

Trabalho 7: Carga e descarga de condensadores

Introdução à Física Experimental - 2018/19

Cursos: Engenharia Física e Física

Departamento de Física - Universidade do Minho

Neste trabalho laboratorial introduz-se o condensador. O objetivo é estudar associações de condensadores, a carga e descarga de um condensador e o tempo característico (ou constante de tempo) de um circuito com uma resistência e um condensador (RC) em série. Assim, pretende-se que os alunos construam circuitos com vários condensadores, em diferentes configurações de associação. Pretende-se também que se registem medidas, em função do tempo, da tensão aos terminais do condensador em várias situações de carga e de descarga.

I. INTRODUÇÃO

A. O que é um condensador?

Um condensador é um dispositivo elétrico que permite acumular carga elétrica a um certo potencial elétrico (e, assim, acumular energia). O condensador mais simples que se pode imaginar consiste apenas em duas placas metálicas paralelas, à distância d uma da outra, separadas por um meio dielétrico que pode ser apenas ar. Se imaginarmos que, por uma qualquer razão, uma das placas tenha mais eletrões do que a outra, então estabelece-se um campo elétrico E entre as placas, havendo então uma diferença de potencial $V_C = Ed$ entre essas placas. Quanto maior for a diferença do número de eletrões nas duas placas maior será E , e assim, maior V_C . Diz-se neste caso que o condensador está carregado. Mas como se pode criar esta diferença de carga entre as duas placas? Se ligarmos um condensador, por hipótese inicialmente descarregado, a um circuito externo com uma fonte de tensão (ver Fig.1a), o que deverá acontecer? É importante relembrar que as placas do condensador são construídas com material condutor. Atraídos pelo terminal positivo da fonte, os eletrões livres na placa do condensador ligado a este terminal vão começar a deslocar-se em direção à fonte, deixando essa placa carregada positivamente. Isto cria um campo elétrico dentro do condensador que acaba por atrair eletrões do terminal negativo da fonte, que se alojam na segunda placa do condensador (Fig.1b). Note que, no decorrer deste processo, o número de eletrões que fluem da fonte para o condensador é igual ao número daqueles que fluem do condensador para a fonte. Ou seja, um condensador de placas paralelas (e, em geral, qualquer outro condensador) é, em qualquer instante no processo de carga, eletricamente neutro: a quantidade de eletrões que se acumulam numa das placas é igual à quantidade que é removida da outra. É de esperar que o condensador na Figura 1b não carregue indefinidamente. De facto, à medida que o condensador vai carregando, a ddp aos seus terminais, V_C , também aumenta aproximando-se da ddp aos terminais da fonte de tensão, V . Quanto maior for a diferença entre V e V_C , maior é a intensidade da corrente I que carrega o condensador. Com $V_C \rightarrow V$, então $I \rightarrow 0$ e o condensador deixa de carregar. Neste trabalho verificar-se-á isto mesmo.

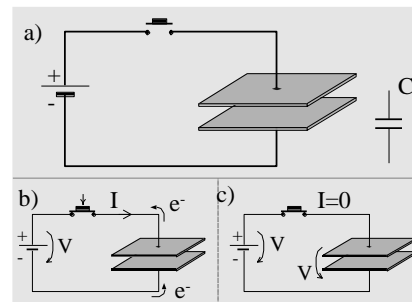


Fig. 1 a) Um condensador elementar pode ser fabricado simplesmente justapondo duas placas metálicas paralelamente uma à outra, separadas de uma determinada distância. O símbolo elétrico de um condensador, mostrado no lado direito da figura, reflete esta geometria simples; b) Ao ligar um condensador a um circuito externo com uma fonte de tensão, estabelece-se uma corrente elétrica; c) esta corrente diminui à medida que o condensador carrega e é zero logo que a diferença de potencial aos terminais da fonte seja igual à diferença de potencial entre os terminais do condensador (ver texto).

B. Capacidade e carga armazenada

Se se esperar o tempo suficiente, um condensador ligado a uma fonte de tensão com uma ddp V ficará com uma ddp aos seus terminais V_C igual a V . Neste caso, qual é a carga armazenada no condensador? Evidentemente, a carga armazenada no condensador deverá depender da sua capacidade (C). Esta é medida na unidade S.I. designada por farad ([F]). A carga Q , em coulomb, acumulada num condensador de capacidade C com uma ddp V_C estabelecida entre as suas armaduras é igual a

$$Q = V_C C \quad (1)$$

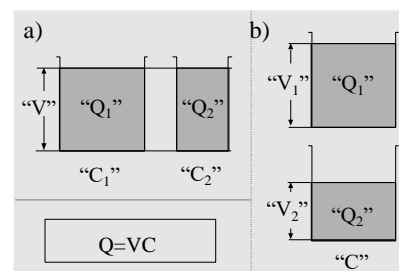


Fig. 2 – Analogia entre o condensador e o reservatório de água: a) Os dois reservatórios de água têm diferentes capacidades " C_1 " e " C_2 ". Se enchermos ambos os reservatórios com colunas de água de altura " V ", é claro que o reservatório de capacidade " C_1 " armazenará mais água. b) Se os reservatórios forem iguais, com uma capacidade " C ", e os enchermos com colunas de água de alturas diferentes " $V_1 > V_2$ ", claramente um terá mais água que o outro. Ou seja, quanto maior for " C " e " V ", maior será a carga de água armazenada. Num condensador, a quantidade de carga elétrica Q acumulada é, de facto, dada por $Q = CV_C$, onde C é a capacidade do condensador e V , a ddp aos seus terminais.

C. Associação de condensadores

Tal como com as resistências, também se podem associar condensadores em série ou em paralelo (ver Fig.3).

C.1. Associação de condensadores em paralelo

Numa associação em paralelo de condensadores (Fig. 3a), as ddp aos terminais de um e do outro condensador são iguais entre si e também iguais à do circuito equivalente,

$$V_T = V_1 = V_2$$

A carga total acumulada na associação é igual à soma da carga acumulada num e no outro condensador,

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

Como $Q = CV$, dividindo esta última expressão por V_T ,

$$C_T = C_1 + C_2 \quad (2)$$

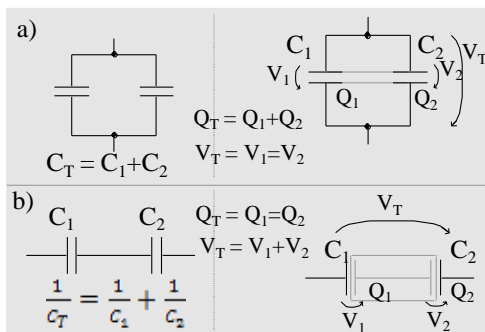


Fig. 3 - a) Esquema da associação em paralelo de condensadores. Dois condensadores em paralelo podem ser vistos como apenas um único condensador, onde a placa carregada positivamente (negativamente) estende-se pelas duas placas carregadas positivamente (negativamente) dos dois condensadores (esquema do lado direito). Assim, é claro que a carga total deve ser igual à soma das cargas parciais, $Q_T = Q_1 + Q_2$. Como a ddp aos terminais de cada um dos condensadores é igual e, igual à ddp aos terminais da associação, então a capacidade total desta é igual a $C_T = C_1 + C_2$. b) Esquema da associação em série de dois condensadores. Neste caso, a carga de um dos condensadores é transferida para o outro e a associação dos dois tem uma carga equivalente igual à carga de cada um deles. Pode-se imaginar que as placas ligadas internamente na associação se anulam (ver esquema da esquerda), pois tem exatamente a mesma carga mas de sinal oposto. No fim, apenas as placas das pontas têm real importância para a associação. Assim, $Q_T = Q_1 = Q_2$. Como neste caso as ddp se somam, i.e. $V_T = V_1 + V_2$, vem que: $1/Q_T = 1/Q_1 + 1/Q_2$.

C.2. Associação de condensadores em série

Numa associação em série (Fig.3b), a ddp aos terminais da associação é igual à soma das ddp aos terminais de cada um dos condensadores,

$$V_T = V_1 + V_2 \quad (3)$$

A carga acumulada na associação é igual à carga acumulada num e no outro condensador (Fig.3b),

$$Q_T = Q_1 = Q_2.$$

Neste caso, dividindo a eq.3 por Q_T , obtêm-se

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (4)$$

D. Carga e descarga de um condensador

A expressão que descreve a variação da carga num condensador ao longo do tempo é a solução de uma equação de taxa, uma equação diferencial linear de primeira ordem.

D.1. Equação de taxa para a carga de um condensador num circuito RC

Considere o circuito esquematizado na Fig. 4a. Considere que o condensador está inicialmente descarregado, i.e., $Q(t=0s) = 0$. Neste circuito, a intensidade da corrente que carrega o condensador é igual à variação da quantidade de carga que é armazenada no condensador por intervalo de tempo, que é a habitual definição de I :

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (5)$$

onde $Q(t)$ é a carga acumulada no instante t no condensador. Por outro lado, temos que:

$$V_C(t) = \frac{Q(t)}{C} \quad (6)$$

Escrevendo a lei das malhas para o circuito da Figura 4a, chega-se à equação

$$\frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{RC} = \frac{V}{R} \quad (7)$$

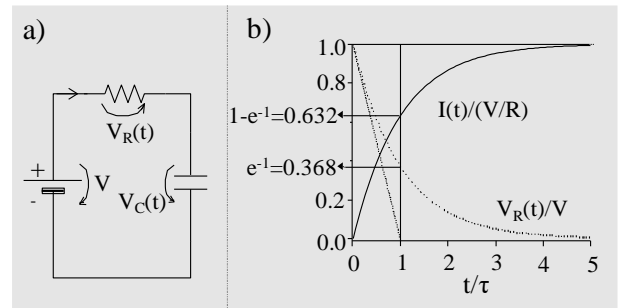


Fig. 4 - a) Circuito RC com uma fonte de tensão; b) Curvas de carga do condensador onde o eixo do tempo é medido em unidades de τ . A curva a cheio representa a ddp aos terminais do condensador, e a curva a tracejado corresponde à intensidade da corrente ou à ddp aos terminais da resistência.

Toda a informação que se pode obter sobre o funcionamento deste circuito está incluída nesta equação e na condição inicial, dada atrás, $Q(t=0s) = 0$. Há duas conclusões que se podem retirar imediatamente, mesmo sem resolver a equação:

- no regime estacionário, i.e. quanto $t \rightarrow \infty$, $dQ/dt = 0$ e então $Q(t=\infty) = CV$, que é o valor assintótico para o qual tende a curva de carga;
- como inicialmente $Q = 0$, então em $t = 0$ s, $dQ(t)/dt = V/R$, e então $I(t=0 s) = V/R$
- o condensador, quando completamente descarregado, comporta-se como um condutor perfeito.

D.2. Expressão para a carga; tempo característico RC

Para se obter o comportamento transitório da carga do condensador é necessário resolver a Eq.7. A solução para esta equação é (pode ser verificado usando a substituição direta);

$$Q(t) = VC[1 - e^{-t/\tau}] \quad (8)$$

onde $\tau = RC$, é uma constante comumente designada por tempo característico RC ou constante de tempo do circuito RC . Repare que τ tem dimensão física de tempo: um ohm vezes um farad é um segundo. Derivando a expressão na Eq. 8, obtém-se a corrente de carga,

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{V}{R} e^{-t/\tau} \quad (9)$$

Na Figura 4b, o gráfico mostra curvas de carga de um circuito RC. A curva a cheio representa a ddp aos terminais do condensador (proporcional à carga acumulada no condensador) e a curva a tracejado, a corrente de carga (que é proporcional à ddp aos terminais da resistência). Destas curvas de crescimento ou decrescimento exponencial, pode-se extrair o valor de τ : numa curva de carga, a ddp aos terminais do condensador aumenta de zero até $1 - 1/e \approx 63\%$ do valor máximo num intervalo de tempo igual a τ ; na curva da intensidade de corrente, um decréscimo exponencial, $I(t)$ cai do máximo em $t = 0$ s para $1/e \approx 0.37\%$ desse valor em $t = \tau$.

Um método alternativo para determinar τ é traçar a reta tangente às curvas em $t=0$ s e determinar a sua interseção com o eixo dos xx , na curva decrescente (Fig.4b), ou com a assíntota, na curva com um crescimento exponencial.

D.3. Descarga de um circuito RC

Finalmente, falta apenas descrever a descarga de um condensador sobre uma resistência. O circuito correspondente está esquematizado na Fig. 5a. A lei das malhas para este circuito é:

$$RI(t) = \frac{Q(t)}{C}$$

Neste caso, a intensidade de corrente elétrica promove a descarga do condensador e é, então, igual a:

$$I(t) = -\frac{dQ(t)}{dt}$$

Se combinarmos as duas últimas expressões chega-se à equação de taxa de crescimento:

$$\frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{\tau} = 0 \quad (10)$$

A solução para esta equação é apenas

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/\tau} \quad (11)$$

onde Q_0 é a carga inicial armazenada no condensador. A intensidade de corrente, $I(t) = dQ(t)/dt$ é neste caso igual a

$$I(t) = \frac{Q_0}{\tau} e^{-t/\tau} \quad (12)$$

As representações gráficas de $V_C(t) = Q(t)/C$ e de $I(t)$ são mostradas na Figura 5b.

Finalmente, note que na descarga do condensador no circuito RC um gráfico de $\ln(V_C)$ em função do tempo é uma recta cujo

declive é igual ao inverso da constante de tempo.

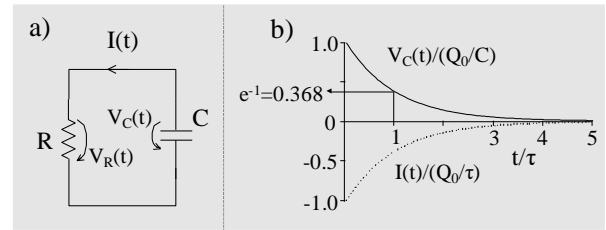


Fig.5 - a) descarga de um condensador através de um circuito RC simples; b) curvas de descarga de um circuito RC com o eixo do tempo medido em unidades de τ . A curva a cheio é a ddp aos terminais do condensador e a curva a tracejado corresponde à intensidade da corrente.

II. TRABALHO LABORATORIAL

A. Material necessário

O equipamento necessário para este trabalho laboratorial é o seguinte:

- uma fonte de tensão contínua
- dois multímetros
- fios de ligação com banana
- módulo de montagem contendo dois condensadores e duas resistências (note que a resistência R_A está ligada em série com o condensador C_2), um comutador que permite ligar electricamente o ponto O ao ponto X ou ao ponto Y e um LED ligado a um botão que, quando pressionado, fecha o circuito.

B. Procedimento Experimental

1. Parte 1: Associação de condensadores

Estabeleça a sequência de montagens apresentada nas figuras seguintes e anote os resultados. Seja cuidadoso: o resultado da experiência depende da correta execução de todos os pormenores. Nas medidas de tempo use o cronómetro do telemóvel. Deve compreender o objetivo de cada um dos passos e saber interpretar os resultados; em particular deve saber explicar:

- qualitativamente as diferenças de tempos medidas nos passos 7, 8, 11 e 13 da experiência 1;
- quantitativamente os valores de tensão medidos nos passos 5 e 9 da experiência 2.

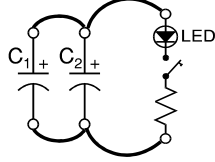
Seguidamente apresentam-se alguns cuidados a ter para garantir uma boa realização da experiência.

Cuidados a ter:

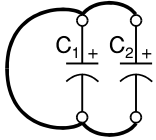
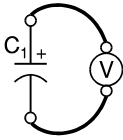
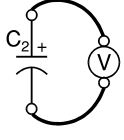
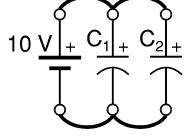
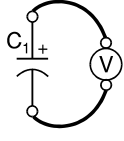
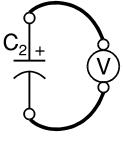
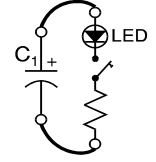
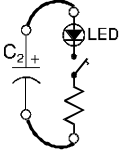
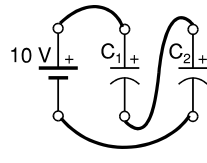
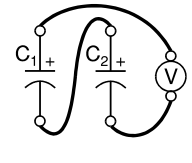
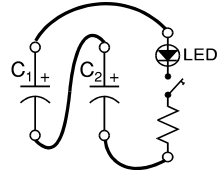
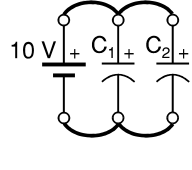
- Ao fazer as ligações tenha em consideração que os condensadores usados nesta experiência têm polaridade. Por exemplo, quando ligar o condensador à fonte para o carregar, deve ligar entre si os terminais da fonte e do condensador que tenham mesma cor: preto com preto e vermelho com vermelho.
- Terminada a carga do condensador, a primeira coisa a fazer (antes mesmo de desligar a fonte), é desligar os cabos com cuidado de modo a garantir que os seus dois terminais não contactem entre si e assim, inadvertidamente, provoquem a descarga do condensador.

- Sempre que se realiza uma medida da tensão aos terminais do condensador com o voltímetro, o condensador descarrega-se através do aparelho de medida. Por isso, estas medidas devem ser feitas de forma muito rápida: basta fechar o circuito de medida (encostando o fio de ligação a um dos terminais) durante a pequena fração de tempo que permita a leitura do valor apresentado no voltímetro.

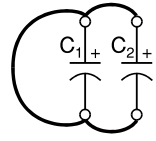
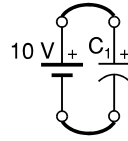
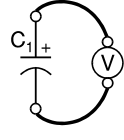
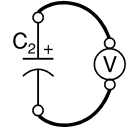
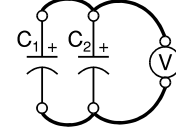
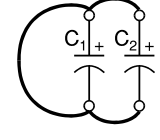
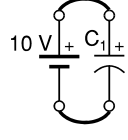
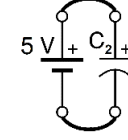
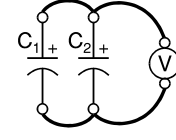
- Sempre que suspeitar que as medidas possam estar afetadas de um erro decorrente da descarga total ou parcial do condensador, deve repetir o procedimento de carga do condensador antes de tornar a fazer a medida.

	
<p>13. Descarregue os condensadores, pressionando o botão, e meça o tempo durante o qual o LED se mantém aceso.</p>	

Experiência 1: Estudo qualitativo do tempo de descarga em circuitos RC e associação de condensadores

 <p>1. Espere alguns segundos para garantir que os condensadores ficam descarregados</p>	 <p>2. Confirme que a tensão é praticamente nula.</p>
 <p>3. Confirme que a tensão é praticamente nula..</p>	 <p>4. Espere alguns segundos.</p>
 <p>5. Qual o valor da tensão?</p>	 <p>6. Qual o valor da tensão?</p>
 <p>7. Descarregue o condensador, pressionando o botão, e meça o tempo durante o qual o LED se mantém aceso.</p>	 <p>8. Descarregue o condensador, pressionando o botão, e meça o tempo durante o qual o LED se mantém aceso.</p>
 <p>9. Espere alguns segundos.</p>	 <p>10. Qual o valor da tensão?</p>
 <p>11. Descarregue os condensadores, pressionando o botão, e meça o tempo durante o qual o LED se mantém aceso.</p>	 <p>12. Espere alguns segundos</p>

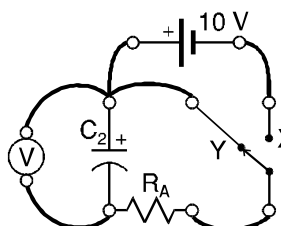
Experiência 2: Relação entre as tensões aos terminais de dois condensadores separados e a tensão aos terminais dos mesmos condensadores depois de associados em paralelo

 <p>1. Espere alguns segundos para garantir que os condensadores ficam descarregados</p>	 <p>2. Espere alguns segundos.</p>
 <p>3. Qual o valor da tensão?</p>	 <p>4. Qual o valor da tensão?</p>
 <p>5. Qual o valor da tensão?</p>	 <p>6. Espere alguns segundos para garantir que os condensadores ficam descarregados</p>
 <p>7. Espere alguns segundos.</p>	 <p>8. Espere alguns segundos.</p>
 <p>9. Qual o valor da tensão?</p>	

2. Parte 2: Carga e descarga de condensadores; constante de tempo do circuito RC

Pode utilizar a folha de registo de dados que se apresenta no final deste guia. No final da experiência deve representar graficamente a tensão aos terminais do condensador (V_C) em função do tempo para as três situações estudadas. Utilize o processo de descarga para determinar a constante de tempo de cada circuito (note que o gráfico de $\ln(V_C)$ em função do tempo deve ser linear) e compare com os valores esperados.

1. Monte o circuito esquematizado na figura seguinte: coloque o comutador na posição Y , regule a fonte de tensão para 10V e certifique-se que o condensador C_2 está descarregado.



2. Use o cronómetro do telemóvel. No instante $t = 0$ s mude o comutador para a posição X . De cinco em cinco segundos tome nota da tensão lida no multímetro. No instante $t = 60$ s mude novamente o comutador para a posição Y e continue a ler a tensão até $t = 120$ s.

3. Repita o procedimento anterior usando a resistência R_B no lugar de R_A .

4. Repita o procedimento anterior usando C_1 no lugar de C_2 .

Registo de dados da carga e descarga no circuito RC

$R_A =$ _____; $R_B =$ _____; $C_1 =$ _____; $C_2 =$ _____

$t(s)$	$V_{\alpha(I)}$ ($C_2; R_A$)	$V_{\alpha(II)}$ ($C_2; R_B$)	$V_{\alpha(III)}$ ($C_1; R_B$)	Notas
0				Comutar para X
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				
60				Comutar para Y
65				
70				
75				
80				
85				
90				
95				
100				
105				
110				
115				
120				