

CARGA E DESCARGA DE CAPACITORES

Introdução

O capacitor é um componente eletrônico constituído de duas placas condutoras de corrente elétrica separadas por um material isolante denominado de dielétrico (armaduras). A principal característica de um capacitor é a sua capacidade de acumular cargas.

Carga de um capacitor

Para estudar o comportamento de um circuito RC, podemos utilizar o circuito esquematizado na Figura 1. Quando uma tensão V é colocada no Gerador o processo de carga no capacitor é iniciado. A carga é feita em um intervalo de tempo que depende da capacitância C do capacitor e da resistência do resistor R em série no circuito, que pode ser até a resistência interna do próprio voltímetro. No nosso experimento será associado um resistor R em série com o capacitor.

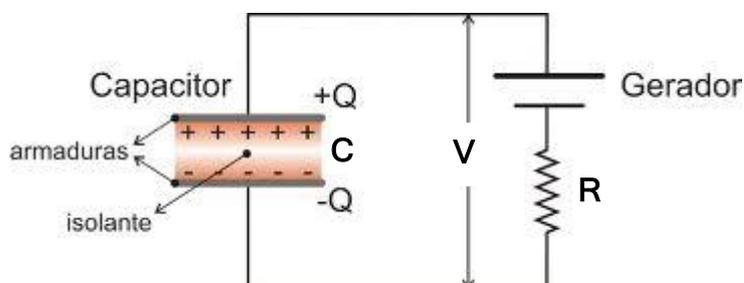


Figura 1: Esquema simplificado de um circuito utilizado para entender o processo de carga de um capacitor em um circuito RC.

Ao colocarmos tensão na fonte igual a V , teremos:

$$V_R + V_C = V \quad (1)$$

onde V_R é a tensão nos terminais do resistor e V_C a tensão nos terminais do capacitor. Entretanto, pela primeira lei de ohm:

$$V_R = Ri = R \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

e a tensão no capacitor é dada por:

$$V_c = \frac{q}{C} \quad (3)$$

onde q é a carga do capacitor. Portanto, substituindo as Equações (2) e (3) na Equação (1), temos:

$$V = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \quad (4)$$

A solução desta equação a partir de um tempo t_0 é:

$$q = CV(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (5)$$

Como CV é a carga final do capacitor que é igual a Q , pode-se escrever:

$$q = Q(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (6)$$

Analisando a Equação (6), verifica-se que, quando $(t - t_0) \gg RC$, o valor de q tende assintoticamente a $Q = CV$. Além disso, quando $(t - t_0) = RC$, teremos:

$$q = Q(1 - e^{-1}) = 0,63 Q \quad (7)$$

O valor RC é denominado constante de tempo do circuito e é representado pela letra τ . A Equação (7) mostra que o capacitor estará carregado com 63% da carga máxima quando o tempo $(t - t_0)$ for igual a $RC = \tau$.

Na prática, quando $(t - t_0) = 3 \tau$, o capacitor estará praticamente carregado, ou seja, com 95% de sua carga total. Para um dado capacitor, a constante de tempo será tanto maior quanto maior for o valor da resistência do resistor ligado em série com o capacitor. Assim, a carga tenderá mais rapidamente para o seu valor final quando R for pequeno e mais lentamente quando R for grande.

Substituindo a Equação (6) nas Equações (2) e (3), é possível determinar o comportamento da tensão elétrica no resistor (V_R) e no capacitor (V_C) em função do tempo. Assim, a tensão no resistor será dada por:

$$V_R = V(e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (8)$$

e a do capacitor será:

$$V_C = V - V_R = V(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (9)$$

Assim como foi discutido para a Equação (6), a tensão no capacitor será igual a 63% da tensão máxima quando o tempo $(t - t_0)$ for igual a $RC = \tau$.

Descarga de um capacitor

Supondo que o gerador ou fonte de tensão permaneça ligado por um tempo $(t - t_0) \gg RC$, o capacitor estará, para todos os efeitos, plenamente carregado, podendo, então, considerar a carga igual a Q . Desligando a fonte de tensão, o capacitor se descarregará através do resistor R e teremos:

$$\begin{aligned} V_R + V_C &= 0 \\ Ri + \frac{q}{C} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Substituindo i por dq/dt , teremos:

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (11)$$

Cuja solução será:

$$q = Qe^{-\frac{(t-t_0)}{RC}} \quad (12)$$

onde Q é a carga inicial do capacitor. A constante de tempo RC aparece nessa expressão da descarga do capacitor bem como no processo de carga. Analisando a expressão de descarga do capacitor, podemos constatar que, para um tempo $t = RC$, a carga do capacitor será reduzida a Qe^{-1} , que corresponde a $0,37Q$, ou seja, 37% da carga inicial. Fazendo $i = dq / dt$, podemos determinar o comportamento da corrente durante a descarga. Assim, i será:

$$i = \frac{Qe^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}}{RC} = \frac{Ve^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}}{R} \quad (13)$$

E a tensão no capacitor será:

$$V_C = V e^{\frac{-(t-t_0)}{RC}} \quad (14)$$

A Figura 2 mostra as curvas de carga e descarga de um capacitor.

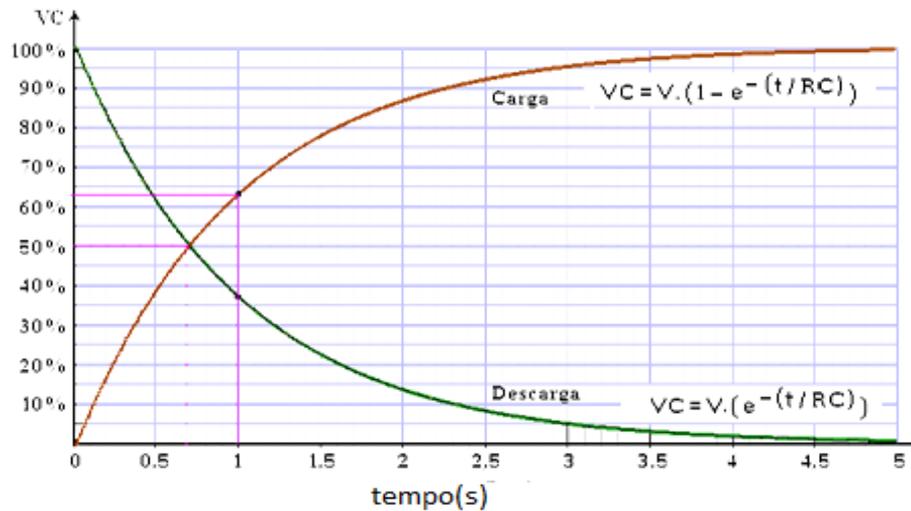


Figura 2: Curvas mostrando o processo de carga e descarga de um capacitor de $1000 \mu\text{F}$ ($\pm 5\%$) em um circuito com resistor de $1 \text{ k}\Omega$ ($\pm 10\%$) para $t_0 = 0 \text{ s}$.

Atividade experimental

1. Objetivos

O objetivo desta atividade prática é contribuir para a compreensão do processo de carga e descarga de capacitores e do significado da constante de tempo de um circuito RC.

2. Materiais e Métodos

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- Placa Arduino;
- Cabos;
- Multímetros;
- Jumpers;
- Protoboard;
- Potenciômetro;
- Capacitores.

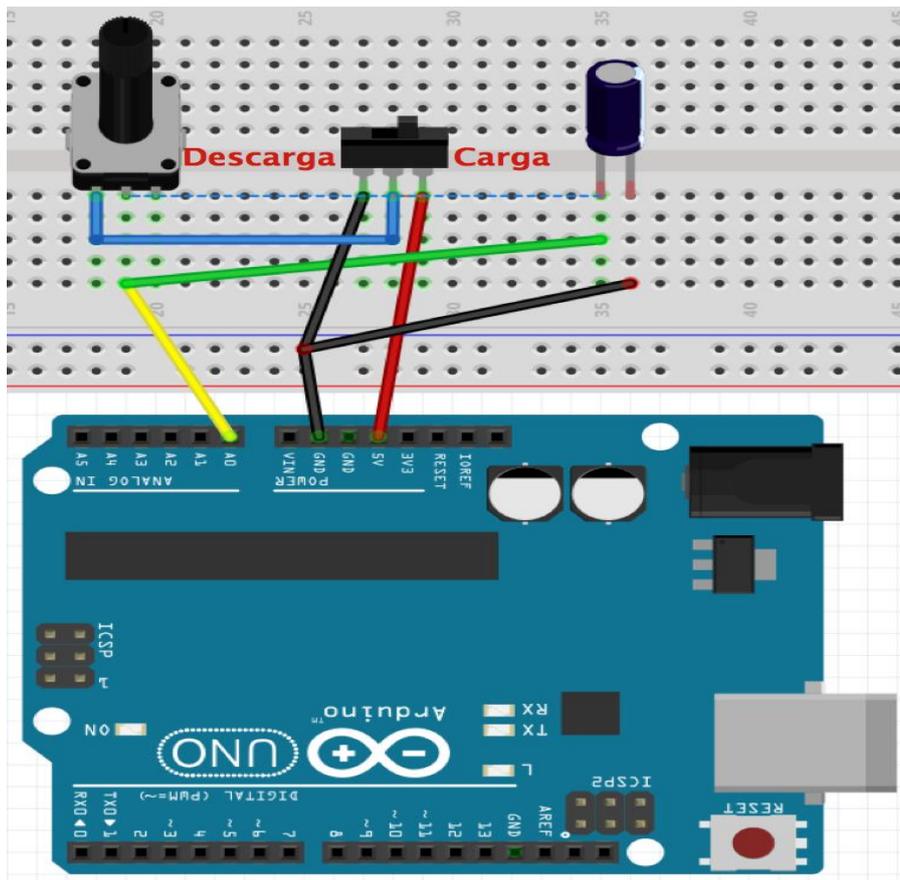


Figura 3: Desenho esquemático das ligações de um potenciômetro e um capacitor em série nas configurações de descarga e carga.

Roteiro Experimental:

- I. Monte o circuito de acordo com a Figura 1, usando um potenciômetro com o menor capacitor disponibilizado na bancada;
- II. Coloque a chave na posição de **Descarga**, para garantir que o capacitor estará vazio;
- III. Gire o potenciômetro para direita até o fim do cursor e meça o valor da resistência entre a perna esquerda e a central (Obs: quando for medir a resistência do potenciômetro desconecte do circuito o fio que está conectado a chave HH);
- IV. Ligue o cabo na porta USB do PC e rode o programa **Capacitor_DFI.exe**;
- V. Verifique se a porta serial foi identificada e depois clique em **Conectar** e depois em **Começar**;

- VI. Mude a chave para posição **Carga (C)** e realize a medida até atingir a saturação em torno de 5 V e depois coloque a chave na posição **Descarga (D)**, quando atingir um valor próximo de 0 V clique em **Parar**;
- VII. Feche o programa de aquisição;
- VIII. Renomeie o arquivo que foi salvo no mesmo local do executável, de **Dados_Capacitor.txt** para **Dados_Capacitor_CD_ValorR_ValorC.txt**;
- IX. Refaça o experimento para o segundo capacitor, com o mesmo valor do resistor usado no item I;
- X. Refaça o experimento usando o maior capacitor e uma resistência em torno de 50% do valor inicial (Lembre-se de fazer a medida da resistência usando o multímetro).

3. Discussão

1. Construa gráficos de tensão versus tempo para os processos de carga e descarga de cada combinação RC utilizada.
2. Determine no gráfico os valores da constante de tempo de cada circuito, tanto pelos pontos de 63% da tensão total (nas curvas de carga) e de 37% da tensão total (nas curvas de descarga), quanto por dados obtidos de ajustes feitos utilizando as equações de carga e descarga. Nos ajustes, deverão ser utilizadas as Equações 9 e 14, contudo deve-se fazer a t por $t - t_0$, uma vez que o experimento não começou no tempo 0 segundo. O aluno deverá usar o modo de ajuste livre do programa para introduzir as equações, informando inclusive o valor da tensão máxima e do tempo inicial. Este tempo inicial (t_0) é o tempo em que foi iniciado o processo de carga ou de descarga. São, portanto, tempos diferentes para cada curva. Estes tempos iniciais devem ser descontados também dos valores de tempo determinados pelos pontos de 63% da tensão total (nas curvas de carga) e de 37% da tensão total (nas curvas de descarga). Preencha a Tabela 1.
3. Faça a média dos valores de RC determinado através dos dois métodos (percentual de carga/descarga e do ajuste carga/descarga) e compare os valores de constante de tempo obtidos nos gráficos com os valores determinados a partir dos valores nominais da capacitância e dos valores das resistências determinados pelo ohmímetro preenchendo a Tabela 1.

Tabela 1: Dados dos experimentos de carga e descarga de capacitores pelos métodos percentual de carga/descarga e do ajuste carga/descarga.

Experimento de Carga e Descarga de Capacitores			
	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
$R \pm \sigma_R$ (Ω)			
C (F)			
RC esperado (s)			
RC carga % (s)			
RC descarga % (s)			
RC Médio % (s)			
Erro Relativo (%)			
RC ajuste carga (s)			
RC ajuste descarga (s)			
RC Ajuste % (s)			
Erro Relativo (%)			

4. Discuta o tempo de carga e descarga nas diferentes combinações de resistências e capacitâncias, analisando a sua dependência com a variação na resistência (em casos de capacitância constante) e com a capacitância (em casos de resistência constante).
5. Escolha o método mais adequado para determinação de RC, fazendo a devida justificativa;
6. Supondo que o valor de $R \pm \sigma_R$ medido com o ohmímetro foi confiável, determine o valor de C dos dois capacitores usados no experimento com a sua respectiva incerteza $\sigma_{\text{Capacitor}}$ e represente o resultado na forma $C \pm \sigma_{\text{Capacitor}}$.
7. Determine o erro experimental na determinação de C em relação ao valor impresso no corpo dele.