

Prática 3: CAPACITORES

Objetivos

Quando uma tensão é aplicada a um capacitor ele não se carrega instantaneamente, mas tem uma resposta temporal característica. Analogamente, o capacitor carregado tem uma curva de descarga característica. Nesta prática serão utilizados fonte de tensão, capacitores e resistores (ou lâmpadas) para estudar o processo de carga e descarga de um circuito RC através de diversos experimentos qualitativos. A curva de *decaimento* da tensão de um capacitor $V_C(t)$ será medida e através da análise desta curva, o valor da constante de tempo do circuito será determinado.

Introdução

Logo no começo da história da eletricidade percebeu-se que era relativamente fácil obter grandes diferenças de potencial, por exemplo, através de eletrização por atrito. O problema era conseguir grande quantidade de carga e armazená-la. Percebeu-se que quando um condutor era eletrificado, seu tamanho determinava a quantidade de carga que ele conseguia armazenar. O físico italiano *Alessandro Volta*, denominou assim *condensador* qualquer dispositivo capaz de armazenar cargas. Atualmente o termo capacitor é mais utilizado.

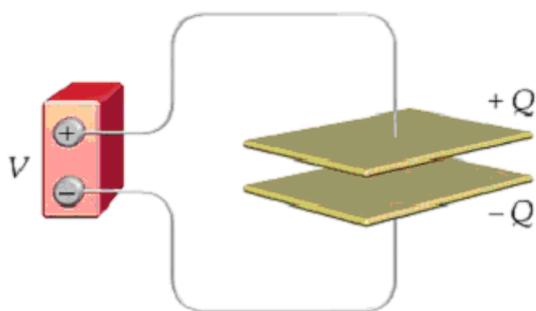


Figura 1

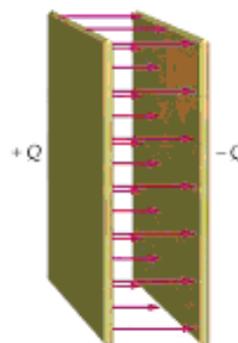


Figura 2

A uma determinada diferença de potencial (V), como esquematizado na figura 1(a e b) a quantidade de carga (Q) armazenada por um corpo depende de diversas características físicas, mas Q é proporcional a V. Ou seja, podemos definir a capacitância (C) como: $C = \frac{Q}{V}$

No sistema MKS, a unidade de capacitância é Coulomb/Volt, que se denominou *Farad*, em homenagem ao cientista *M. Faraday*. *Volta* introduziu o termo capacidade elétrica em analogia com o conceito de capacidade térmica ou calor específico.

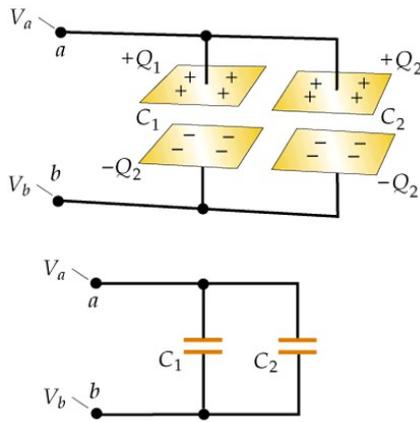


Figura 3

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

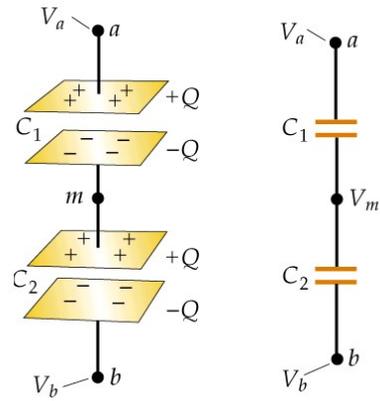


Figura 4

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Capacitores em paralelo e em série.

Descarga de um condensador

Para determinarmos a capacitância de um condensador, C , faremos um experimento que consiste em carregar o mesmo com uma tensão inicial V_0 (Figura 3. a).

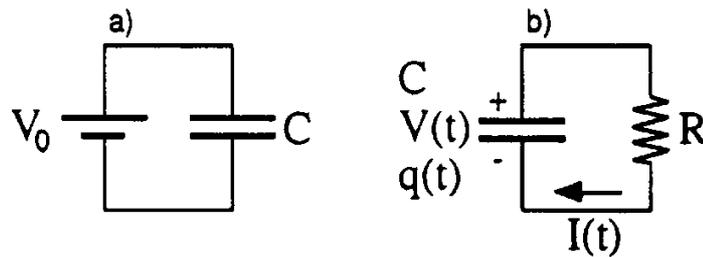


Figura 5

a) Circuito para carregar o condensador; b) Descarga do condensador em uma resistência R

A Fig.3.b ilustra que quando este capacitor carregado é ligado a um resistor, ele é descarregado pela corrente $I(t)$, ou seja, à medida que sua carga $q(t)$ diminui, a tensão no capacitor $V_c(t)$ diminui proporcionalmente a $q(t)$. Este problema pode ser equacionado da seguinte forma:

$$V_c(t) = R I(t) \quad (1)$$

$$q(t) = C V(t) \quad (2)$$

$$I(t) = - dq(t)/dt \quad (3)$$

Utilizando as equações 1-3 podemos escrever a seguinte seqüência de expressões:

$$dq(t) = -I(t) dt \Rightarrow C dV_c(t) = -\frac{V_c(t)}{R} dt \Rightarrow \frac{dV_c(t)}{V_c(t)} = -\frac{dt}{RC} \quad (4)$$

Integrando a Eq. 4 nos limites de integração de 0 a t no tempo e de V_0 a $V(t)$ em tensão, obtemos a expressão temporal da queda de tensão durante a descarga do condensador sobre a resistência R^3 :

$$V(t) = V_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{onde } \tau = RC \quad (5)$$

O decaimento da tensão no capacitor é exponencial com tempo de resposta $\tau = RC$. Ou seja, em $t = \tau$, temos $V_c(\tau) \sim 0.37 \cdot V_0$ ou $V_c(t) = V_0/3$ em $t = \tau \cdot \ln 3 \sim 1.10\tau$. Logo, medindo experimentalmente $V_c(t)$, podemos determinar o valor de RC a partir da Eq.5. Nesta prática vocês irão calcular o valor da capacitância do capacitor através da medida da resposta temporal de $V_c(t)$.

Experimentos

I. Circuito RC simples

A. Um capacitor está conectado em série a lâmpada e a uma fonte de tensão contínua (de valor $V_0 = 10V$), tal como ilustrado ao lado. Suponham que o circuito tenha sido ligado há muito tempo, ou seja, o estado estacionário já foi atingido. Como será o brilho da lâmpada?

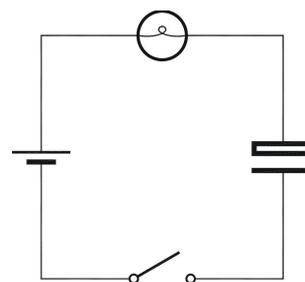


Figura 6

ATENÇÃO:

Nesta prática utilizaremos capacitores que devem ser colocados na polarização correta onde uma faixa indica o terminal negativo.

Usaremos a notação ilustrada ao lado, onde a placa mais espessa deve ser a placa positiva (+) e a outra a negativa (-).

Para não se confundirem sugerimos o uso de um cabo vermelho ligado ao terminal positivo (+) e um cabo preto ligado ao terminal negativo (-).



Figura 7

Obs: a placa (+) está indicada pela cor vermelha

Além da polaridade, o capacitor não pode ser ligado a uma tensão maior V_0 . Se estes cuidados não forem tomados vocês podem danificar o capacitor.

1. Montem o circuito da Figura acima com a fonte ajustada para $V_0=10V$. No estado estacionário (após o transiente) meçam as tensões na Fonte (V_0), no capacitor (V_C) e na lâmpada (V_L).

³ Este cálculo pode ser encontrado em vários livros de Física Geral (vide referências citadas no final da apostila).

2. Lembrando que $Q = C \cdot V_c$, onde Q representa a carga armazenada no capacitor, C é a capacitância e V_c o valor da tensão no capacitor. Usando o valor de $C=0,11F$, estimem o valor de Q .

B. Removam o capacitor do circuito da parte **A** (tome o cuidado para não curto-circuitar o capacitor).

1. Prevejam o valor da tensão no capacitor.

2. Verifiquem experimentalmente, com o auxílio do voltímetro digital, se seu prognóstico estava correto.

3. Será que vocês conseguem acender a lâmpada usando somente o capacitor, sem usar a fonte? Tentem isto experimentalmente e anotem o diagrama do circuito usado. Por fim, meçam o valor da tensão final no capacitor. Expliquem o que ocorreu.

C.

1. Suponha que vocês repitam o experimento anterior (A e B) usando a metade da tensão na fonte ($V_o' \sim 0,5 \cdot V_o \sim 5V$). O que deve mudar? Façam uma previsão.

2. repitam o experimento com $V_o' \sim 5V$. Discutam suas observações.

II. Carga e descarga de capacitores

ATENÇÃO: *Antes de montar o próximo experimento, descarreguem o capacitor utilizando uma lâmpada ligada em paralelo. Quando se descarrega o capacitor com um "curto circuito", o valor da corrente pode ser muito alta podendo danificar o capacitor.*

Nunca colocar o capacitor em curto circuito

A. Montem o circuito da Figura ao lado. Vocês vão repetir o experimento anterior, mas agora prestando mais atenção na resposta transiente do circuito, ou seja, em como o brilho da lâmpada evolui no tempo, após a chave ser fechada.

Verifiquem se polaridade do capacitor *está correta e assim como o valor de V_o* .

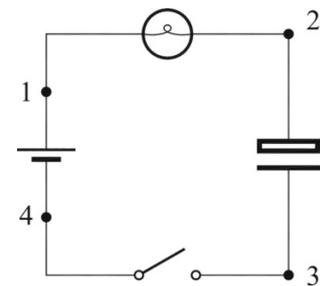


Figura 8

1. Esbocem o gráfico da dependência temporal do brilho da lâmpada.

2. Sem utilizar o voltímetro, ou seja, apenas de suas observações experimentais, responda qual o valor de V_C (V_{23}) nos seguintes casos:

a) imediatamente após a chave ser fechada;

b) muito tempo após a chave ter sido fechada;

3. Esbocem a dependência temporal de V_L (a tensão na lâmpada, V_{12}), V_C (V_{23}), Q (carga no capacitor) e da corrente $I(t)$.

Mostrem estes esboços a um instrutor antes de continuar a prática.

B. Verificando o sentido da corrente

Considerem o circuito ao lado com o capacitor inicialmente descarregado.

1. Prevejam o sentido da corrente (horário ou anti-horário) quando a chave (Ch) é colocada na posição **a**.
2. Comparem o sentido da corrente nos pontos 1, 2 e 3 do circuito ao lado.

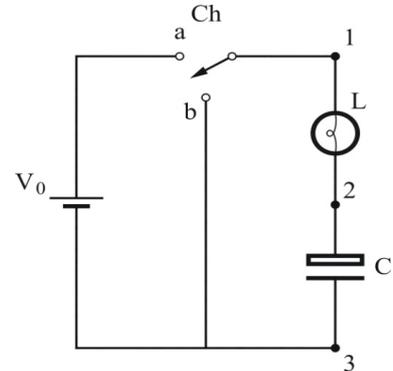


Figura 9

3. Suponham que após o sistema atingir o estado estacionário, a chave seja colocada na posição **b**. Para este instante, prevejam o sentido da corrente, nos pontos 1, 2, e 3.

Na Prática 2 vimos que esta configuração de LEDs pode ser usada para indicar o sentido da corrente elétrica.

Na Figura ao lado temos uma associação em paralelo de dois LEDs com polaridades contrárias (antiparalelos) que pode ser usada para indicar a direção da corrente.

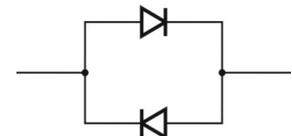


Figura 10

4. Montem o circuito (B) inserindo o conjunto de LEDs. Verifiquem o sentido da corrente (nos pontos 1, 2 ou 3) quando o capacitor é carregado (chave na posição a). O sentido é o mesmo?
5. Idem ao item anterior, no caso em que o capacitor é descarregado (chave na posição b). As previsões foram confirmadas?
Obs: os LEDs podem ser inseridos nos pontos 1, 2 ou 3.

Neste ponto é muito importante que o grupo analise e discuta os resultados. Depois discuta suas conclusões com um instrutor antes de prosseguir a prática.

Observação: Se desejar repetir o experimento, **lembre-se** de descarregar o capacitor através de uma lâmpada.

III. Lâmpada entre dois Capacitores

A. Uma lâmpada é conectada a dois capacitores como ilustrado na Figura ao lado. A respeito deste circuito um estudante fez o seguinte prognóstico:

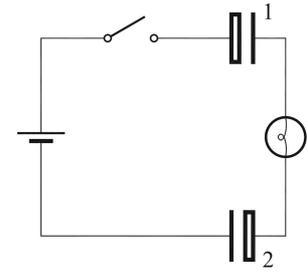


Figura 11

“A corrente irá fluir do lado positivo da bateria para o lado negativo. Uma vez que a lâmpada está isolada da bateria por dois capacitores, a lâmpada não irá acender (ou brilhar)”.

Vocês concordam com este prognóstico? Discutam e registrem por escrito seus argumentos.

B. Montem o experimento 2 capacitores, V_0 . **Sem** o usar de um voltímetro respondam, logo após a chave ser fechada:

- 1) qual a tensão na lâmpada? (Obs. observe o brilho da lâmpada)
- 2) qual a diferença de potencial nos capacitores?
- 3) responda as mesmas perguntas 1 e 2 para o estado estacionário (muito tempo após a chave ter sido fechada).
- 4) Verifiquem o sentido da corrente usando a dupla de LEDs (a mesma do experimento II.B)

IV. Capacitor em paralelo com a lâmpada

A. Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) são conectados a uma fonte ideal tal como ilustrado na ao lado.

Façam um prognóstico de como se comportará o brilho das lâmpadas (A e B) quando a chave (Ch) for fechada.

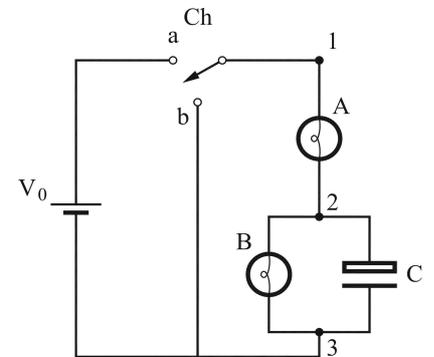


Figura 12

B. Montem o experimento com $V_0 \sim 8V$.

Verifiquem e discutam o que acontece nas situações:

1. logo após ($t \sim 0$) a chave ser fechada:

- a) qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A** (V_A), na lâmpada **B** (V_B), no capacitor (V_C), e na bateria (V_0)? Explique.
- b) classifiquem (maior, menor ou igual) as correntes nas lâmpadas (I_A , I_B) no capacitor (I_C) e na bateria (I_0).

2. muito tempo após (estado estacionário) a chave ser fechada:

- a) classifique as correntes I_A , I_B , I_C e I_0 . Expliquem.
- b) classifique (compare) os valores das tensões V_A , V_B , V_C , V_0 . Explique.

Sumarizem seus resultados descrevendo o comportamento transiente (brilho) das lâmpadas A e B.

C. Considere agora o caso em que a chave é colocada **em série** com o capacitor (inicialmente descarregado), como ilustrado na Figura ao lado.

Façam um prognóstico do que ocorrerá com o brilho das lâmpadas quando a chave for fechada.

D. Montem o experimento e repitam todo o procedimento **B** para o circuito da Figura ao lado.

Obs: certifique-se que o capacitor esteja inicialmente descarregado

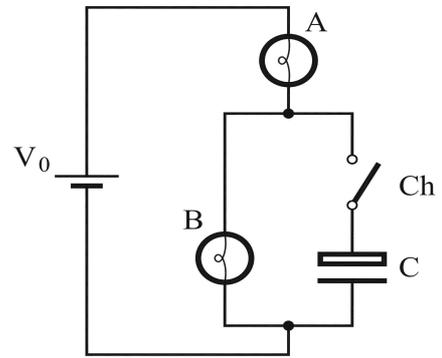


Figura 13

V. Conservação da Carga

A Figura ao lado ilustra um circuito onde inicialmente o capacitor, C_1 , está carregado e o capacitor, C_2 , está inicialmente descarregado, ou seja, $V_{C1}(0) = V_0$ e $V_{C2}(0) = 0$.

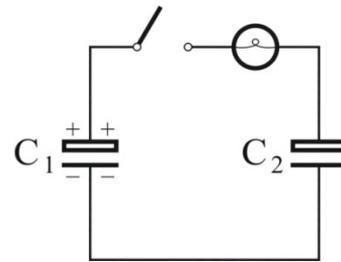


Figura 14

A. O que ocorrerá quando a chave for fechada? Discutam e façam um prognóstico considerando os seguintes aspectos: a lâmpada vai acender? Como será o comportamento da corrente $I(t)$ e das cargas $Q_1(t)$ e $Q_2(t)$ dos capacitores C_1 e C_2 , respectivamente.

B. Façam o experimento, usando $V_0 \sim 10\text{ V}$ para carregar C_1 . Registrem suas observações e comparem a previsão (não é preciso usar o voltímetro). No estado estacionário ainda há carga nos capacitores?

Obs: Certifiquem-se que no instante inicial C_1 esteja carregado e C_2 descarregado, logo em $t = 0$, $V_{C1} \sim 10\text{V}$ e $V_{C2} \sim 0\text{V}$.

C. A Figura ao lado ilustra o caso em que dois capacitores foram carregados simultaneamente, de tal forma que $V_{C1} = V_{C2} \sim 10\text{V}$. Retirem a fonte DC do circuito e montem tal como ilustrado ao lado, ou seja, a placa negativa de C_1 ligada à placa positiva de C_2 . O que ocorrerá? Discutam e façam um prognóstico análogo ao da A.

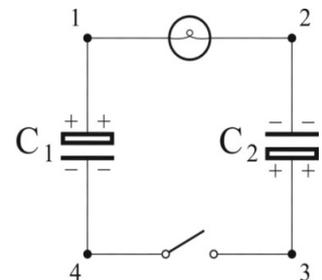


Figura 15

D. Análogo ao item B (realizar o experimento e discutir).

E. Em qual dos experimentos (B ou D) a lâmpada brilha

mais? Explique por que.

F. Realizem o experimento e discutam suas observações.

G. Repetir o item C (prognósticos) para a configuração ao lado, com os capacitores colocados tal como ilustrado ao lado.

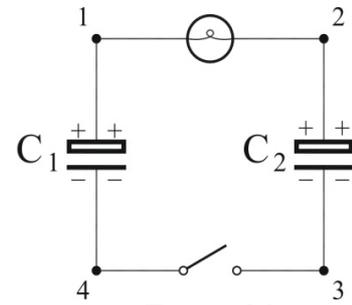


Figura 16

VI. Medida quantitativa da constante de tempo RC

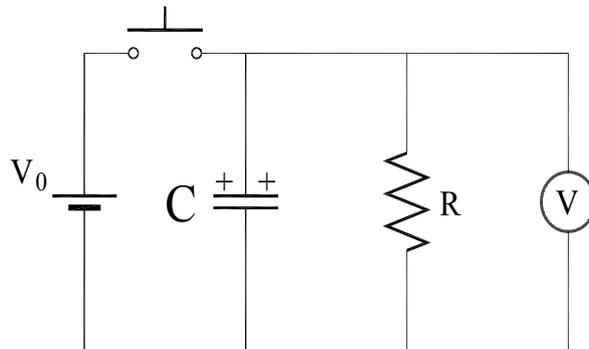


Figura 17

A. Monte o circuito da Figura acima utilizando um voltímetro digital, $R = 220 \text{ k}\Omega$ e $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$.

Ajustem a fonte para $V_0 = 10\text{V}$. Com a chave S fechada leiam a tensão no voltímetro. Desliguem a chave S e observem a variação temporal da tensão sobre o capacitor que se descarrega pela resistência R .

B. Construam uma tabela dos valores da tensão $V_C(t)$ em função do tempo de descarga, medindo o tempo com um cronômetro. O cronômetro deve ser inicializado ($t=0$) quando, após ser carregado, a chave é aberta e o capacitor é descarregado.

C. Façam um gráfico em papel *monolog* de $V_C(t)$ contra t , determine o valor da constante de tempo do circuito $\tau = RC$, pelo gráfico.

D. Meçam o valor de R com um multímetro. Usando este valor, calcule o valor de C ? Compare com o valor determinado pelo técnico do laboratório. Discuta o resultado obtido. A diferença entre estes dois valores está dentro da incerteza estimada para o valor de τ ?

E. Usando os mesmos valores de R e C do experimento anterior, meça o tempo t^* necessário para que a carga do capacitor se reduza a metade do seu valor inicial. Note que $V(t^*) = V_0/2$, logo você pode usar a Eq. 5 para estimar o valor de $\tau = RC$ a

partir de t^* . Estime o valor de t e compare com sua determinação mais cuidadosa feita através do gráfico. Discuta os resultados.

F. Repita o item F mudando os valores de C e/ou R .

Lista de materiais para esta prática.

2 lâmpadas incandescentes (6V)

2 capacitores (0,11F)

2 LED

fonte de tensão variável

resistor de $220K\Omega$

Placa de circuitos

6 cabos banana – banana

Exercícios

1. O circuito da Figura ao lado contém uma bateria com tensão V_0 (constante), uma lâmpada (A), uma chave e um capacitor. Inicialmente ($t = 0$) o capacitor está descarregado.

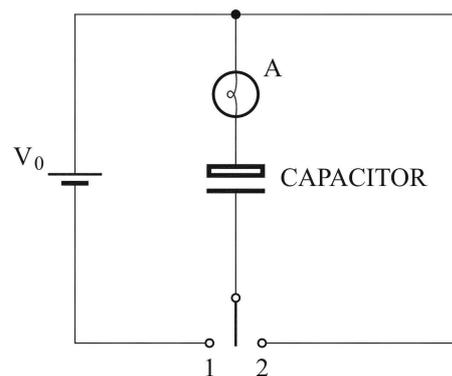
Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:

a) a chave é colocada na posição 1. O que ocorre

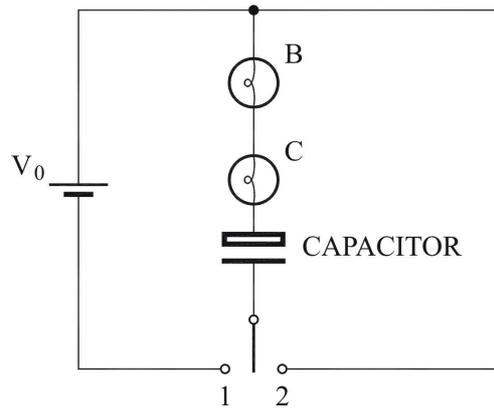
com a lâmpada? (imediatamente após a chave ser

fechada e até muito tempo depois) Explique.

b). Em seguida (após atingido o estado estacionário) a chave é colocada na posição 2. Descreva o comportamento da lâmpada imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois. Explique.



2. O circuito ilustrado ao lado contém uma bateria com tensão V_0 (constante), duas lâmpadas idênticas (B e C), uma chave e um capacitor. Inicialmente ($t = 0$) o capacitor está descarregado.



Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:

a) a chave é colocada na posição 1. O que ocorre com as lâmpadas logo após a chave ser fechada até muito tempo depois? Como o brilho inicial das lâmpadas B e C se comparam Explique.

b) muito tempo depois de a chave ser fechada, como a tensão no capacitor se compara (maior, menor ou igual) com a tensão na bateria?

c) Suponha que depois de muito tempo da chave ter sido colocada na posição 1 (situação b) a chave seja colocada na posição 2. Descreva o comportamento do brilho das lâmpadas e da carga no capacitor.

d) qual a diferença entre o comportamento deste circuito e do problema anterior?

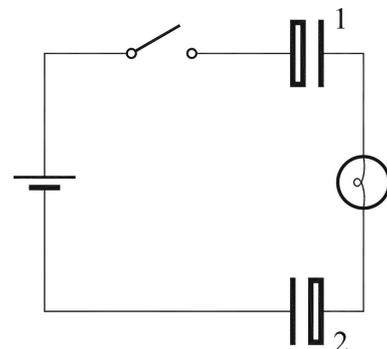
3. a) equacione a situação do exercício 1.a considerando que a lâmpada se comporta aproximadamente como um resistor de valor R . Obtenha a expressão para a tensão do capacitor, $V_C(t)$, a tensão na lâmpada, $V_A(t)$ e a corrente $I(t)$. Esboce os gráficos de $V_C(t)$, $V_A(t)$ e a corrente $I(t)$.

b) Encontre o valor do tempo de subida, t_r (rise time), definido como o tempo necessário para que a tensão do capacitor suba de 10% a 90% do valor final (estado estacionário, $t \rightarrow \infty$). Expresse seu resultado em termos de $\tau = RC$

b) idem ao item a) para o caso descrito no exercício 1.b.

4. Um resistor de $15,2 \text{ k}\Omega$ e um capacitor estão ligados em série. Um potencial de $13,0 \text{ V}$ é subitamente aplicado á associação. O potencial aplicado ao capacitor sobe para $5,00 \text{ V}$ em $1,28 \mu\text{s}$. (a) calcule a constante de tempo. (b) Encontre a capacitância do capacitor.

5. A figura ao lado mostra o experimento onde dois capacitores, de capacitâncias iguais $C_1 = C_2 = C$, são ligados a uma fonte de tensão V_0 e uma lâmpada. Suponha que a chave seja fechada em $t=0$.



a) Logo após a chave ser fechada ($t \sim 0$) classifique a corrente na fonte (I_0), na lâmpada (I_L), no capacitor C_1 (I_{C1}) e no capacitor C_2 (I_{C2}).

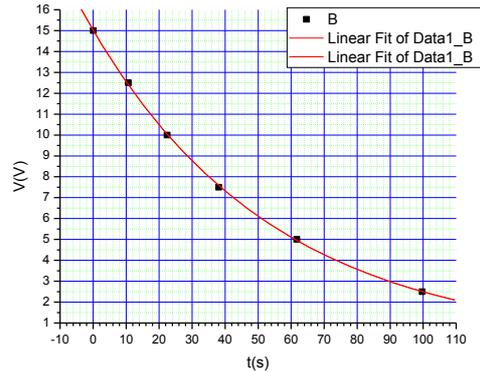
b) Após o sistema atingir o estado estacionário, compare o valor das cargas nos capacitores (Q_1 e Q_2) e suas tensões (V_{C1} e V_{C2}).

c) Repita os itens a) e b) considerando agora que os capacitores são diferentes, com capacitâncias $C_1 = 2C_2 = C$.

6.

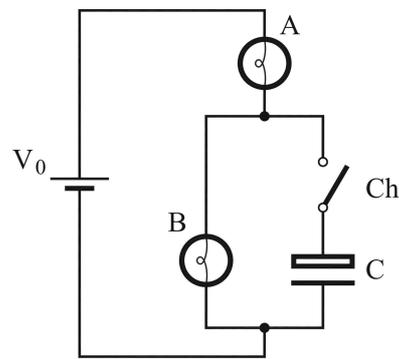
O gráfico ao lado ilustra a curva de decaimento de um circuito RC, ou seja, a dependência temporal da tensão no capacitor, $V_C(t)$.

- Faça um gráfico em papel monolog de $V_C(t)$.
- Calcule (aproximadamente) a constante de tempo do decaimento.



7.

a) Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) de capacitância $C=0.1F$, são conectados a uma bateria ideal (com tensão $V_0=10V$) tal como ilustrado na Figura ao lado.



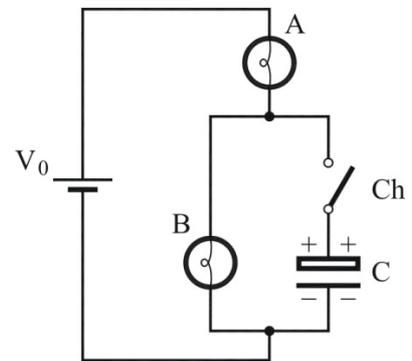
Logo após a chave ser fechada ($t \sim 0$):

- descreva o que observou em relação ao brilho das lâmpadas A e B.
- Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada A (V_A), na lâmpada B (V_B), no capacitor (V_C)?

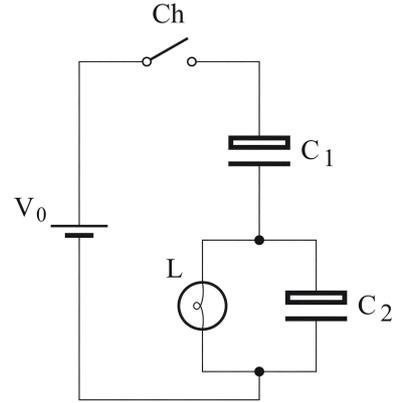
iii) Como uma primeira aproximação, considere que a lâmpada se comporta como um resistor ôhmico, com resistência efetiva de valor $R=100\Omega$. Em $t \sim 0$, calcule os valores das tensões V_A , V_B e V_C ; e correntes I_0 (da bateria), I_A , I_B e I_C .

iv) repita o item iii) no caso $t \rightarrow \infty$, ou seja, muito tempo após a chave ser fechada quando o estado estacionário é atingido.

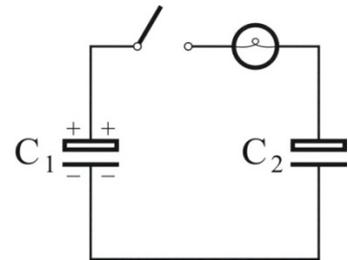
b) considere agora o caso em que inicialmente ($t \sim 0$) o capacitor está carregado com tensão $V_C(t \sim 0)=V_0$. (Faça como no item a.) considerando esta situação.



8. Faça um prognóstico detalhado (de modo análogo ao feito no experimento III.C) o comportamento do circuito ao lado, supondo que inicialmente os dois capacitores estejam descarregados e que as capacitâncias sejam iguais ($C_1 = C_2 = C$).



9. Considere o experimento realizado nesta prática (V.A), com dois capacitores idênticos, $C_1=C_2=C$. Inicialmente (antes da chave ser fechada) C_1 está carregado, com carga $Q_{10}=V_0 \cdot C$, e C_2 descarregado ($Q_{20}=0$).

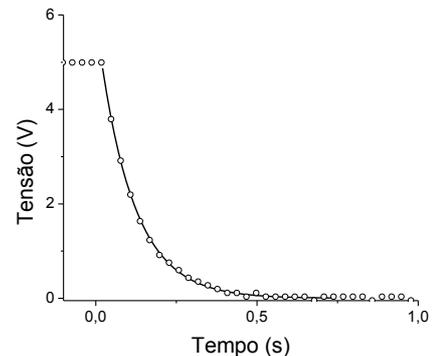


- Qual o valor das cargas Q_1 e Q_2 , muito tempo após a chave ser fechada?
- Compare o valor da carga inicial $Q_i = Q_{10} + Q_{20}$ com a carga final $Q_f = Q_1 + Q_2$.
- A Energia armazenada em um capacitor é dada por $U=V^2/2$. Calcule a energia inicial do sistema, U_i .
- Calcule a energia final do sistema, U_f .
- Conclusão: há conservação da carga do sistema? Há conservação da energia do sistema?

10. Um estudante realizou um experimento descarregando um capacitor (C) através de um resistor R ($R=1000\Omega$), obtendo o Gráfico ao lado. Ele mediu a resposta transiente da tensão no resistor obtendo:

$$V_R(t) = 5,0 \cdot \exp(-9,8t), \quad (\text{dados no MKS})$$

onde $t = 0$ representa o instante em que a chave foi fechada e o capacitor começou a descarregar.



- Qual o valor da tensão inicial (em $t=0$) do capacitor, V_0 ?
- A partir de $V_R(t)$, calcule a dependência da corrente, $I(t)$.

obs: lembre-se da relação entre $Q(t)$ e $I(t)$

- Obtenha o comportamento da carga no capacitor, $Q(t)$, e o valor da carga inicial, Q_0 .
- Suponha agora que em outro experimento, mas com o mesmo capacitor (C) e resistor (R), a tensão inicial fosse $V_0' = V_0/2$. Qual o novo valor da carga inicial, Q_0' ?

- e) Você deve ter chegado à conclusão que Q_0 é proporcional a V_0 , ou seja, $Q_0 = C \cdot V_0$. Podemos afirmar que, em qualquer instante, $Q(t) = C \cdot V(t)$, onde C é uma constante? Porque?
- f) É interessante agora refazer o problema considerando o caso geral, ou seja, a resolução literal do problema onde $V_R(t) = V_0 \cdot \exp(-t/\tau)$. A partir disto, obtenha $I(t)$, $Q(t)$ e a constante C , a qual deve ser expressa em termos de R e τ . Verifique se esta solução está de acordo com o que você concluiu nos itens anteriores.

Bibliografia

1. Tipler, P. A.; Física, Vol. 2, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S.A., Brasil, 1984.

Obs: este assunto é abordado em todos os livros de Física Geral

Respostas.

- 1.) a.) A lâmpada brilha de começo, e com o tempo se apaga.
b.) Novamente a lâmpada se acende e muito tempo depois se apaga. Mas, dessa vez o capacitor não está carregado e sim descarregado.
2.) a.) As lâmpadas, como no exercício anterior, brilham de começo e com o tempo se apagam. O brilho inicial das lâmpadas são equivalentes.
b.) Muito tempo depois de ser fechada a tensão no capacitor está muito próxima à tensão na bateria.
- 3.) a.) $V_R(t) = V_0 e^{-t/RC}$; $V_C(t) = -V_0 e^{-t/RC}$; $I(t) = (-V_0 e^{-t/RC})/R$
b.) $\tau = 2,19RC$
- 4.) a.) 79μ b.) $5,2F$
- 5.) a.) Logo após fecharmos o circuito a corrente é a mesma em torno dele todo.
b.) Após atingido o estado estacionário, ambos capacitores possuem carga e tensões iguais.
c.) Agora que a capacitância de um dos capacitores é o dobro do outro, a corrente em todo o circuito vai diminuindo conforme o tempo, homogeneamente, tal qual os exercícios anteriores. Contudo, quando atingido o estado estacionário, o capacitor de menor capacitância termina com o dobro de tensão do outro.
- 7.) a.) i.) A continua brilhando normalmente, mas B se apaga.

Logo que a chave é fechada $V_a = V_b = V_c = V_0$

- b.) Logo após fecharmos a chave nada muda e nem muito tempo depois.
- 8.) i.) Logo que se fecha a chave ,o brilho da lâmpada é intenso.
 ii.) em $t \sim 0$ $V_l = V_{c1} = V_{c2} = V_o$.
 iv.) Em $t \sim \text{infinito}$ $V_l = 0$, $V_{c1} = V_o$ e $V_{c2} = 0$
- 9.) a.) Muito tempo depois os dois capacitores possuirão cargas iguais.
 b.) $Q_i = Q_{10} + Q_{20} = Q_f = Q_1 + Q_2$
 c.)
 d.)
 e.) Desprezando as dissipações do sistema, há conservação de carga e energia.
- 10.) a.) 5V
 d.) $Q(t) = 0,049 \cdot \exp(-9,8t)$, $Q_o = 0,049$