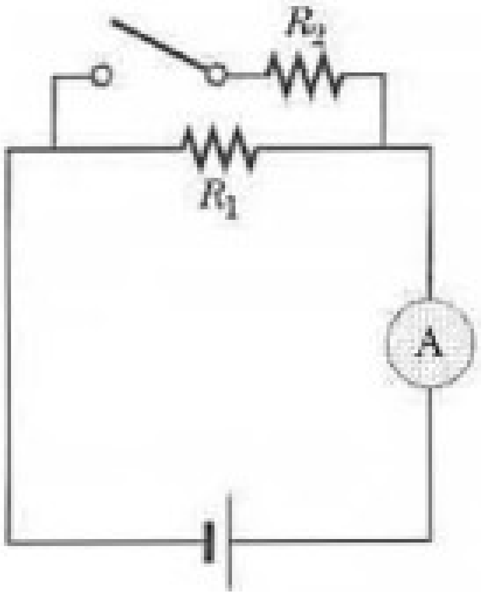
- serem operados com a diferença de potencial nominal (127 V ou 220 V), para aquela eles foram construídos.

- Caso um aparelho quebra ou é removido, o circuito não ser interrompido, e os demais continuem funcionando.

Em resultado, a corrente que flui na fonte de tudo é a soma das correntes passando pelos aparelhos, o que pode ser perigoso. Por isto, há disjuntores ou fusíveis em série com os conjuntos de tomadas.

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.11



Com a chave do circuito desta figura aberta, nenhuma corrente circula por R_2. Circula uma corrente por R_1 e essa corrente é medida com o amperímetro no lado direito do circuito.
Se a chave for fechada, circulará corrente por R_2.

O que acontece com a indicação no amperímetro quando a chave é fechada?

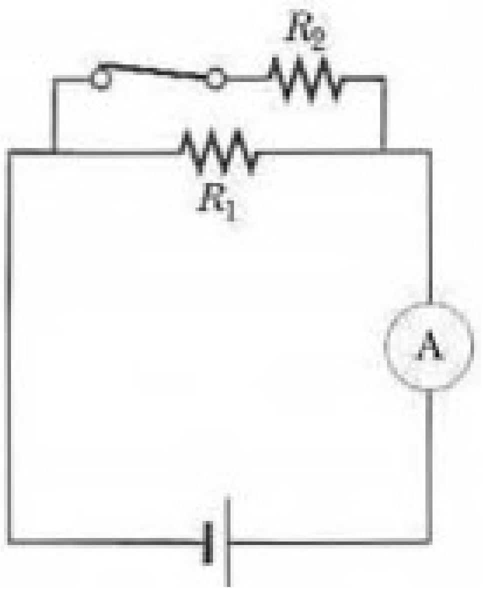
(a) A indicação sobe.

(b) A indicação desce.

(c) A indicação não muda.

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.11



Com a chave do circuito desta figura aberta, nenhuma corrente circula por R_2. Circula uma corrente por R_1 e essa corrente é medida com o amperímetro no lado direito do circuito.
Se a chave for fechada, circulará corrente por R_2.

O que acontece com a indicação no amperímetro quando a chave é fechada?

(a) A indicação sobe. (já que R_{eq} diminui)

(b) A indicação desce.

(c) A indicação não muda.

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.12

Você tem um grande suprimento de lâmpadas e uma bateria. Você começa com uma lâmpada conectada à bateria e observa seu brilho. Você adiciona então uma lâmpada de cada vez, cada lâmpada nova sendo adicionada em série com as precedentes. À medida que você adiciona as lâmpadas, o que acontece

(a) ao brilho das lâmpadas?
(b) à corrente nas lâmpadas?
(c) à potência transferida pela bateria?
(d) ao tempo de vida da bateria?
(e) à voltagem entre os terminais da bateria?

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.12

..., o que acontece

(a) ao brilho das lâmpadas? Diminui (já que $\Delta V_i < \Delta V$)

(b) à corrente nas lâmpadas?
Diminui (R_{eq} aumenta, e $I = \Delta V/R_{eq}$)

(c) à potência transferida pela bateria?
Diminui ($\mathscr{P} = (\Delta V)^2/R_{eq}$)

(d) ao tempo de vida da bateria? Aumenta ($\Delta t = E_{tot}/\mathscr{P}$)

(e) à voltagem entre os terminais da bateria?
Não muda, caso a resistência interna da bateria é desprezível
Se r não é desprezível, ΔV aumenta
(já que a corrente diminui e $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$)

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.12

Responda às mesmas perguntas se as lâmpadas forem adicionados uma de cada vez, em paralelo com a primeira.
À medida que você adiciona as lâmpadas, o que acontece
(a) ao brilho das lâmpadas?
(b) à corrente nas lâmpadas?
(c) à potência transferida pela bateria?
(d) ao tempo de vida da bateria?
(e) à voltagem entre os terminais da bateria?

Resistores em Série e em Paralelo

Enigma Rápido 21.12

..., o que acontece

(a) ao brilho das lâmpadas? Diminui (já que R_{eq} diminui)

(b) à corrente nas lâmpadas? Diminui junto

(c) à potência transferida pela bateria?
Aumenta (R_{eq} diminui e $\mathscr{P} = (\Delta V)^2/R_{eq}$)

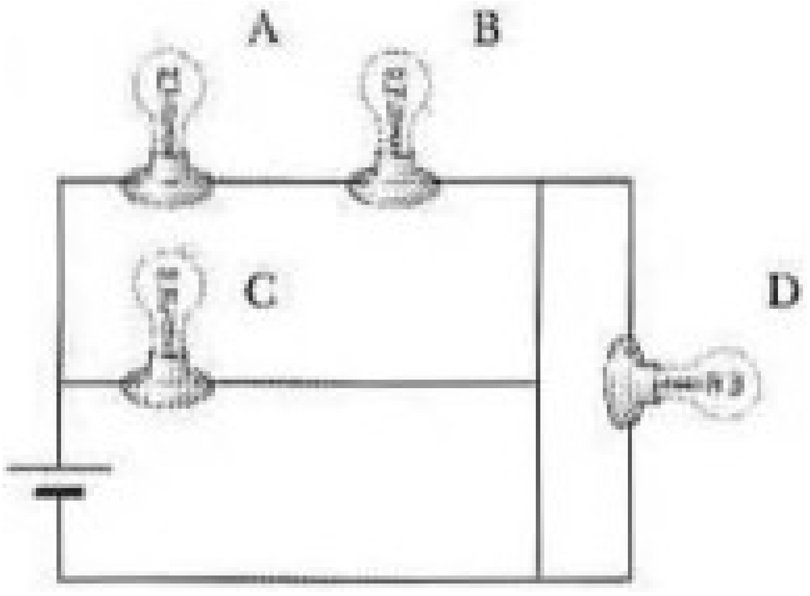
(d) ao tempo de vida da bateria? Diminui ($\Delta t = E_{tot}/\mathscr{P}$)

(e) à voltagem entre os terminais da bateria?
Diminui, se r não é desprezível

Resistores em Série e em Paralelo

Pensando a Física 21.4

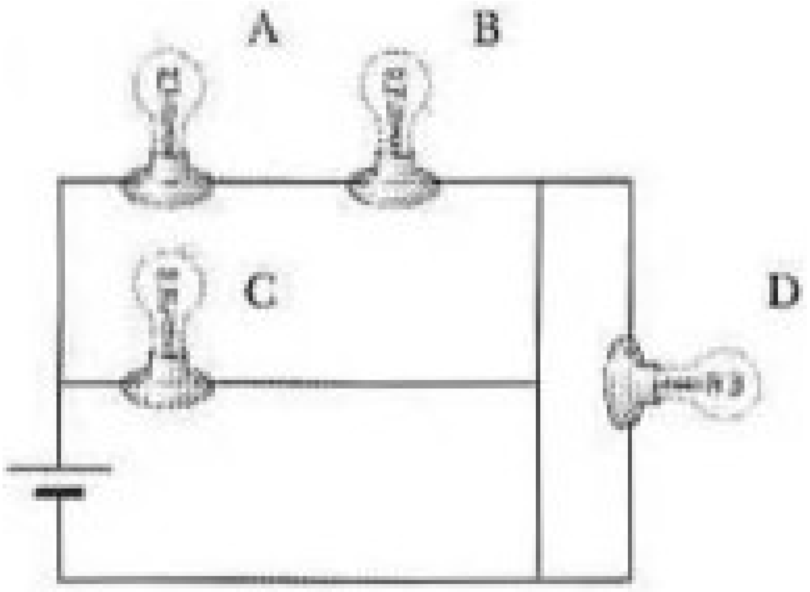
Compare o brilho das quatro lâmpadas nesta figura.
O que acontece se a lâmpada A falhar, de modo que não possa conduzir?
E se C falhar?
E se D falhar?



Resistores em Série e em Paralelo

Pensando a Física 21.4

Resposta:



- C está em paralelo com A-B, que estão em série,
- D tem seus terminais ligados por um fio condutor => ΔV_D é zero => D não brilha.

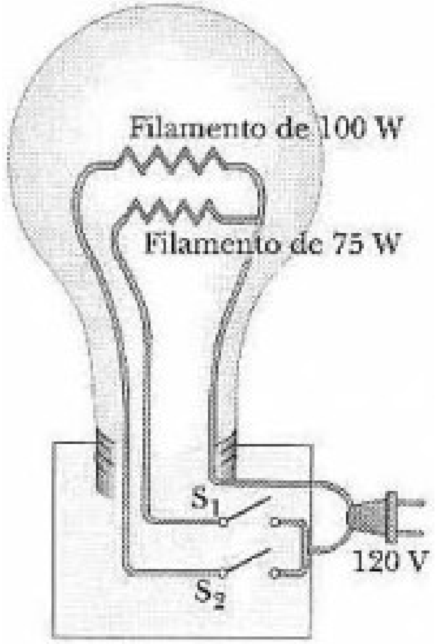
Falha de A: B apaga,
C não muda de brilho, a bateria gasta menos energia

Falha de C: A e B não mudam de brilho, a bateria gasta menos energia

Falha de D: Nada muda.

Resistores em Série e em Paralelo

Pensando a Física 21.5

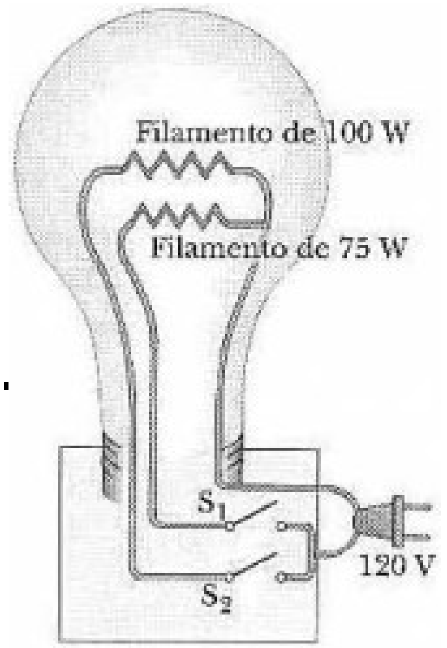


Esta figura ilustra como uma lâmpada de três fases é construída para fornecer três níveis de intensidade luminosa.
O soquete da lâmpada é equipada com uma chave de três fases para selecionar intensidades luminosas diferentes.
A lâmpada contém dois filamentos.
Por que os filamentos estão conectados em paralelo?
Explique como os dois filamentos são usados para fornecer três intensidades luminosas diferentes.

Resistores em Série e em Paralelo

Pensando a Física 21.5

Resposta:



Por que os filamentos estão conectados em paralelo?

Senão, se um falha, a lâmpada inteira falha.

Explique como os dois filamentos são usados para fornecer três intensidades luminosas diferentes.

Ambas abertas: 0 W (lâmpada desligada)

S_1 fechada: 75 W

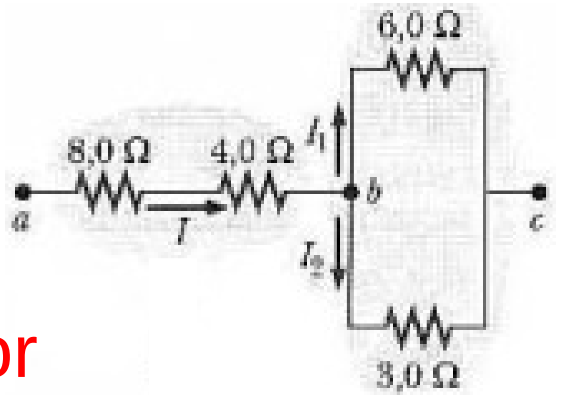
S_2 fechada: 100 W

Ambas fechadas: 175 W

Resistores em Série e em Paralelo

Exemplo 21.8 Encontre a Resistência Equivalente

Quatro resistores são conectados como nesta figura.
(a) Encontre a resistência equivalente entre *a* e *c*.
(b) Qual será a corrente em cada resistor se uma diferença de potencial de 42 V for mantida entre *a* e *c*?



Resistores em Série e em Paralelo

Exemplo 21.8 Encontre a Resistência Equivalente

(a) $R_{12} = R_1 + R_2 = 12.0\ \Omega$,

$R_{34} = (1/R_3 + 1/R_4)^{-1} = 2.0\ \Omega$

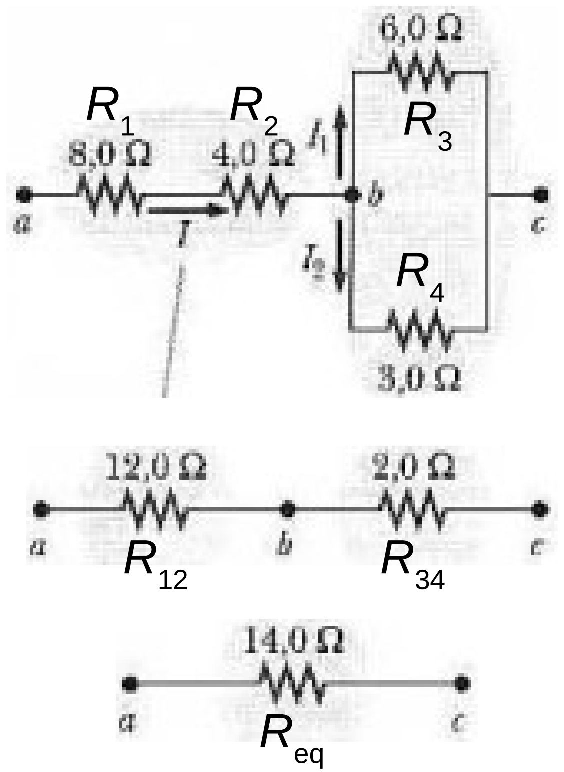
$\Rightarrow R_{eq} = R_{12} + R_{34} = 14.0\ \Omega$

(b) $I_1 = I_2 = I_{34} = I = \Delta V/R_{eq} = 3$ A

$I_3 = \Delta V_3/R_3 = \Delta V_{34}/R_3 = R_{34}I_{34}/R_3$

$= R_{34}I/R_3 = 1$ A

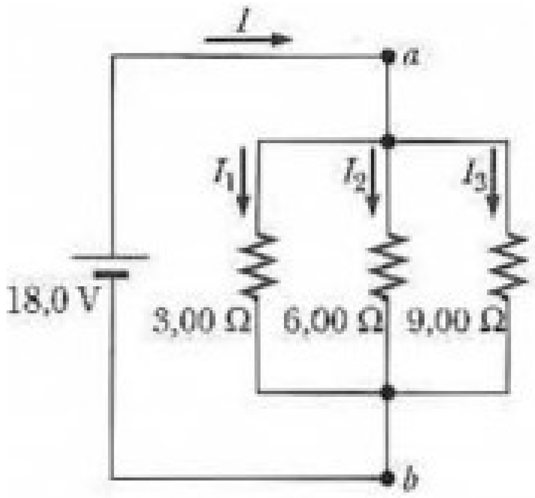
I_4 Análogo a I_3, ou $I_4 = I - I_3 = 2$ A



Resistores em Série e em Paralelo

Exemplo 21.9 Três Resistores em Paralelo

Três resistores são conectados em paralelo como nesta figura.
Uma diferença de potencial de 18.0 V é mantida entre os pontos *a* e *b*.
(a) Encontre a corrente em cada resistor.
(b) Calcule a potência fornecida a cada resistor e a potência total fornecida para os três resistores.
(c) Calcule a resistência equivalente da combinação dos três resistores.

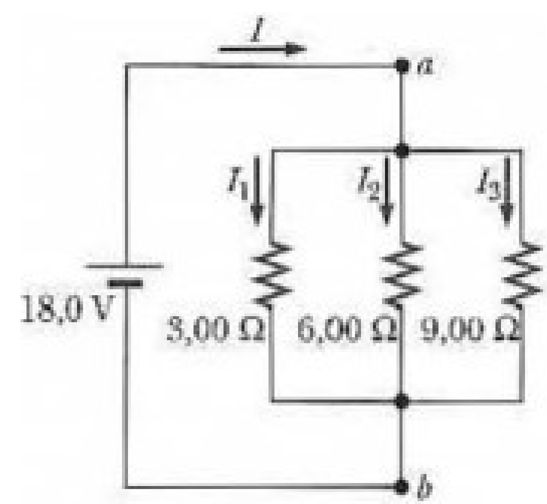


Exercício: Use R_{eq} para calcular a potência total fornecida ao circuito

Resistores em Série e em Paralelo

Exemplo 21.9 Três Resistores em Paralelo

Solução:



(a) $I_1 = \Delta V/R_1 = 6.00$ A

$I_2 = \Delta V/R_2 = 3.00$ A

$I_3 = \Delta V/R_3 = 2.00$ A

(b) $\mathscr{P}_1 = I_1\Delta V = (\Delta V)^2/R_1 = 108$ W

$\mathscr{P}_2 = I_2\Delta V = (\Delta V)^2/R_2 = 54.0$ W

$\mathscr{P}_3 = I_3\Delta V = (\Delta V)^2/R_3 = 36.0$ W

$\mathscr{P} = \mathscr{P}_1 + \mathscr{P}_2 + \mathscr{P}_3 = 198$ W

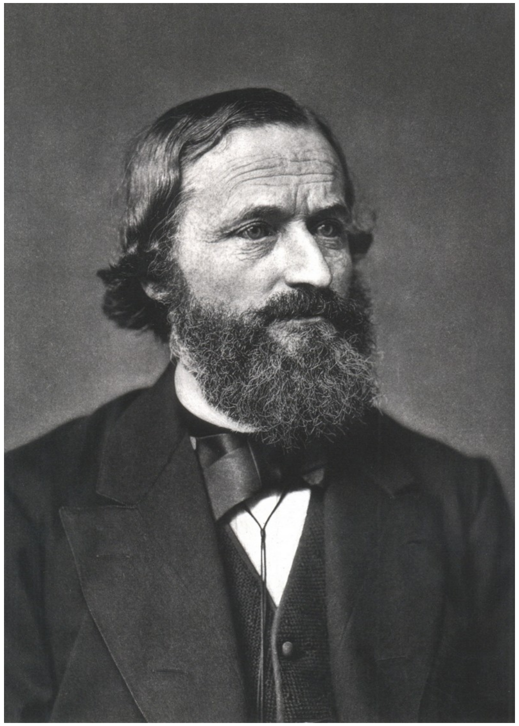
(c) $R_{eq} = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)^{-1} = 1.64\ \Omega$

Exercício: $= (\Delta V)^2/R_{eq} = 198$ W

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Análise de um Circuito

Em muitos casos dá para analisar um circuito, i.e. determinar cargas, correntes e potencial em várias pontos do circuito, possivelmente em função do tempo, usando $\Delta V = Q/C$, $\Delta V = IR$ e as regras para combinações em série e em paralelo de capacitores e resistores, mas às vezes, os elementos em um circuito podem ser conectados de maneira que isto não dá.



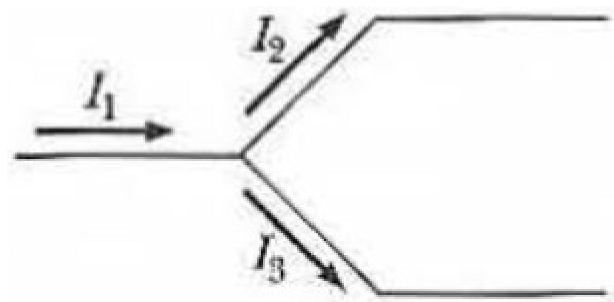
Gustav Kirchhoff
1824-1887

Nestes casos, podem ser úteis duas regras simples, chamadas regras de Kirchhoff.

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

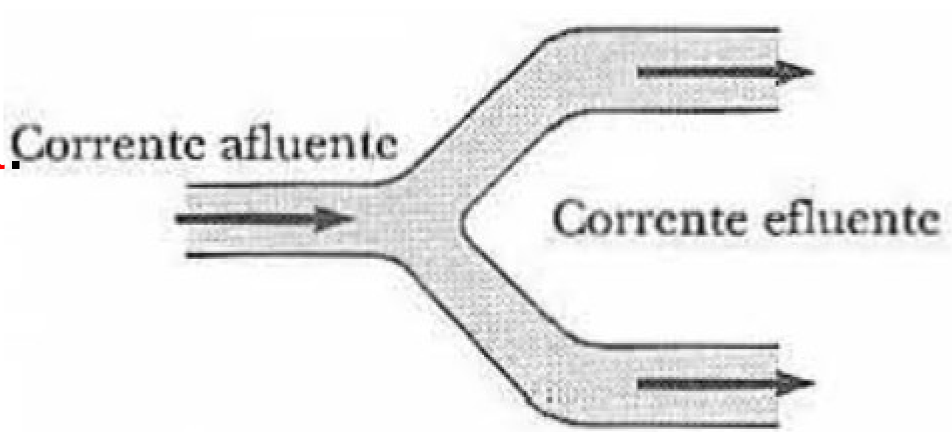
Regra dos Nós

A soma das correntes que entram em qualquer nó é igual à soma das correntes que saem desse nó.



A regra vale em todos os pontos, mas só bifurcações, cruzamentos de fios, etc. são nós.

É basicamente a conservação da carga elétrica.



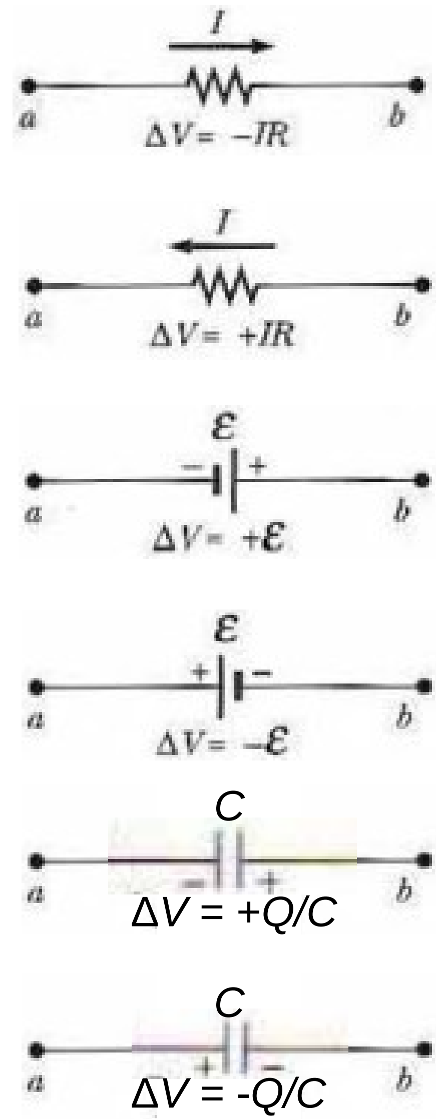
Neste exemplo $I_1 = I_2 + I_3$

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Regra das Malhas

A soma das diferenças de potencial em todos os elementos de uma malha fechada do circuito é igual a zero.

É basicamente a conservação da energia.



Regras para a determinação das diferenças de potencial de *a* para *b*, $V_b - V_a$, em um resistor, uma bateria (considerada sem resistência interna) e um capacitor

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Análise de um Circuito

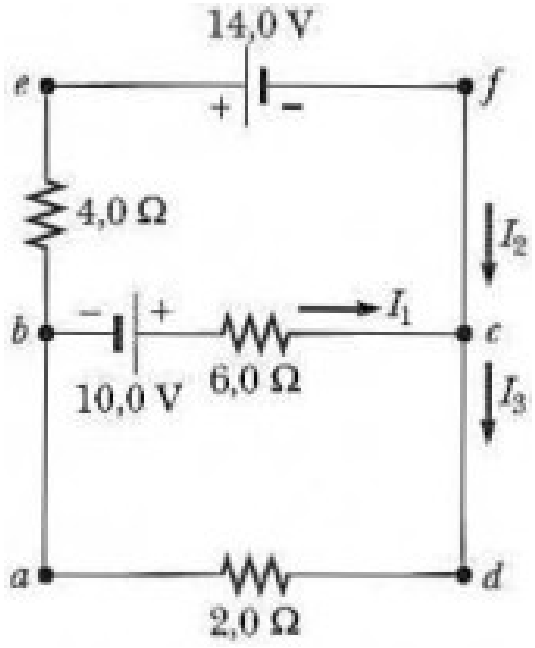
Numa análise,
- o número de vezes em que a regra dos nós pode ser usada é um a menos do que o número de nós no circuito,
- o número de vezes em que a regra das malhas pode ser usada é um a menos do que o número de elementos (resistores, baterias, ...) no circuito, e
- em circuitos em estado estacionário, capacitores agem como um circuito aberto (não passa corrente por eles).

Em geral, o número de equações independentes de que você precisa deve igualar o número de correntes desconhecidas a fim de resolver urn problema de circuito particular.

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Exemplo 21.10 Aplicando as Regras de Kirchhoff

(a) Encontre as correntes I_1, I_2 e I_3 no circuito mostrado nesta figura.
(b) Encontre a diferença de potencial entre os pontos *b* e *c*.

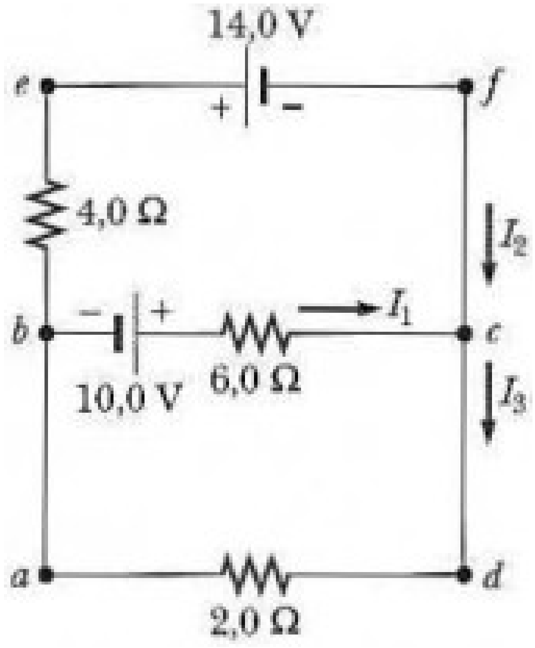


Exercício: Encontre a diferença de potencial entre os pontos *b* e *c* seguindo uma trajetória passando por *a* e por *d*.

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Exemplo 21.10 Aplicando as Regras de Kirchhoff

Solução:



Regra dos nós aplicada em *c*:

$I_1 + I_2 = I_3$

Regra das malhas (malha *abcda*):

10.0 V - (6.0 Ω)I_1 - (2.0 Ω)I_3 = 0

Regra das malhas (malha *befcb*):

- (4.0 Ω)I_2 -14.0 V + (6.0 Ω)I_1 - 10.0 V = 0

=> Sistema de 3 equações lineares para achar I_1, I_2 e I_3:

(a) I_1 = 2.0 A, I_2 = -3.0 A, I_3 = -1.0 A

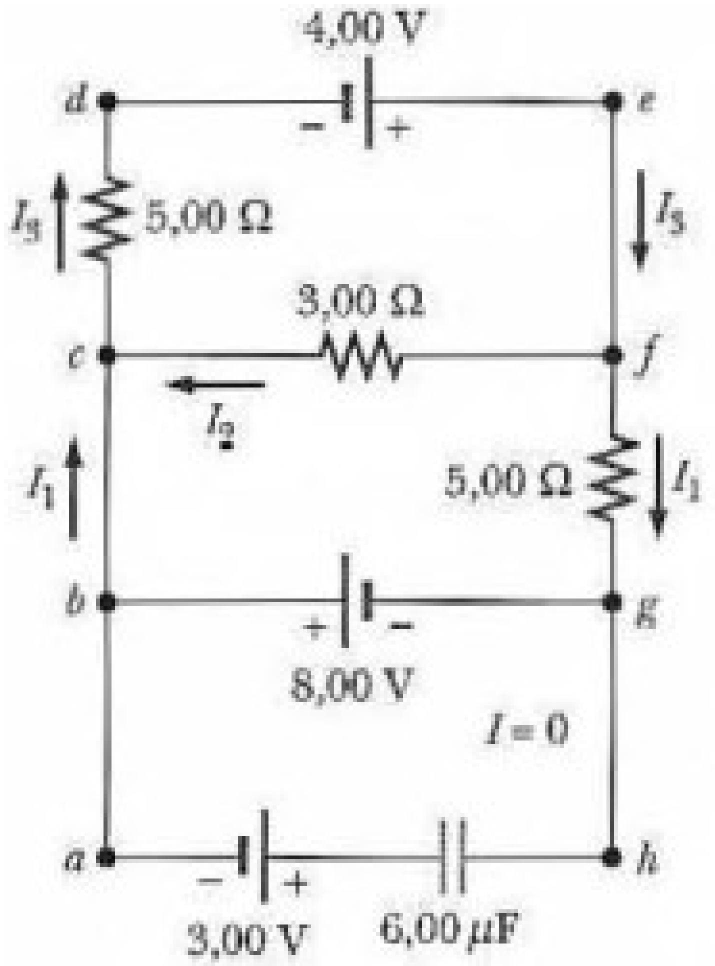
(b) V_c - V_b = 10.0 V - (6.0 Ω)I_1 = -2.0 V

Exercício: *Vc* - *Vb* = (2.0 Ω)I_3 + = -2.0 V

Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Exemplo 21.11 Um Circuito com Várias Malhas

Encontre no estado estacionário as correntes desconhecidas no circuito com várias malhas mostrado nesta figura.



Regras de Kirchhoff e Circuitos Simples de Corrente Contínua

Exemplo 21.11 Um Circuito com Várias Malhas

Solução:

Regra dos nós (*c*): $I_1 + I_2 = I_3$

Malha *defcd*:

$4.00\ \text{V} - (3.00\ \Omega)I_2 - (5.00\ \Omega)I_3 = 0$

Malha *cfgbc*:

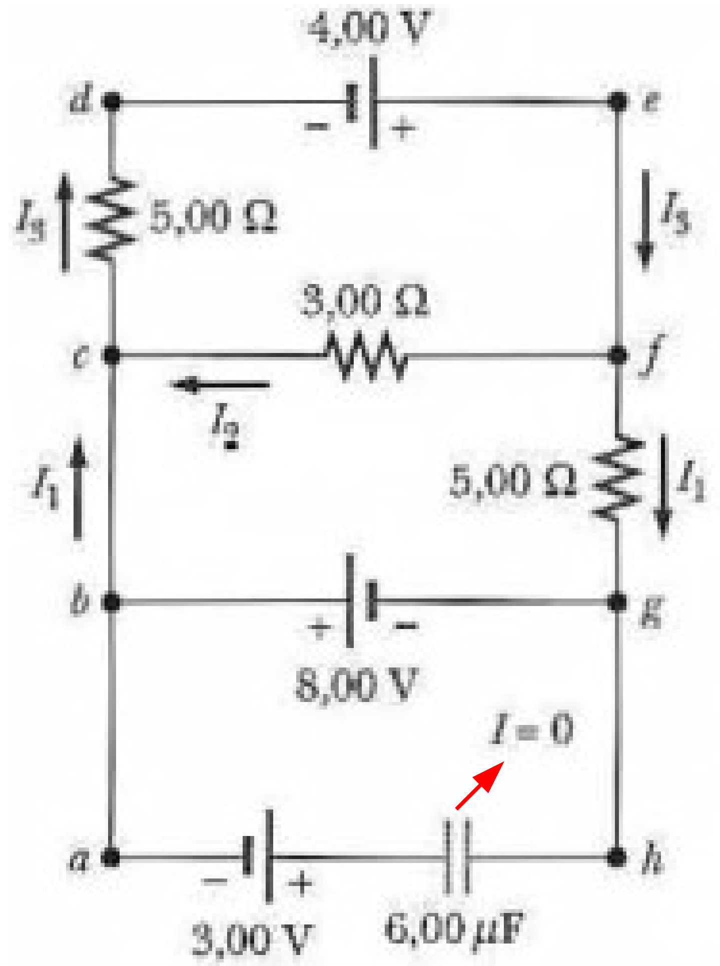
$(3.00\ \Omega)I_2 - (5.00\ \Omega)I_1 + 8.00\ \text{V} = 0$

=> 3 equações para achar I_1, I_2 e I_3:

$I_1 = 1.38\ \text{A}$

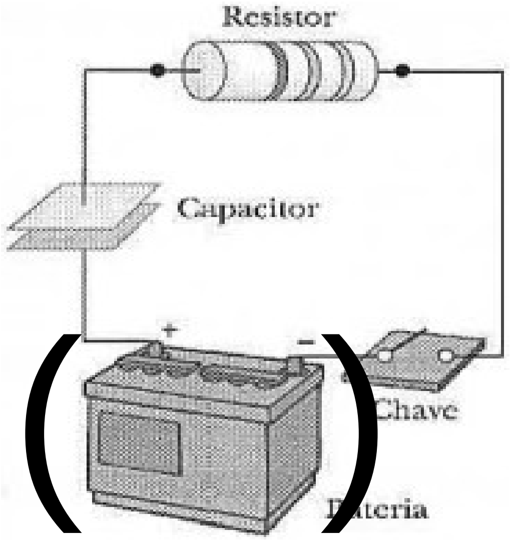
$I_2 = -0.364\ \text{A}$

$I_3 = 1.02\ \text{A}$

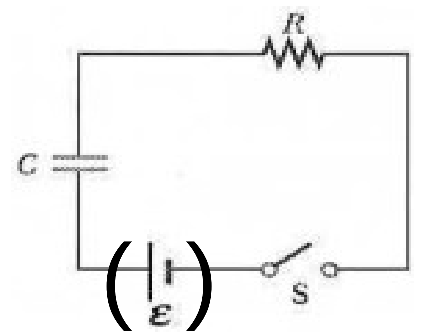


Circuitos *RC*

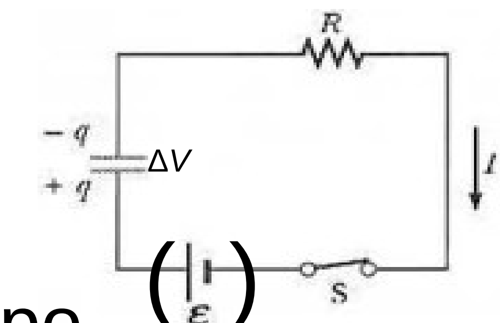
Circuito de uma malha fechada consistindo de um resistor e um capacitor, com uma chave para abrir ou fechar o circuito, e com ou sem uma fonte de fem no meio.



Com fonte, após fechar a chave, o capacitor será carregado através do resistor até atingir $\Delta V = \mathcal{E}$.



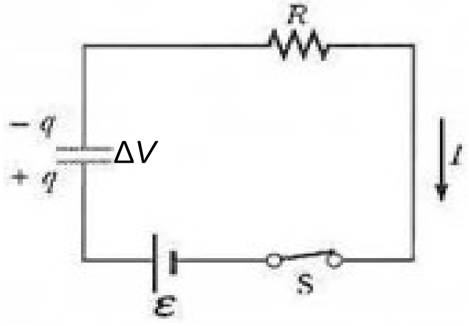
Sem fonte, após fechar a chave, o capacitor será descarregado através do resistor.



Novidade deste circuito: Não é estado estacionário, ΔV, I e q variam com o tempo.

Circuitos *RC*

Carregando um Capacitor



Escolhendo o sentido horário como sentido positivo, a lei das malhas da:

$\mathcal{E} - q/C - IR = 0$

Mas, já que é a corrente que “deposita” a carga no capacitor, $I = dq/dt$:

$\mathcal{E} - 1/C \cdot q - R \cdot dq/dt = 0$ ou $dq/dt = \mathcal{E}/R - q/RC$

Uma equação diferencial para achar $q(t)$!

Um pouco de IEDO, usando como condição inicial $q(0) = 0$ (capacitor inicialmente descarragado) dá:

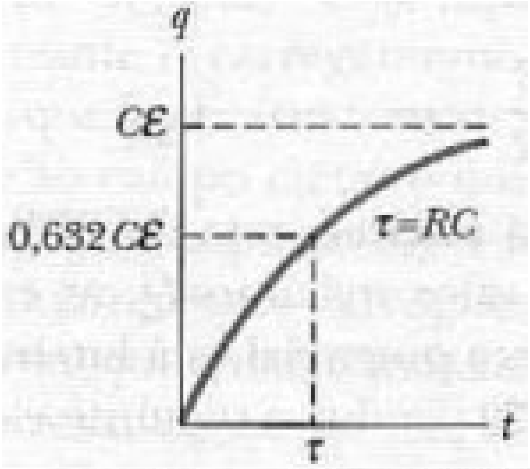
$q(t) = C\mathcal{E}[1 - e^{-t/RC}]$

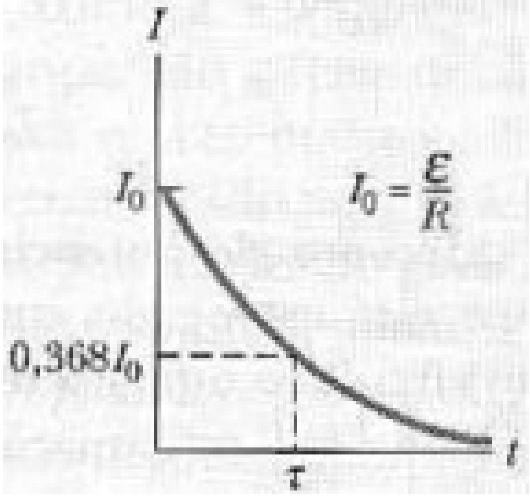
Circuitos *RC*

Carregando um Capacitor

$q(t) = C\mathcal{E}[1 - e^{-t/RC}]$

definindo $Q = C\mathcal{E}$, a carga máxima no capacitor, i.e. quando está totalmente carregado, $\Delta V = \mathcal{E}$ e $\tau := RC$, chamada constante de tempo do circuito:





$q(t) = Q[1 - e^{-t/\tau}]$

A carga no capacitor tende assintoticamente a Q.

E a corrente: $I(t) = dq/dt = \mathcal{E}/R \cdot e^{-t/\tau}$
cai exponencialmente de $I_0 = \mathcal{E}/R$ a zero.

Circuitos *RC*

Carregando um Capacitor

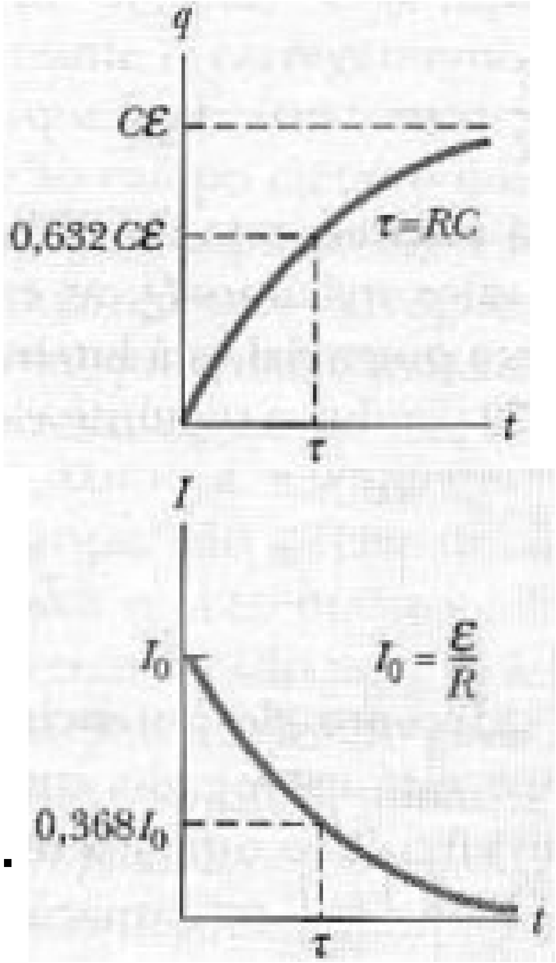
$q(t) = Q[1 - e^{-t/\tau}]$, $I(t) = \mathcal{E}/R \cdot e^{-t/\tau}$

Como dito, a carga final/máxima no capacitor será $Q = C\mathcal{E}$.

=> A energia armazenada nele será $½ \cdot Q\mathcal{E} = ½ \cdot C\mathcal{E}^2$

Mas a bateria forneceu $Q\mathcal{E} = C\mathcal{E}^2$ de energia, o dobro.

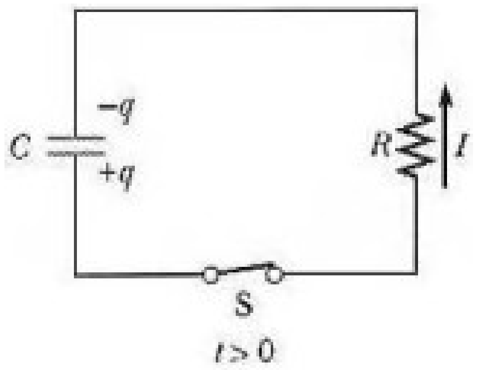
A outra metade foi "queimada" no resistor.



Circuitos *RC*

Descarregando um Capacitor

Tirando agora a fonte, e fechando a chave para descarregar o capacitor:



Lei das malhas: $-q/C - IR = 0$

De novo, $I(t) = dq/dt$: $-q/C - R \cdot dq/dt$ ou $dq/dt = -q/CR$

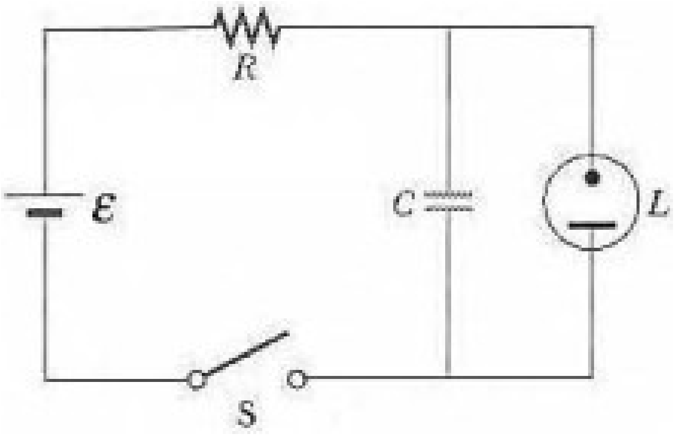
IEDO: $q(t) = Qe^{-t/\tau}$, $I(t) = -\mathcal{E}/R \cdot e^{-t/\tau} = -I_0 e^{-t/\tau}$

Carga no capacitor e corrente decrescem exponencialmente com constante de tempo $\tau = RC$.

Circuitos *RC*

Pensando a Física 21.6

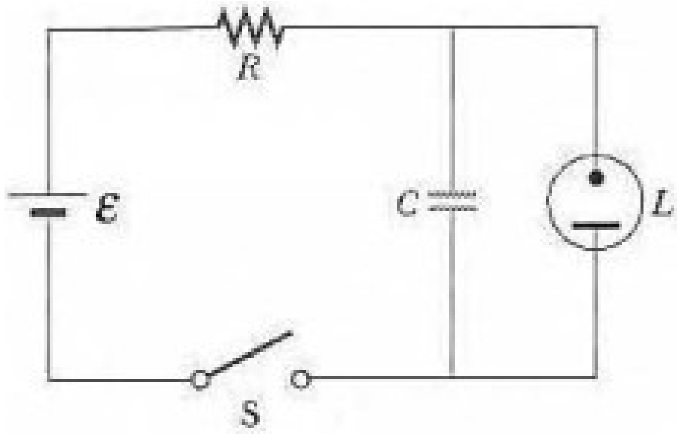
Muitos locais em obras de estradas têm luzes amarelas piscando para advertir motoristas de possíveis perigos.
O que faz as lâmpadas piscarem?



Circuitos *RC*

Pensando a Física 21.6

Muitos locais em obras de estradas têm luzes amarelas piscando para advertir motoristas de possíveis perigos.
O que faz as lâmpadas piscarem?



Resposta:
A lâmpada é uma lâmpada de gás, que conduz eletricidade e brilha sob diferença de potencial alta, e não conduz sob ΔV baixa.
Em paralelo com o capacitor de um circuito *RC*, ela atua alternadamente como chave aberta e fechada, assim ligando e desligando. Dá para ajustar o período deste pisca-pisca pela constante de tempo do circuito.

Circuitos *RC*

Pensando a Física 21.7

Muitos automóveis são equipados com limpadores de pára-brisa que podem ser usados intermitentemente durante uma chuva leve.
Como essa operação depende do carregamento e descarregamento de um capacitor?

Circuitos *RC*

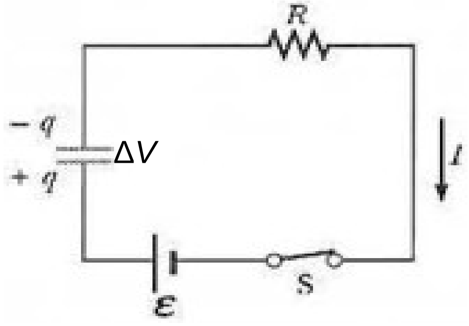
Pensando a Física 21.7

Muitos automóveis são equipados com limpadores de pára-brisa que podem ser usados intermitentemente durante uma chuva leve.
Como essa operação depende do carregamento e descarregamento de um capacitor?

Resposta:
Os limpadores são parte de um circuito *RC* cujo resistor tem resistência ajustável.
Ajustando a resistência, dá para ajustar a constante de tempo *RC*, que determina o tempo entre as varreduras.

Circuitos *RC*

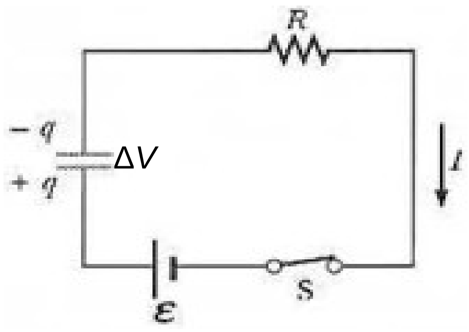
Exemplo 21.12 Carregando um Capacitor em um Circuito *RC*



Um capacitor descarregado e um resistor são conectados em série a uma bateria como nesta figura. Se $\mathcal{E}$ = 12.0 V, C = 5.00 μF e R = 8.00·10⁵ Ω, encontre a constante de tempo do circuito, a carga máxima no capacitor, a corrente máxima no circuito e carga e a corrente como funções do tempo.

Circuitos *RC*

Exemplo 21.12 Carregando um Capacitor em um Circuito *RC*



Um capacitor descarregado e um resistor são conectados em série a uma bateria como nesta figura. Se $\mathcal{E}$ = 12.0 V, C = 5.00 μF e R = 8.00·10⁵ Ω, encontre a constante de tempo do circuito, a carga máxima no capacitor, a corrente máxima no circuito e carga e a corrente como funções do tempo.

Respostas:

$\tau = RC = 4.00$ s, $Q = C\mathcal{E} = 60.0$ μC, $I_0 = \mathcal{E}/R = 15.0$ μA,

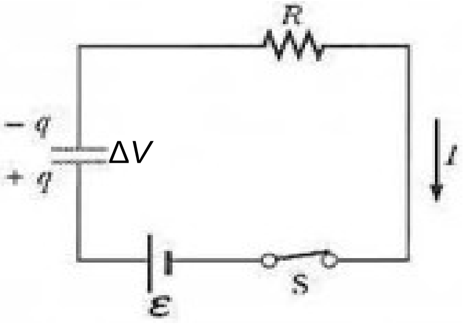
$q(t) = Q[1 - e^{-t/\tau}] = 60.0[1 - e^{-t/4\text{ s}}]$ μC,

$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau} = 15.0 \cdot e^{-t/4\text{ s}}$ μA

Circuitos *RC*

Exercício

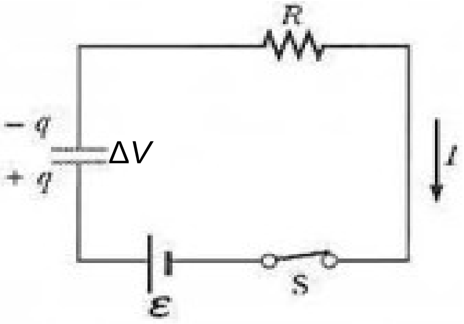
Calcule a carga no capacitor e a corrente no circuito após ter decorrido uma constante de tempo.



Circuitos *RC*

Exercício

Calcule a carga no capacitor e a corrente no circuito após ter decorrido uma constante de tempo.



Reposta:

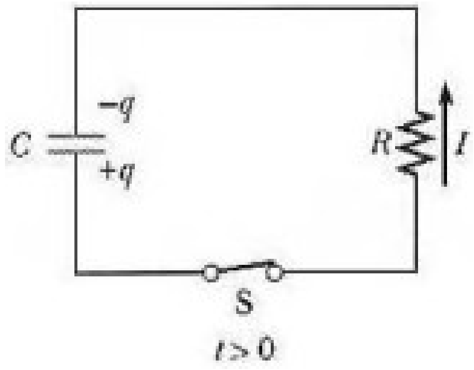
$q(\tau) = Q[1 - e^{-\tau/\tau}] = Q[1 - e^{-1}] = 37.9\ \mu C$

$I(\tau) = I_0 e^{-1} = 5.52\ \mu A$

Circuitos *RC*

Exemplo 21.13 Descarregando um Capacitor em um Circuito *RC*

Considere um capacitor *C* que está sendo descarregado através de um resistor *R* como nesta figura.



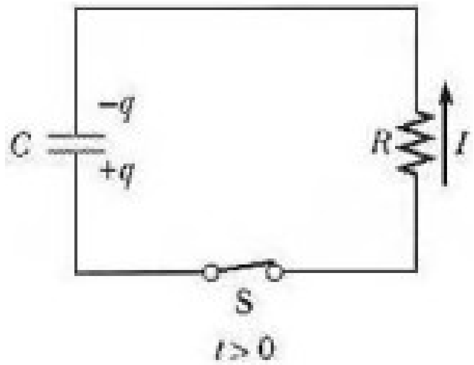
(a) depois de quantas constantes de tempo a carga no capacitor terá caído a um quarto de seu valor inicial?

(b) A energia armazenada no capacitor diminui com o tempo à medida que ele descarrega. Após quantas constantes de tempo essa energia armazenada terá caído para um quarto de seu valor inicial?

Circuitos *RC*

Exemplo 21.13 Descarregando um Capacitor em um Circuito *RC*

Solução:



(a) $q(x\tau) = Qe^{-x\tau/\tau} = Qe^{-x} = \frac{1}{4}Q$
=> $e^{-x} = \frac{1}{4}$ => $x = \ln 4 = 1.39$
Depois de 1.39 constantes de tempo.

(b) $U(y\tau) = q^2(y\tau)/2C = Q^2e^{-2y\tau/\tau}/2C = \frac{1}{4}Q^2/2C$
=> $e^{-2y} = \frac{1}{4}$ => $y = \frac{1}{2}\ln 4 = 0.693$
Após 0.693 constantes de tempo.

Circuitos *RC*

Exercício

Após quantas constantes de tempo a corrente no circuito *RC* terá caído para a metade de seu valor inicial?

Solução:

(a) $I(x\tau) = I_0 e^{-x\tau/\tau} = I_0 e^{-x} = \frac{1}{2} I_0$

$\Rightarrow e^{-x} = \frac{1}{2} \Rightarrow x = \ln 2 = 0.693$

Após 0.693 constantes de tempo.

Circuitos *RC*

Exercício

Um capacitor de 10.0 μF é carregado por uma bateria de 10.0 V através de uma resistência *R*. O capacitor atinge uma diferença de potencial de 4.00 V no tempo de 3.00 s após o início do carregamento.
Ache *R*.

Circuitos *RC*

Exercício

Um capacitor de 10.0 μF é carregado por uma bateria de 10.0 V através de uma resistência *R*. O capacitor atinge uma diferença de potencial de 4.00 V no tempo de 3.00 s após o início do carregamento.
Ache *R*.

Solução:

$\Delta V(3.00\ \mathrm{s}) = 0.4\ \mathcal{E}$

$\Rightarrow q(3.00\ \mathrm{s}) = Q[1 - e^{-3\ \mathrm{s}/\tau}] = 0.4\ Q$

$\Rightarrow e^{-3\ \mathrm{s}/\tau} = 0.6 \Rightarrow \tau = 3\ \mathrm{s}/(-\ln 0.6) = 5.87\ \mathrm{s}$

$R = \tau/C = 587\ \mathrm{k\Omega}$

A Atmosfera como um Condutor

Corrente pela Atmosfera em tempo bom

Como visto na algumas aulas atrás, em tempo bom há uma diferença de potencial entre ionosfera e Terra de ~$3 \cdot 10^5$ V.
A resistência da atmosfera entre os dois é ~300 Ω.

=> A corrente global de cima para baixo é

$I = \Delta V/R \approx 1000$ A

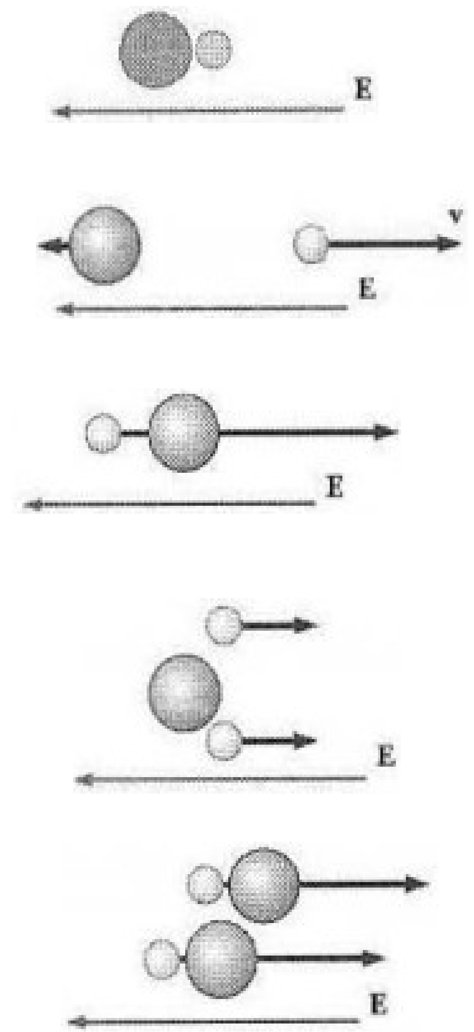
Parece muito, mas dividido pela superfície da Terra, a densidade de corrente dá:

$J = I/A = I/4\pi R_T^2 \approx 2 \cdot 10^{-12}$ A/m².

A Atmosfera como um Condutor

Em uma tempestade

Durante uma tempestade, os elétrons livres são acelerados pelo campo elétrico forte a velocidades altas, tal que conseguem ionizar as moléculas no caminho, assim aumentando o número de portadores de carga na atmosfera, resultando em correntes da ordem de 50 000 A e densidades de corrente de 10^5 A/m².



Processo de multiplicação de cargas livres na atmosfera

Fenômenos Eletromagnéticos

FIM PRA HOJE