

Laboratório 7

Circuito RC*

Objetivo

Observar o comportamento de um capacitor associado em série com um resistor e determinar a constante de tempo do circuito.

Material utilizado

- Gerador de função
- Osciloscópio
- Multímetro digital
- Placa para circuitos
- 1 resistor de $10\text{ k}\Omega$
- 1 capacitor de $0.1\text{ }\mu\text{F}$

1. Capacitores

Um capacitor (ou condensador) é um dispositivo formado por duas placas paralelas, contendo um material dielétrico entre elas. Quando o ligamos a uma fonte de tensão, o capacitor acumula nas suas placas uma quantidade de carga proporcional à voltagem aplicada, armazenando energia elétrica. Se a fonte de voltagem for removida e o capacitor for isolado eletricamente, ele manterá a energia acumulada. Caso o capacitor seja conectado a outros componentes de um circuito completo, ele fornecerá ao circuito a energia armazenada. Por essas características, os capacitores atuam como “baterias” secundárias no circuito, capazes de armazenar e fornecer energia elétrica.

Considere um capacitor conectado a uma fonte de alimentação DC, conforme mostrado na Figura 7.1

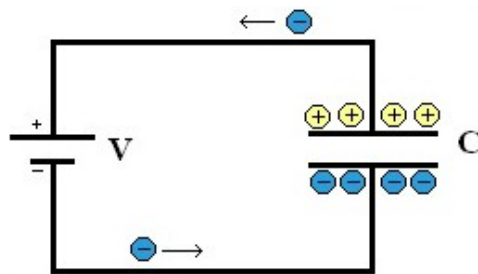


Figura 7.1 – Circuito com um capacitor.

No circuito mostrado acima, os elétrons do terminal negativo da bateria se deslocam em direção a uma das placas do capacitor, e como resultado, haverá um excesso de elétrons nessa placa. Ao mesmo tempo, o terminal positivo da bateria atrai elétrons da placa superior do capacitor, e eles se deslocam em direção a este terminal. Isso produz uma carga líquida positiva nessa placa, e portanto será criada uma diferença de voltagem **entre** as duas placas. Dizemos que o capacitor está sendo **carregado**.

Esse processo se mantém até que a voltagem entre as placas do capacitor seja igual à voltagem da bateria. Nesse ponto, a corrente elétrica cessa e o capacitor está **totalmente carregado**. A quantidade de carga armazenada nas placas do capacitor é proporcional à voltagem entre as placas, e a constante de

* A maioria das figuras desse capítulo foi retirada da apostila *Física Experimental III* do Instituto de Física da UFRJ.

proporcionalidade é chamada **capacitância** do capacitor. Se a carga e a voltagem de um capacitor em um dado momento são, respectivamente, q e V_C , podemos escrever:

$$q = CV_C \quad (7.1)$$

Se substituirmos a bateria por um fio, e adicionarmos uma lâmpada (ou outro componente) ao circuito, os elétrons da placa negativamente carregada seguirão para a placa positiva, criando uma corrente através da lâmpada, que por sua vez será acesa por alguns instantes, mesmo não havendo bateria no circuito. Nesse caso, dizemos que o capacitor foi **descarregado**. A energia elétrica que havia sido armazenada no capacitor foi consumida pela lâmpada.

A capacitância é medida em **farads**. Um farad (abreviado por F) é definido como a capacitância necessária para fazer com que uma corrente de um ampere flua quando a voltagem muda a uma taxa de um volt por segundo. Como um farad é uma quantidade muito grande, encontramos frequentemente capacitores com capacitâncias da ordem de microfarads ($1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$), ou nanofarads ($1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$).

Um capacitor pode armazenar energia elétrica por horas. Portanto, sempre se certifique de que o capacitor está completamente descarregado antes de manuseá-lo!

Aplicações dos Capacitores

Os capacitores são largamente usados nos dispositivos eletrônicos. Fontes de alimentação ininterruptas (*no-breaks*) mantêm capacitores carregados a disposição para o caso de falta de energia. Câmeras fotográficas utilizam capacitores para armazenar temporariamente a energia usada no *flash*, e vários dispositivos usam capacitores para energizar um componente enquanto pilhas ou baterias são trocadas. Capacitores também são usados para selecionar ou rejeitar sinais elétricos, dependendo das suas frequências. Por exemplo, um circuito de sintonia de sistema radioreceptor depende de capacitores e outros dispositivos para permitir que o sinal de uma só emissora passe para o estágio de amplificação.

2. Circuito RC

Nos circuitos os capacitores não são usados isoladamente, havendo sempre um resistor associado em série com ele, mesmo que seja apenas a resistência interna da fonte de tensão. Associações desse tipo permitem controlar o tempo de carga e descarga do capacitor. Esses circuitos, contendo resistores e capacitores, são conhecidos como **circuitos RC**.

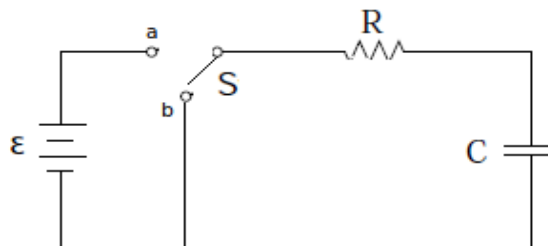


Figura 7.2 – Circuito RC

A Figura 7.2 mostra o diagrama de um circuito RC. Quando a chave S é colocada na posição **a**, o capacitor é conectado à fonte de tensão, e inicia-se o ciclo de carga. Por outro lado, ao se colocar a chave na posição **b**, o capacitor é descarregado através do resistor. Examinaremos em mais detalhes como varia a voltagem do capacitor na carga e descarga.

2.1 – Carregando o capacitor

Quando a chave é conectada à posição **a**, temos pela lei das malhas (vamos desconsiderar a resistência interna da fonte)

$$\varepsilon = V_R + V_C \quad (7.2)$$

Se o capacitor estiver inicialmente descarregado, $V_C = 0$, e portanto $\varepsilon = RI_0$, onde I_0 é a corrente no circuito no instante $t = 0$. À medida que o tempo passa, e como ε é constante, V_C aumenta e V_R diminui. Se a chave ficar ligada na posição **a** por um tempo relativamente longo, o capacitor será totalmente carregado e teremos $V_C = \varepsilon$ e $V_R = 0$ V.

Lembrando que $V_R = RI$, temos

$$\varepsilon = RI + V_C = R \frac{dq}{dt} + V_C = RC \frac{dV_C}{dt} + V_C \quad (7.3)$$

Tomando como condição inicial $V_C = 0$ em $t = 0$, a solução da equação acima é

$$V_C(t) = \varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (7.4)$$

onde $\tau = RC$ é chamado **constante de tempo** do circuito. Usando a Eq. (7.2), obtemos o valor da voltagem no resistor

$$V_R(t) = \varepsilon e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (7.5)$$

Se fizermos $t = \tau$ na Eq. (7.4), teremos

$$V_C(t=\tau) = \varepsilon(1 - e^{-1}) = 0,63\varepsilon \quad (7.6)$$

ou seja, τ é o tempo necessário para que a voltagem de um capacitor, inicialmente descarregado, atinja 63% do valor da tensão da fonte que o carrega.

2.2 – Descarregando o capacitor

Considere agora a situação em que o capacitor está inicialmente carregado, com voltagem V_0 . O capacitor será descarregado através da resistência R ao ligarmos a chave S ao ponto **b** do circuito da Fig. 7.2. Note que agora, a fonte de tensão está fora do circuito. Nessa situação, podemos novamente aplicar a Eq. (7.3), fazendo $\varepsilon = 0$ e $V_C = V_0$ em $t = 0$. As soluções para V_C e V_R serão

$$V_C(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (7.7)$$

$$V_R(t) = -V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (7.8)$$

Para $t = \tau$, temos

$$V_C(t=\tau) = V_0 e^{-1} = 0,37 V_0 \quad (7.9)$$

Na descarga, τ é o tempo necessário para o capacitor atingir 37% do valor inicial da voltagem.

A constante de tempo $\tau = RC$ do circuito pode ser determinada experimentalmente através da medida do tempo de meia-vida do sistema, $t_{1/2}$. O tempo de meia-vida é definido como o tempo necessário para a grandeza medida cair à metade do seu valor inicial. No nosso caso, será o tempo necessário para a carga do capacitor atinja $\varepsilon/2$ durante a carga (ou $V_0/2$ durante a descarga). Pela Eq. (7.7), temos

$$\frac{V_0}{2} = V_0 e^{-\frac{t_{1/2}}{\tau}} \quad (7.10)$$

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \quad (7.11)$$

A Eq. (7.11) se aplica tanto ao processo de carga como de descarga do capacitor.

O valor de τ também poder ser estimado através dos valores de resistência R e capacitância C . Como exemplo, suponha que você disponha de um resistor de $2k\Omega$ e um capacitor de $15 \mu F$. A constante de tempo do circuito será:

$$\tau = RC = 2 \times 10^3 \Omega \times 15 \times 10^{-6} F = 0,030 s = 30 ms$$

Lembre-se que $1 \text{ mili (m)} = 10^{-3}$.

3. Procedimento Experimental

3.1 – Voltagem do capacitor

1. Com o multímetro, faça a medida da resistência do resistor e da capacitância do capacitor.
2. Com o material disponível sobre a bancada, monte o circuito abaixo. Note que o capacitor está ligado em série com o resistor.

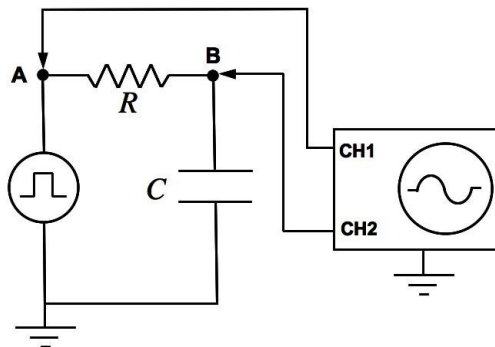


Figura 7.3 – Montagem do circuito para a medida de V_C

3. Ligue o gerador de funções e o ajuste de forma a produzir uma onda quadrada de frequência 200 Hz.
4. Ajuste a amplitude do gerador de funções para $V_0 = 4\text{ V}$ e ligue o osciloscópio.
5. Ajuste as chaves de deflexão vertical e horizontal do osciloscópio. Você deve observar no visor um sinal semelhante ao da figura abaixo.

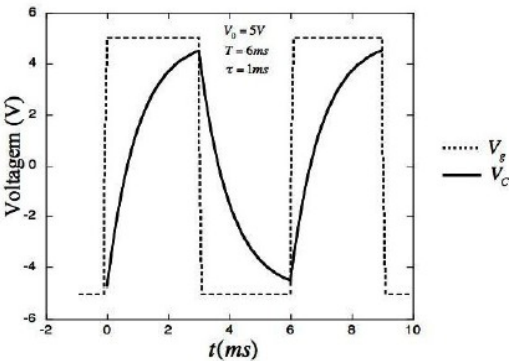


Figura 7.4 – Voltagem do capacitor observada na tela do osciloscópio.

6. Pressione a chave AUTO e use a chave LEVEL do osciloscópio analógico para ter uma imagem estática do sinal na tela. Escolha uma escala de tempo apropriada para visualizar pelo menos meio período do sinal.
7. Meça o tempo necessário para que a voltagem V_C atinja metade do valor de pico na descarga do capacitor (assuma $t = 0$ no ponto onde a voltagem é máxima). Esse tempo corresponde ao tempo de meia-vida $t_{1/2}$ do circuito.
8. Complete a tabela abaixo indicando a medida de $t_{1/2}$ em divisões, a escala utilizada e o valor de $t_{1/2}$ em ms, bem como o seu erro.

$t_{1/2} \pm \sigma_{t_{1/2}}$ (DIV)	Escala (ms/DIV)	$t_{1/2} \pm \sigma_{t_{1/2}}$ (ms)

Tabela 7.1 – Medida do tempo de meia-vida.

9. A partir do valor de $t_{1/2}$, determine a constante de tempo τ do circuito e o seu erro.

3.2 – Voltagem do resistor

1. Monte o circuito da figura abaixo. Nessa configuração, mediremos a voltagem V_R no resistor. Note que este circuito corresponde ao anterior com as posições do capacitor e resistor trocadas.

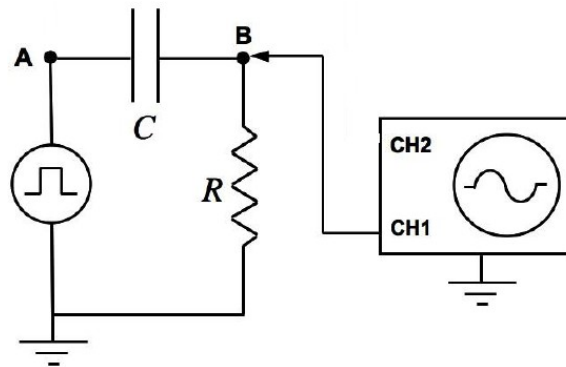


Figura 7.5 – Montagem do circuito para a medida de V_R

2. Ajuste os comandos do osciloscópio de forma a ver na tela uma imagem semelhante à figura abaixo.

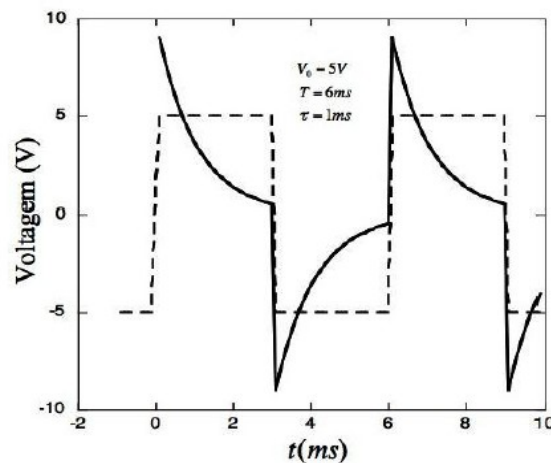


Figura 7.6 – Voltagem do resistor observada na tela do osciloscópio.

3. Para obter uma curva de V_R em função de t com boa resolução, devemos fazê-la ocupar toda a tela do osciloscópio. Para isso, ajuste os controles do gerador de função e do osciloscópio da seguinte forma:

- desloque a posição horizontal do sinal de voltagem para que o decaimento comece na linha vertical mais à esquerda da tela;
- alinhe o nível zero da voltagem V_R à linha inferior da tela.

Você deverá observar na tela a figura abaixo.

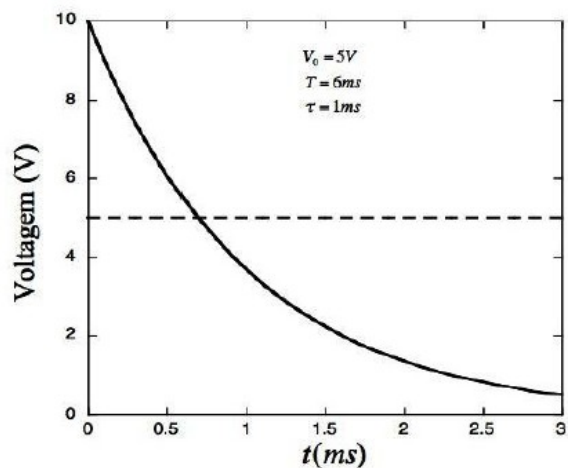


Figura 7.7 – Voltagem do resistor

Caso seja necessário, ajuste novamente os valores de frequência e amplitude do gerador de funções de modo a ver toda a curva de decaimento $V_R \times t$ na tela.

4. Para cada intervalo de tempo correspondente a uma divisão horizontal, faça a medida de voltagem e complete a tabela abaixo. Não esqueça de anotar os valores das escalas de tempo e voltagem utilizadas nas medidas.

Escala de tempo: () ms/DIV

Escala de voltagem: () V/DIV

t (DIV)	V_R (DIV)	t (ms)	V_R (V)	$\ln(V_R)$
0				
1				
2				
3				
4				
5				

Tabela 7.2 – Medida da voltagem no resistor.

5. Determine o valor de τ através de um ajuste linear