

# Exp. 6

## Carga e descarga de um Capacitor

FSC5143 - Laboratório de Física III  
FSC5123 - Física experimental II

lemo.ufsc.br  
Versão de 27 de agosto de 2019

### 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;
- 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:

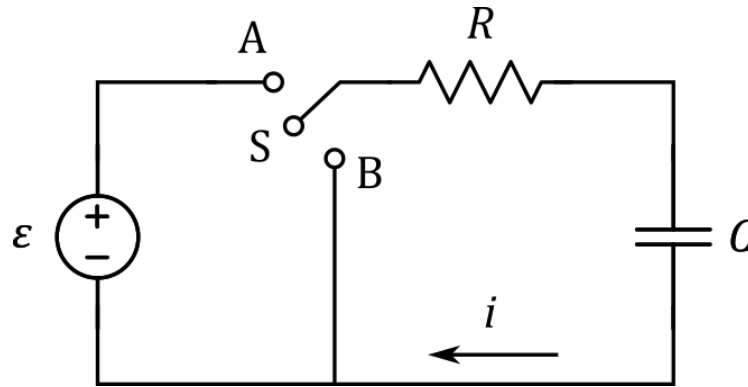
$$\boxed{\text{Resistor ôhmico: } V(t) = R i(t)}, \quad (1)$$

onde  $R$  é o valor da resistência, geralmente medida em ohms ( $\Omega$ ). 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

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

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  $\varepsilon$ .

Pela segunda lei de Kirchhoff, ou lei das malhas,

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

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  $\varepsilon$  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:

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

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

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

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

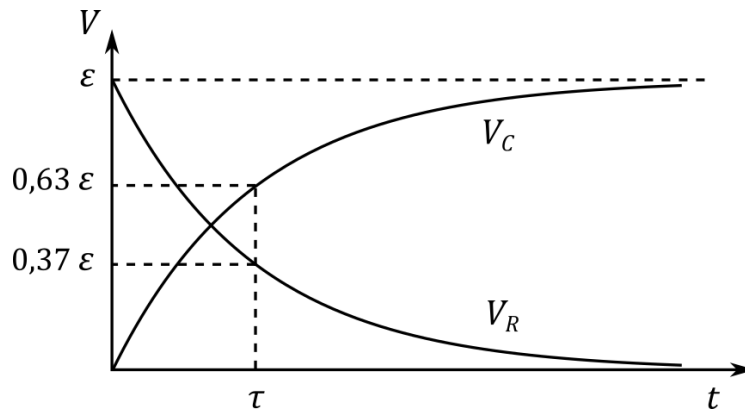
A partir das duas últimas equações acima, observamos as seguintes propriedades:

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

A quantidade  $\tau = RC$  é denominada *constante de tempo do circuito RC* e tem unidade de tempo. A constante de tempo  $\tau$  é uma figura de mérito útil para avaliar o tempo típico de carga (ou descarga) de um capacitor num circuito RC. Como vimos

acima,  $\tau$  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  $t \rightarrow \infty$ , temos  $i \rightarrow 0$ . 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, 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:

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

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:

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

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

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

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

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,  $\tau_E$ .

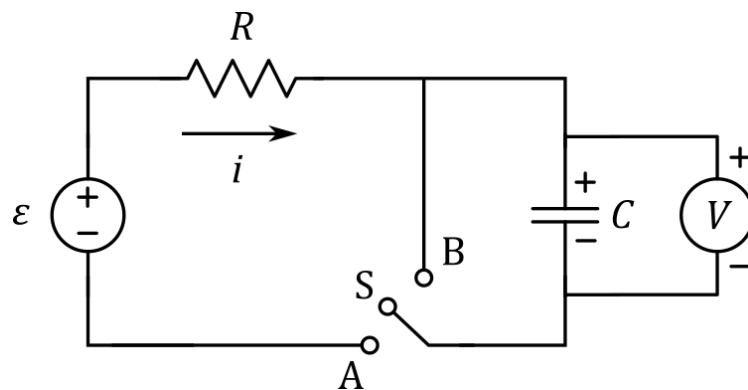
### 3 Referências Bibliográficas

- Halliday, Resnick & Walker, *Fundamentos de Física*, Vol. 3, Ed. LTC
- Moisés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Vol. 3, Ed. Blucher
- Piacentini, Grandi, Hofmann, de Lima & Zimmerman, *Introdução ao Laboratório de Física*, Ed. da UFSC.
- Helene & Vanin, *Tratamento estatístico de dados em física experimental*, Ed. Blucher

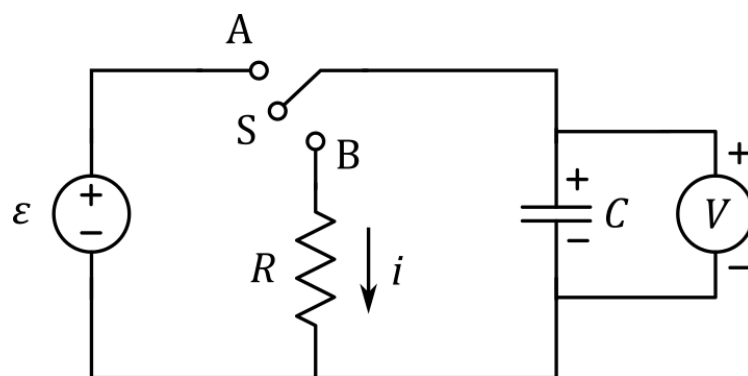
## 4 Relação do material

- 01 fonte de tensão contínua
- 01 multímetro digital
- 01 cronômetro digital
- 01 chave dupla tipo faca
- 01 resistor de  $680\text{ k}\Omega$
- 01 capacitor eletrolítico de  $47\ \mu\text{F}$  ( $63\text{V}$ )
- cabos para conexões elétricas

## 5 Esquemas Experimentais



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



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

## 6 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!

## 7 Questionário

- Utilizando os dados da tabela correspondente ao processo de **carga** do capacitor, faça os gráficos experimentais de  $V_C$ ,  $V_R$  e  $V_C + V_R$  em função de  $t$ . Trace os três gráficos num único sistema de eixos, para fins de comparação.
  - Calcule o valor médio de  $V_R + V_C$  ao longo do processo e compare com a tensão  $\varepsilon$  da fonte.
- Ainda com os dados do processo de carga, construa um gráfico de  $\log V_R$  em função de  $t$ .
  - Calcule os coeficientes da reta obtida e, a partir deles, obtenha os valores experimentais da constante de tempo ( $\tau$ ) e da tensão inicial ( $\varepsilon$ ).
- Utilizando os dados da tabela correspondente ao processo de **descarga** do capacitor, faça os gráficos experimentais de  $V_C$ ,  $V_R$  e  $V_C + V_R$  em função de  $t$ .
  - Calcule o valor médio de  $V_R + V_C$  ao longo do processo e comente o resultado.
- Ainda com os dados do processo de descarga, construa um gráfico de  $\log V_C$  em função de  $t$ .
  - Calcule os coeficientes da reta obtida e, a partir deles, obtenha os valores experimentais da constante de tempo ( $\tau$ ) e da tensão inicial ( $\varepsilon$ ).
- Nos itens acima, foram obtidos valores experimentais da constante de tempo  $\tau$  nos processos de carga e descarga. Monte uma tabela que compare esses valores e apresente seus respectivos erros percentuais com relação ao valor teórico,  $\tau = RC$ .
- Usando os valores nominais dos componentes e a tensão na fonte, calcule, para o processo de carga:
  - a corrente máxima no circuito e a carga elétrica máxima no capacitor;
  - a corrente no circuito e a carga elétrica no capacitor em  $t = \tau$ .
- Suponha que, num circuito similar ao da primeira parte, utilizando-se  $R = 100 \text{ k}\Omega$ , o tempo que o capacitor leva para alcançar 90% da tensão da fonte é de 3,50 segundos. Calcule a capacitância  $C$ .

