

Física Experimental III - Experiência E6

Carga e descarga de capacitores

OBJETIVOS

Estudo do circuito RC-série com corrente contínua.

Evolução temporal da corrente elétrica num circuito envolvendo carga ou descarga de capacitores.

Obtenção da constante de tempo de um circuito RC-série.

MATERIAL

Circuito RC, fonte de tensão contínua, multímetro analógico, cronômetro, fios de ligação.

TEORIA

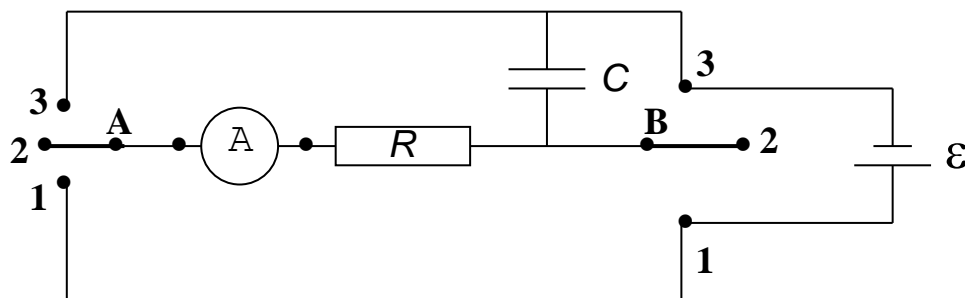
As seguintes equações descrevem respectivamente a evolução temporal da carga acumulada no capacitor e da corrente em um circuito RC em série, durante os processos de carga (a partir da carga inicialmente nula) e descarga (a partir da carga inicial q_0):

$$\begin{aligned} \text{Processo de } \mathbf{carga}: \quad q(t) &= C\varepsilon[1 - e^{(-t/\tau)}] & i(t) &= (\varepsilon/R)e^{(-t/\tau)} \\ \text{Processo de } \mathbf{descarga}: \quad q(t) &= q_0e^{(-t/\tau)} & i(t) &= -(\varepsilon/R)e^{(-t/\tau)}, \end{aligned}$$

onde R e C são respectivamente a resistência do resistor e a capacitância do capacitor que compõem o circuito RC; ε é a força eletromotriz (constante) que alimenta esse circuito durante o processo de carga; e $\tau = RC$ é a *constante de tempo* do circuito RC. O parâmetro τ mede o tempo necessário para que a carga no capacitor atinja aproximadamente 63 % do seu valor máximo no processo de carga ou 37 % do seu valor inicial no processo de descarga. Assim, a constante de tempo fornece um indicativo do tempo necessário para que o circuito atinja um estado estacionário tanto no processo de carga quanto no processo de descarga. O sinal negativo da corrente no processo de descarga significa que a carga acumulada no capacitor diminui com o passar do tempo, e indica que a corrente nesse processo tem o sentido inverso àquele do processo de carga. Observe que se o capacitor for descarregado a partir de sua carga máxima adquirida durante o processo de carga, então $q_0 = C\varepsilon$.

PROCEDIMENTOS

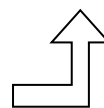
1. A experiência consiste em carregar e descarregar um capacitor através de um resistor, registrando a variação temporal da corrente no circuito durante os processos de carga e descarga. Para isso será fornecido a cada grupo um circuito RC com os componentes já montados, de acordo com o esquema a seguir. O primeiro procedimento fundamental nessa experiência consiste em *examinar detalhadamente* a montagem do circuito fornecido e *procurar entender* o seu funcionamento (observe atentamente o funcionamento das chaves **A** e **B**, examinando em que posições elas fecham contato elétrico).



2. Leia os valores nominais da resistência R e da capacitância C presentes no circuito. Anote esses valores na *folha de dados* em anexo. Estabeleça o valor máximo inicial de corrente a ser usado nesse circuito (50 ou 100 μA), levando em consideração o valor de R , a potência máxima dissipada por esse resistor, a tensão máxima disponível na fonte de tensão contínua e as escalas do amperímetro disponível.
3. Conecte um *amperímetro analógico* na posição indicada no esquema do circuito RC. Ajuste o fundo de escala do amperímetro de acordo com o valor máximo de corrente calculado no item anterior. Tome o cuidado de verificar o sentido da corrente através do amperímetro e de inverter a polaridade deste quando passar do processo de carga para o processo de descarga (observe nas expressões para a corrente em função do tempo fornecidas anteriormente que o sentido da corrente durante a carga é oposto àquele da descarga).
4. **Processo de carga:** Siga os passos abaixo, conectando sucessivamente as chaves **A** e **B** nas posições **1, 2 e 3** (veja o esquema anterior).

a) A1 e B3: capacitor descarregado (em curto-circuito), corrente passando somente através da resistência.

b) A1 e B2: circuito RC em série com a fonte de tensão, capacitor carregando.



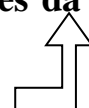
c) A2 e B2: capacitor carregado, terminais em circuito aberto. **INVERTER TERMINAIS DO AMPERÍMETRO**

5. **Processo de descarga:**

a) A2 e B1: capacitor totalmente carregado (conectado diretamente à fonte de tensão).

b) A3 e B1: capacitor totalmente carregado, corrente passando somente através da resistência (sentido oposto ao do processo de carga!).

c) A3 e B2: circuito RC em série (sem fonte de tensão), capacitor descarregando.



Obs.: Procure entender detalhadamente os diferentes circuitos que são formados com essas escolhas das posições das chaves **A** e **B**.

6. Com as montagens indicadas em 4a e 5b você poderá ajustar o valor máximo inicial de corrente (50 ou 100 μA) respectivamente durante os processos de carga e descarga.
7. Anote na folha de dados em anexo os valores de corrente (medidos no amperímetro) em função do tempo, durante os processos de carga e descarga (itens 4b e 5c acima). Lembre-se de registrar também a

incerteza total de cada medida de corrente (a qual depende do fundo de escala utilizado), levando em consideração a incerteza instrumental, como foi feito em experiências anteriores envolvendo multímetros analógicos.

8. Para a medida do tempo, utilize ou um cronômetro analógico fornecido no laboratório ou algum cronômetro digital de pulso que você porventura tenha à disposição. As medidas de corrente em função do tempo devem ser efetuadas seguidas vezes e deve-se tomar a *média aritmética* e o *desvio da média* dos valores medidos de tempo para a obtenção respectivamente do valor médio e da incerteza no tempo correspondente a cada valor de corrente.

9. O método a ser usado para a aquisição dos diversos pontos experimentais pode ser escolhido por cada grupo em concordância com o professor. Uma sugestão de procedimento é a seguinte: Estabeleça uma série de valores decrescentes de corrente em intervalos iguais e meça os tempos para que a corrente atinja esses valores a partir do valor máximo inicial, repetindo sucessivamente os passos 4a e 4b para o processo de carga. A seguir faça o mesmo para o processo de descarga, repetindo sucessivamente os passos 5b e 5c.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Expor as equações diferenciais e as soluções para carga e corrente em função do tempo, durante os processos de carga e descarga.
- Como linearizar uma curva com comportamento exponencial.
- Como se define e para que serve a constante de tempo do circuito RC-série.
- Como obter experimentalmente a constante de tempo do circuito RC-série.
- Como avaliar os valores médios e as incertezas nas medidas do tempo. Apresentar as expressões para média e desvio da média.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Discutir as equações diferenciais e as soluções para carga e corrente em função do tempo, durante os processos de carga e descarga em um circuito RC-série.
- Discutir as condições iniciais envolvidas nessas soluções.
- Expor como a constante de tempo pode ser extraída a partir de uma curva de corrente em função do tempo (a) sem linearização e (b) linearizada. Essas expressões serão utilizadas posteriormente para a determinação experimental da constante de tempo.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize os circuitos correspondentes a *cada uma* das associações dos itens 4 e 5.
- Descreva qual a metodologia empregada para a aquisição dos dados experimentais de corrente em função do tempo.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Em uma folha de papel milimetrado, monte os gráficos de corrente \times tempo para os processos de

carga e descarga do capacitor. Não esqueça de colocar as barras de incerteza correspondentes a cada ponto experimental.

- Utilize a definição de constante de tempo apresentada anteriormente para obter uma estimativa da constante de tempo durante os processos de carga e descarga, a partir da corrente inicial.
- Monte dois gráficos logarítmicos de corrente \times tempo para os processos de: carga e descarga. O primeiro para o processo de carga. Neste trace a curva de corrente em função do tempo diretamente em papel mono-log. No segundo gráfico, o logaritmo natural (ou decimal) do módulo da corrente/ (i^*) , para o processo de descarga, em papel milimetrado. Não se esqueça de colocar as barras de incerteza correspondentes a cada ponto experimental. No caso dos gráficos de logaritmo da corrente/(corrente inicial), acrescente duas colunas à tabela de dados de corrente em função do tempo, contendo o logaritmo natural da corrente e a sua incerteza.
- A partir dos coeficientes angulares das retas obtidas nos gráficos logarítmicos, obtenha experimentalmente as constantes de tempo (com suas respectivas incertezas) para os processos de carga e de descarga. Lembre-se que a determinação do coeficiente angular é um pouco diferente daquela em papel comum. Veja apêndice II.
- Calcule o valor esperado para a **constante de tempo** a partir dos valores nominais de R e C . Compare com os quatro valores obtidos nos itens anteriores. **Monte uma tabela com os valores de τ : nominal e os outros quatro obtidos nos gráficos, incluindo as incertezas.**

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Os valores de constante de tempo durante os processos de carga e descarga deveriam ser iguais ou diferentes? O que você encontrou experimentalmente?
2. Baseado nos valores de constante de tempo que você encontrou, estime quanto tempo é necessário esperar na prática para que o capacitor utilizado atinja sua carga máxima no processo de carga. E para que ele atinja carga nula na descarga? Como você poderia aumentar ou diminuir esses tempos?
3. A corrente atinge realmente um valor nulo ao final dos processos de carga ou descarga? Considerando o amperímetro usado nas medidas e as condições em que elas foram executadas, a partir de qual valor mínimo a corrente pode ser considerada *efetivamente* nula?
4. Imagine que alguém lhe entregue um capacitor e lhe peça para determinar experimentalmente o valor de sua capacitância. Explique como o procedimento utilizado nessa experiência pode ser aplicado para essa finalidade.

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, LT&C, Vol. 3, Seção 29.8 (sobre circuitos RC em série).

Apostila de Física Experimental I, **Apêndice 1**.

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Capacitância nominal do capacitor: _____ ± _____ () Tensão máxima disponível: _____ ()

Resistência nominal do resistor: _____ ± _____ () Potência: _____ ()

Tensão máxima suportada pelo resistor: _____ Corrente para a tensão máxima: _____

Corrente para a tensão disponível: _____ ()

Escala adequada: _____ () Corrente máxima inicial no circuito: _____ ()

Calcule a constante de tempo nominal (R.C) = ()

Dados de corrente × tempo:

I (_____)	ΔI (_____)	t_1 (____)	t_2 (____)	t_3 (____)	t_4 (____)	t_5 (____)	$\langle t \rangle$ (____)	$\Delta \langle t \rangle$ (____)

Modelo de multímetro: _____ Incerteza Amperímetro: _____

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Resistência nominal do resistor: _____ ± _____ ()

Capacitância nominal do capacitor: _____ ± _____ ()

Corrente máxima inicial no circuito: _____ ± _____ ()

Dados de corrente × tempo:

I (____)	ΔI (____)	t_1 (____)	t_2 (____)	t_3 (____)	t_4 (____)	t_5 (____)	$\langle t \rangle$ (____)	$\Delta \langle t \rangle$ (____)