Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Campus Blumenau - BNU
Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação - CTE
Departamento de Ciências Exatas e Educação – CEE
Física Experimental III – BLU6210

Experimento 06 – Circuito RC

Introdução

A composição dos circuitos RC é formada por pelo menos um capacitor e um resistor. Na Figura 01 é apresentado um circuito simples desse tipo contendo um resistor R, uma fonte de tensão $\mathcal{E}$, uma chave S (abre e fecha) e um capacitor C, todos associados em série no circuito e formando uma única malha.

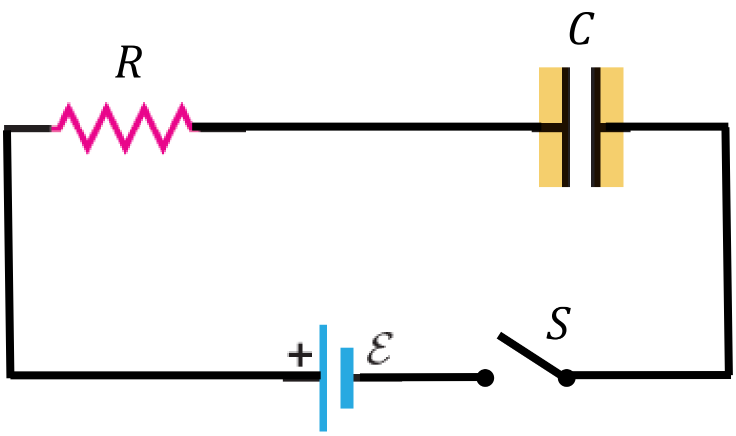

Figura 01: Circuito com um resistor, um capacitor descarregado, uma fonte de tensão e uma chave aberta.

Considerando que inicialmente, no instante $t = 0$, o capacitor encontra-se descarregado ($q = 0$), quando a chave S é fechada, a fonte de tensão $\mathcal{E}$ fornecerá energia e uma corrente elétrica $i(t)$ fluirá pelo circuito, carregando o capacitor com carga $q(t)$, conforme ilustrado na Figura 02. Após um determinado intervalo de tempo, o capacitor estará totalmente carregado com carga final Q_f e não haverá mais corrente elétrica fluindo pelo circuito.

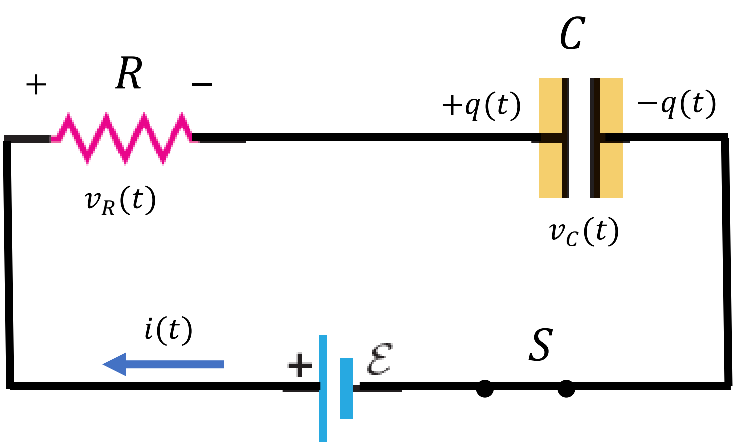

Figura 02: Circuito com um resistor, um capacitor carregando, uma fonte de tensão e uma chave fechada.

Utilizando a Lei das malhas de Kirchhoff para analisar as quedas e incrementos de potencial ao longo do circuito, é possível obter a seguinte expressão:

$$\mathcal{E} - v_R(t) - v_C(t) = 0$$

onde $\mathcal{E}$ é a *fem* fornecida pela fonte de tensão, $v_R(t)$ é a ddp instantânea no resistor e $v_c(t)$ é a ddp instantânea no capacitor durante o processo de carga.

Explicitando a corrente instantânea no circuito e a carga instantânea no capacitor temos:

$$\mathcal{E} - Ri(t) - \frac{q(t)}{C} = 0$$

sendo que a corrente instantânea $i(t)$ pode ser escrita como,

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

Substituindo-a na expressão anterior, obtemos a seguinte equação diferencial:

$$\mathcal{E} - R\frac{dq(t)}{dt} - \frac{q(t)}{C} = 0$$

cuja solução nos fornece uma equação para a carga instantânea $q(t)$ no capacitor durante o processo de carga, conforme ilustrado a seguir:

$$q(t) = C\mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Após um longo intervalo de tempo, quando $t \to \infty$, a expressão de $q(t)$ tende à carga final Q_f no capacitor, quando este está completamente carregado.

Portanto,

$$Q_f = C\mathcal{E}$$

Assim,

$$\boxed{q(t) = Q_f(1 - e^{-\frac{t}{RC}})}$$

Dividindo a expressão da carga instantânea $q(t)$ pela capacitância C temos,

$$\frac{q(t)}{C} = \frac{C\mathcal{E}}{C}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

onde,

$$v_C(t) = \frac{q(t)}{C}$$

sendo $v_C(t)$ a ddp instantânea no capacitor.

Portanto,

$$\boxed{v_C(t) = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})}$$

Derivando a equação da carga instantânea $q(t)$ em relação ao tempo t, obtemos a corrente instantânea $i(t)$ no circuito:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$$i(t) = \frac{d}{dt}\left(C\mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)\right)$$

então,

$$i(t) = \frac{\mathcal{E}}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$$

No instante de tempo $t = 0$, a expressão de $i(t)$ tende à corrente inicial I_0 no circuito, quando o capacitor começa a carregar.

Portanto,

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Assim,

$$\boxed{i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}}$$

A expressão em comum RC, que se encontra em cada uma das equações de $q(t)$, $v(t)$ e $i(t)$, tem dimensão de tempo e é chamada de constante de tempo capacitiva τ_C.

$$\tau_C = RC$$

Sabendo que a corrente elétrica diminui exponencialmente com o tempo, para o instante de tempo τ_C,

$$t = \tau_C = RC$$

temos que,

$$i = I_0 e^{-1}$$

$$i \approx 0{,}37 I_0$$

ou seja, nesse instante de tempo a corrente decresce para um valor que corresponde a aproximadamente 37 % da corrente elétrica inicial I_0 no circuito, quando o capacitor começa a carregar.

Já a carga elétrica no capacitor no instante de tempo τ_C é expressa pela igualdade a seguir:

$$q = Q_f(1 - e^{-1})$$

$$q \approx Q_f(1 - 0{,}37)$$

$$q \approx 0{,}63 Q_f$$

ou seja, nesse instante de tempo o capacitor está carregado com um valor que corresponde a aproximadamente 63 % da carga final Q_f no capacitor durante o processo de carga. Quando τ_C

é pequeno, o capacitor carrega rapidamente e, quando τ_C é grande, o capacitor carrega lentamente.

A mesma análise pode ser feita para a ddp no capacitor no instante de tempo τ_C:

$$v_C = \mathcal{E}(1 - e^{-1})$$

$$v_C = \mathcal{E}(1 - 0{,}37)$$

$$v_C = 0{,}63\mathcal{E}$$

ou seja, nesse instante de tempo a ddp no capacitor possui um valor que corresponde a aproximadamente 63 % da *fem* $\mathcal{E}$ da fonte.

Vamos considerar agora que o capacitor está totalmente carregado com carga inicial Q_0 e que a fonte de tensão $\mathcal{E}$ é removida do circuito, permanecendo apenas o capacitor com uma ddp inicial V, o resistor e a chave S inicialmente aberta (Figura 03).

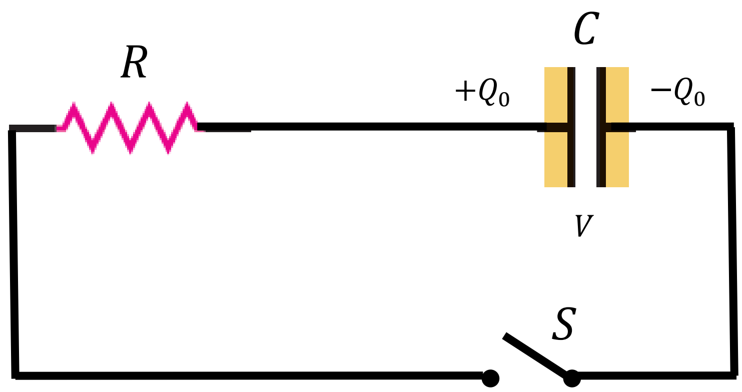

Figura 03: Circuito com um resistor, um capacitor carregado e uma chave aberta.

Ao fechar a chave S do circuito no instante $t = 0$, o capacitor começará a ser descarregado, ou seja, a carga na placa de maior potencial irá fluir pelo circuito, passando pelo resistor R em direção à placa de menor potencial (Figura 04). Ao final do processo de descarga a carga no capacitor será nula.

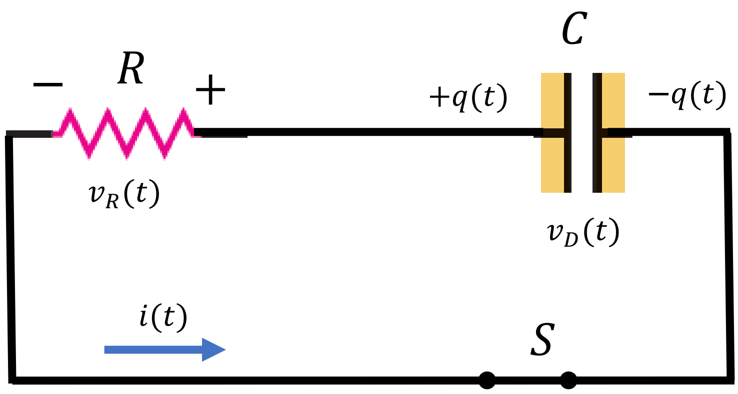

Figura 04: Circuito com um resistor, um capacitor descarregando e uma chave fechada.

Utilizando a Lei das malhas de Kirchhoff para analisar as quedas e incrementos de potencial ao longo do circuito, é possível obter a seguinte expressão:

$$v_D(t) - v_R(t) = 0$$

onde $v_D(t)$ é a ddp instantânea no capacitor durante o processo de descarga e $v_R(t)$ é a ddp instantânea no resistor.

Explicitando a corrente instantânea no circuito e a carga instantânea no capacitor temos:

$$\frac{q(t)}{C} - Ri(t) = 0$$

sendo que a corrente instantânea $i(t)$ pode ser escrita como,

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

Substituindo-a na expressão anterior, obtemos a seguinte equação diferencial:

$$\frac{q(t)}{C} - R\frac{dq(t)}{dt} = 0$$

cuja solução nos fornece as equações para a carga instantânea $q(t)$ e a ddp instantânea $v_D(t)$ no capacitor durante o processo de descarga, além da corrente instantânea $i(t)$ no circuito.

Assim, para o processo de descarga de um capacitor, temos:

$$\boxed{q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}}$$

$$\boxed{v_D(t) = V e^{-\frac{t}{RC}}}$$

$$\boxed{i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}}$$

Objetivos

- Analisar e comparar os processos de carga e descarga de capacitores em diferentes circuitos RC;
- Verificar os perfiz das curvas de carga e descarga de um capacitor e obter parâmetros físicos;
- Determinar experimentalmente a constante de tempo capacitiva.

Resumo do Experimento

Com a utilização de um sensor e um programa da PASCO, neste experimento será registrada e analisada a corrente e a ddp entre os terminais de um capacitor ao longo tempo, durante os processos de carga e descarga. Inicialmente o circuito estará conectado a uma fonte de tensão e um resistor (processo de carga do capacitor). A seguir a fonte será removida do circuito (processo de descarga do capacitor). Com o auxílio do gráfico produzido pelo sensor e pelo programa, será possível analisar os comportamentos da corrente elétrica e ddp no capacitor em função do tempo.

Materiais

- 01 AC/DC Eletronics Laboratory EM-8656 ;
- 01 USB LINK PS-2100A – conector do sensor;
- 02 Sensor Voltage/Current PS-2115 (sensor para medir ddp e corrente);
- 02 Capacitores ($C_1 = 330\ \mu F$ e $C_2 = 1\ \mu F$);
- 03 Resistores ($R_1 = 1\ k\Omega$, $R_2 = 10\ k\Omega$ e $R_3 = 100\ k\Omega$);
- 02 Plugs do tipo jacaré;
- 01 Chave com 3 terminais (liga/liga)
- 01 fio condutor;
- 01 DC Programmable Power Supply PI-9880 (fonte de tensão e corrente);
- 01 computador;
- Programa da PASCO para análise de dados.

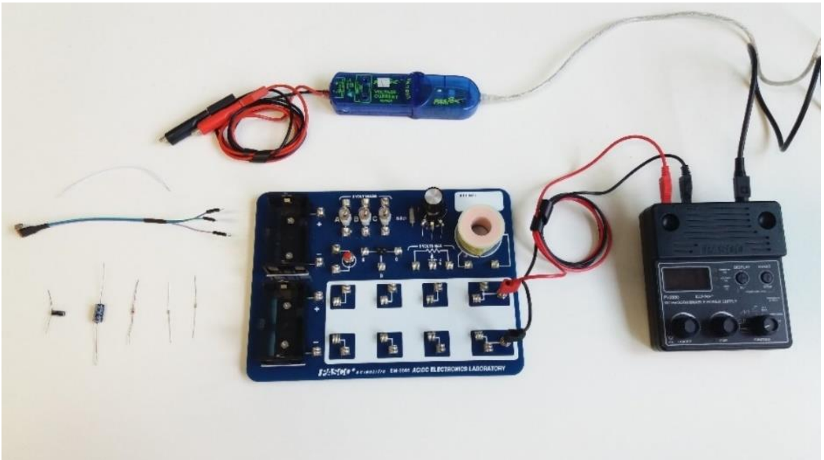

Figura 05: Materiais utilizados no experimento de circuito RC.

Procedimento Experimental

1) Certifique-se de que o capacitor $C_1 = 330\ \mu F$ esteja totalmente descarregado, ligando seus terminais através de um fio condutor;
2) Monte o circuito mostrado na Figura 06 (capacitor $C_1 = 330\ \mu F$, resistor $R_1 = 1\ k\Omega$, chave com 3 terminais (liga/liga), fio condutor, sensor (no capacitor) e fonte de tensão);

<u>**ATENÇÃO:**</u> *NÃO PRENDA OS JACARÉS NOS TERMINAIS CONECTORES (MOLAS) DO AC/DC ELETRONICS LABORATORY.*

<u>**OBSERVAÇÃO:**</u> *AS CORES DOS FIOS DA CHAVE LIGA/LIGA EVENTUALMENTE PODEM SER OUTRAS, DEPENDENDO DA BANCADA UTILIZADA.*

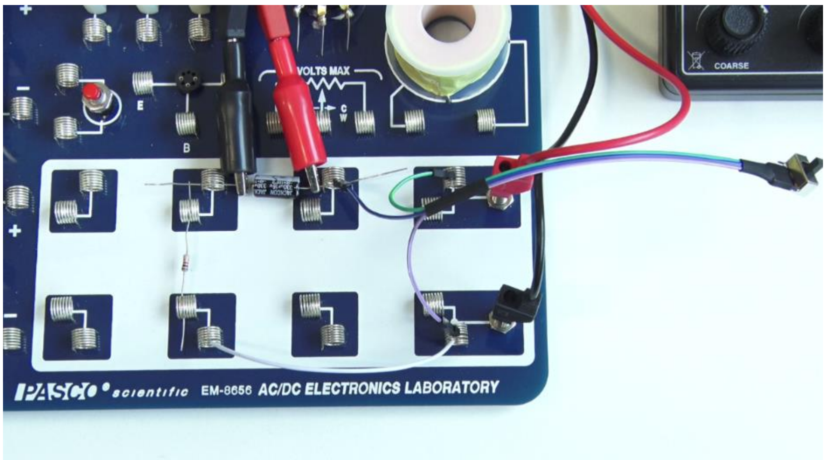

Figura 06: Esquema de montagem do circuito RC.

3) Verifique se a chave liga/liga está na posição em que a fonte esteja desconectada do circuito (detalhes do funcionamento da chave encontram-se descritos a seguir);

FUNCIONAMENTO DA CHAVE: NO EXEMPLO DA FIGURA 07, COMO O BOTÃO DA CHAVE ESTÁ PARA CIMA, OS FIOS VERDE E AZUL ESTÃO CONECTADOS. CASO O BOTÃO ESTIVESSE PARA BAIXO, OS FIOS AZUL E LILÁS ESTARIAM CONECTADOS.

Figura 07: Chave liga/liga.

4) Ligue a fonte de tensão e com o controle "COARSE" selecione a tensão de 3,00 V;
5) Na aba "Gráficos carga/descarga" do programa da PASCO para análise de dados, clique em "Gravar";
6) Mude a posição da chave liga/liga para "introduzir" a fonte no circuito (Figura 08);

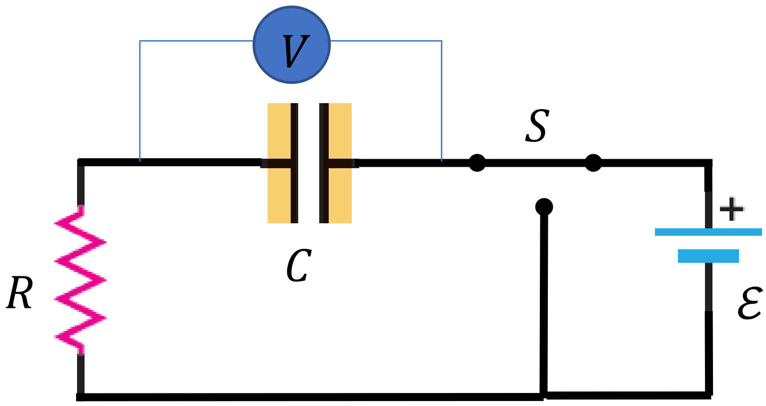

Figura 08: Posição da chave para "introduzir" a fonte no circuito.

7) Espere a ddp no capacitor atingir o valor constante de aproximadamente 3,00 V;
8) Mude a posição da chave liga/liga para "remover" a fonte do circuito (Figura 09);

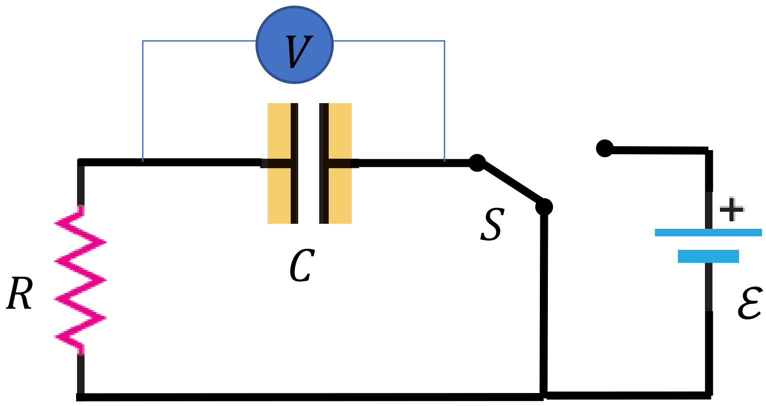

Figura 09: Posição da chave para "remover" a fonte do circuito.

9) Espere a ddp no capacitor atingir o valor constante de aproximadamente 0,00 V;
10) Clique em "Parar".
11) Renomeie e salve a medida;
12) Repita todo o procedimento trocando o resistor $R_1 = 1\ k\Omega$ pelo resistor $R_2 = 10\ k\Omega$ e mantendo o capacitor $C_1 = 330\ \mu F$;
13) Repita todo o procedimento trocando o resistor $R_2 = 10\ k\Omega$ pelo resistor $R_3 = 100\ k\Omega$ e mantendo o capacitor $C_1 = 330\ \mu F$;
14) Repita todo o procedimento trocando o capacitor $C_1 = 330\ \mu F$ pelo capacitor $C_2 = 1\ \mu F$ e mantendo o resistor $R_3 = 100\ k\Omega$.