Exp. 6
Carga e descarga de um Capacitor

FSC2143 - Laboratório de Física III
FSC5123 - Física Experimental II

lemo.ufsc.br
Versão de 13 de março de 2024

1 Objetivos

Neste experimento, cada grupo fará duas montagens distintas de circuito RC (circuito composto por um resistor e um capacitor). Em uma das montagens será observado o processo de carga do capacitor e, na outra, a descarga do capacitor. Os objetivos são:

- Levantar as curvas de tensão no resistor e no capacitor em função do tempo, durante a carga do capacitor;
- Levantar as curvas de tensão no resistor e no capacitor em função do tempo, durante a descarga do capacitor;
- Confrontar modelo teórico e dados experimentais;
- Medir a constante de tempo de um circuito RC.

2 Teoria Básica

Em um experimento de carga de capacitor, o circuito é formado por uma associação em série de uma capacitância (C) com uma resistência elétrica (R) e alimentado por uma fonte de tensão e corrente contínuas. O circuito é mostrado na figura 1.

Num resistor ôhmico, qualquer que seja o instante de tempo, a tensão entre seus terminais é sempre proporcional à corrente que passa por ele:

$$\boxed{\text{Resistor ôhmico:} \quad V(t) = R\, i(t)}, \tag{1}$$

onde R é o valor da resistência, geralmente medida em ohms (Ω). A tensão num resistor acompanha, portanto, variações na corrente.

Já no capacitor, a tensão entre os terminais não depende da corrente, mas da carga acumulada nas placas. De fato, se numa placa temos uma carga $+q$ e na outra uma carga $-q$, a tensão no capacitor é

$$\boxed{\text{Capacitor:} \quad V(t) = \frac{q(t)}{C}}, \tag{2}$$

onde C é o valor da capacitância, geralmente medida em farads (F).

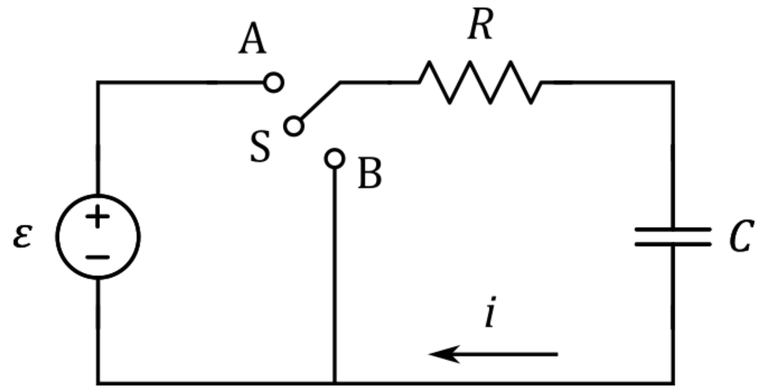

Figura 1 Esquema de um circuito RC em série.

2.1 Carga do capacitor

No instante em que a chave comutadora S for ligada em A, o capacitor começa a ser carregado através da corrente i que circula pela resistência R, com a fonte previamente ajustada a um valor de tensão nominal ε.

Pela segunda lei de Kirchhoff, ou lei das malhas,

$$V_R(t) + V_C(t) = \text{constante} = \varepsilon. \tag{3}$$

onde V_R e V_C são as tensões no resistor e no capacitor. A tensão aplicada, portanto, se distribui entre os dois componentes de tal forma que a soma $V_C + V_R$ permanece constante e igual a ε em qualquer instante de tempo.

Inserindo as expressões (1) e (2) na equação acima, é possível chegar numa equação diferencial para a corrente do circuito. Ao resolver essa equação, encontra-se as funções dependentes do tempo que descrevem as tensões no capacitor e no resistor, a carga elétrica no capacitor e a corrente no circuito.

O aluno interessado em se aprofundar, pode encontrar estes cálculos nas referências fornecidas. Para a realização deste experimento, podemos focar apenas nos resultados, que são:

$$\text{Corrente no circuito:} \quad i(t) = \frac{\varepsilon}{R}\,\mathrm{e}^{-t/RC} \tag{4}$$

$$\text{Carga no capacitor:} \quad q(t) = C\,\varepsilon\left(1 - \mathrm{e}^{-t/RC}\right) \tag{5}$$

$$\text{Tensão no resistor:} \quad V_R(t) = \varepsilon\,\mathrm{e}^{-t/RC} \tag{6}$$

$$\text{Tensão no capacitor:} \quad V_C(t) = \varepsilon\left(1 - \mathrm{e}^{-t/RC}\right) \tag{7}$$

A partir das duas últimas equações acima, observamos as seguintes propriedades:

- No instante inicial, $t = 0$, a tensão está concentrada no resistor: $V_R = \varepsilon$ e $V_C = 0$.
- Quando $t \to \infty$, a tensão tende a se concentrar no capacitor: $V_R \to 0$ e $V_C \to \varepsilon$
- Quando $t = RC$, temos $V_R = \varepsilon\,\mathrm{e}^{-1} = 0,37\,\varepsilon$ e $V_C = \varepsilon(1 - \mathrm{e}^{-1}) = 0,63\,\varepsilon$

A quantidade $\tau = RC$ é denominada *constante de tempo do circuito RC* e tem unidade de tempo. A constante de tempo τ é uma figura de mérito útil para avaliar o tempo típico de carga (ou descarga) de um capacitor num circuito RC. Como vimos acima, τ é igual ao tempo necessário para carregar um capacitor de maneira a atingir 63% de sua tensão final. Transcorrido um tempo $t = 5\tau$, por exemplo, $V_C \simeq 0,993\,\varepsilon$ (>99% da tensão final).

A figura 2 mostra o gráfico das curvas de tensão no capacitor e no resistor em função do tempo, durante o processo de carga do capacitor.

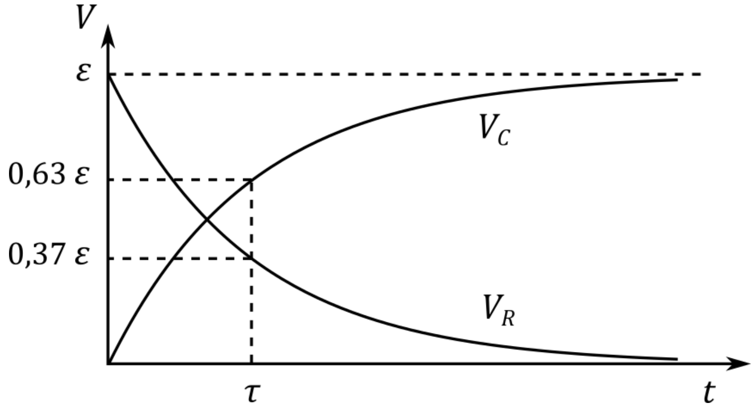

Figura 2 Tensão no capacitor e no resistor em função do tempo no processo de carga do capacitor

A corrente no circuito também varia com o tempo, tal como se infere da equação (4). De fato, se $t = 0$, então $i = \varepsilon/R$. E, quando $t \to \infty$, temos $i \to 0$. A corrente não se mantém constante durante o processo de carga porque, à medida que o capacitor vai carregando, aumenta a repulsão elétrica aos portadores de carga que se aproximam do capacitor, "freando" progressivamente a corrente elétrica até que esta se anule e o capacitor atinja a carga máxima $q = C\varepsilon$.

2.2 Descarga do capacitor

Se, com o capacitor carregado, a chave comutadora S for ligada em B (ver figura 1), o processo de descarga do capacitor ocorre através da resistência R. De fato, com a chave nesta posição, o circuito é fechado sem que a fonte de tensão contínua participe do processo de descarga. Por isso, a lei das malhas de Kirchhoff toma a seguinte forma:

$$V_R(t) + V_C(t) = \text{constante} = 0. \tag{8}$$

Inserindo as expressões (1) e (2) na equação acima, assim como é feito no estudo do processo de carga do capacitor, é possível chegar numa equação diferencial para a corrente no circuito. A solução dessa equação confere os seguintes resultados:

$$\text{Corrente no circuito:} \quad i(t) = -\frac{\varepsilon}{R}\,\mathrm{e}^{-t/RC} \tag{9}$$

$$\text{Carga no capacitor:} \quad q(t) = C\,\varepsilon\,\mathrm{e}^{-t/RC} \tag{10}$$

$$\text{Tensão no resistor:} \quad V_R(t) = -\varepsilon\,\mathrm{e}^{-t/RC} \tag{11}$$

$$\text{Tensão no capacitor:} \quad V_C(t) = \varepsilon\,\mathrm{e}^{-t/RC} \tag{12}$$

O sinal negativo no segundo membro da equação (9) mostra que o sentido da corrente no resistor é oposto ao sentido da corrente durante o processo de carga, descrito pela equação (4).

Nesta experiência, V_R e V_C serão medidos em função do tempo durante a carga em um circuito RC e, depois, durante a descarga. Com estes valores, é possível construir gráficos das tensões em função do tempo, tanto em escala linear ($V \times t$) quanto em escala logarítmica ($\log V \times t$). A partir dos gráficos, será possível obter um valor experimental da constante de tempo, τ_E.

3 Relação do material

- 01 fonte de tensão contínua
- 01 multímetro digital
- 01 cronômetro digital
- 01 chave dupla tipo faca
- 01 resistor de 680 kΩ
- 01 capacitor eletrolítico de 47 μF (63V)
- cabos para conexões elétricas

4 Esquemas Experimentais

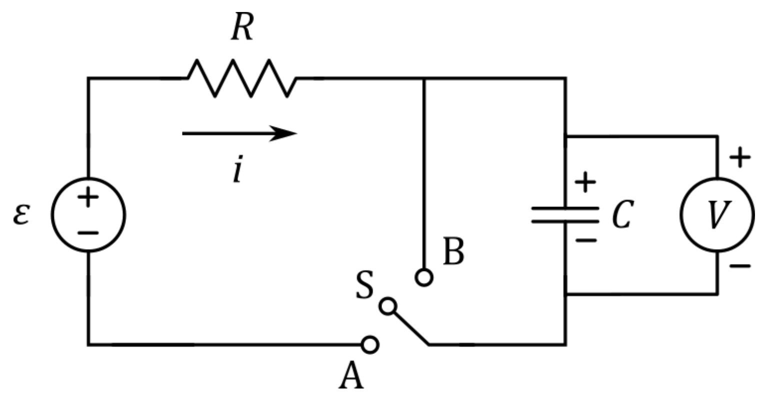

Figura 3 Montagem para medir o processo de **carga** do capacitor

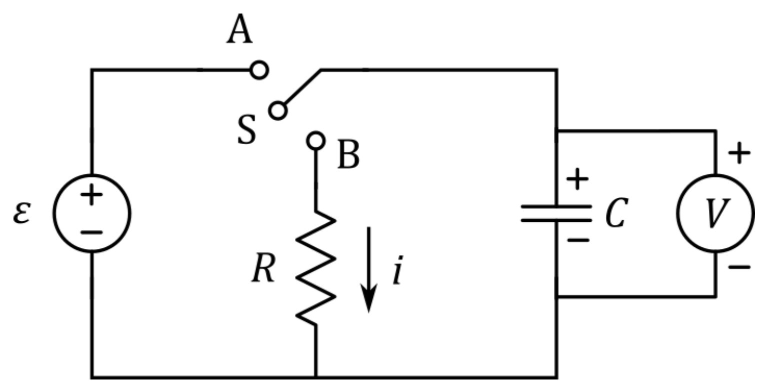

Figura 4 Montagem para medir o processo de **descarga** do capacitor

5 Procedimento Experimental

PRIMEIRA PARTE - Carga do capacitor

1. Monte o circuito da figura 3 utilizando o capacitor e o resistor fornecidos. O terminal (+) do capacitor é o borne vermelho. O voltímetro digital deverá ser conectado ao capacitor observando a polaridade. ***Observação:*** *a chave S, quando fechada em A, permite a carga do capacitor; fechada em B, fará o capacitor descarregar rapidamente.*
2. Mantendo a **chave S aberta**, ligue a fonte de tensão e gire o botão de corrente da fonte até o máximo (isto evita que a fonte limite a corrente fornecida ao circuito). Aplique uma tensão de cerca de 30 V. A medida da tensão aplicada deve ser feita com um voltímetro diretamente na saída da fonte e o resultado anotado na tabela de dados.
3. Feche a chave S em A e, simultaneamente, acione o cronômetro. Anote na tabela de dados os valores de tensão V_C nos terminais do capacitor para intervalos sucessivos de 5,0 segundos. Depois de ter completado a tabela, pare o cronômetro. ***Observação:*** *se achar conveniente repetir as medidas, é necessário, antes, descarregar o capacitor fechando a chave em B.*
4. Descarregue o capacitor fechando a chave em B. Conecte o voltímetro digital nos terminais do resistor e repita o item anterior anotando, desta vez, os valores de V_R na tabela de dados.

SEGUNDA PARTE - Descarga do capacitor

1. Monte o circuito da figura 4, utilizando os mesmos componentes da primeira parte. Por segurança, desconecte a fonte durante a montagem.
2. Ao final da montagem, reconecte a fonte ao circuito e feche a chave S em A para carregar o capacitor. Para iniciar o processo de descarga, mova a chave para a posição B, acionando simultaneamente o cronômetro. Anote os valores da tensão V_C a cada 5,0 segundos, como na parte anterior.
3. Conecte o voltímetro nos terminais do resistor e repita o procedimento do item precedente, anotando V_R. ***Observação:*** *na montagem do voltímetro, atente para que V_R apareça negativo, respeitando a convenção de sinal da malha de descarga!*

6 Questionário

1. (a) Utilizando os dados do processo de **carga** do capacitor (dois multímetros), faça os gráficos experimentais de V_C, V_R e $V_C + V_R$ em função de t. Coloque os três gráficos num único sistema de eixos, para fins de comparação.
   (b) Calcule o valor médio de $V_R + V_C$ ao longo do processo e compare com a tensão ε da fonte.

2. (a) Ainda com os dados do processo de carga, construa um gráfico de $\ln V_R$ em função de t.
   (b) Realize uma regressão linear no gráfico anterior e calcule os coeficientes da reta obtida. A partir deles, obtenha os valores experimentais da constante de tempo (τ) e da tensão inicial (ε), acompanhados de suas respectivas incertezas.

3. (a) Agora, utilizando os dados do processo de **descarga** do capacitor, faça os gráficos experimentais de V_C, V_R e $V_C + V_R$ em função de t.
   (b) Calcule o valor médio de $V_R + V_C$ ao longo do processo e comente o resultado.

4. (a) Ainda com os dados do processo de descarga, construa um gráfico de $\ln V_C$ em função de t.
   (b) Realize uma regressão linear no gráfico anterior e calcule os coeficientes da reta obtida. A partir deles, obtenha os valores experimentais da constante de tempo (τ) e da tensão inicial (ε), acompanhados de suas respectivas incertezas.

5. (a) Nos itens acima, foram obtidos valores experimentais da constante de tempo τ nos processos de carga e descarga. É preciso comparar os valores obtidos experimentalmente com o valor previsto pelo modelo teórico: $\tau = RC$. Use os valores nominais de R e C utilizados no experimento para determinar o τ teórico e sua incerteza.
   (b) Reúna numa única tabela os valores experimentias e o valor teórico de τ. Como os resultados experimentais se comparam à previsão teórica? Encontramos concordância ou discrepância?

Exp. 6 - Carga e Descarga de um Capacitor

GRUPO: ______________ ALUNOS: ____________________________

TURMA: ______________ ____________________________

DATA: ______________ ____________________________

➤ **Valores nominais:**

$C =$ μF

$R =$ kΩ

➤ **Valor teórico (constante de tempo):**

$\tau = RC =$ s

➤ **Tabela de dados**

Tensão na fonte: $\varepsilon =$ V

	Carga do Capacitor			*Descarga do Capacitor*		
t (s)	V_C (V)	V_R (V)	V_C+V_R (V)	V_C (V)	V_R (V)	V_C+V_R (V)