# Prática 3: CAPACITORES

## Objetivos

Quando uma tensão é aplicada a um capacitor ele não se carrega instantaneamente, mas tem uma resposta temporal característica. Analogamente, o capacitor carregado tem uma curva de descarga característica. Nesta prática serão utilizados fonte de tensão, capacitores e resistores (ou lâmpadas) para estudar o processo de carga e descarga de um circuito **RC** através de diversos experimentos qualitativos. A curva de *decaimento* da tensão de um capacitor **VC(t)** será medida e através dela, o valor da constante de tempo do circuito será determinado.

## Introdução

Ao longo da história da eletricidade percebeu-se que era relativamente fácil obter grandes diferenças de potencial, por exemplo, através de eletrização por atrito. O problema era conseguir grande quantidade de carga e armazená-la. Percebeu-se que quando um condutor era eletrificado, seu tamanho determinava a quantidade de carga que ele conseguia armazenar. O físico italiano ***Alessandro Volta***, denominou assim ***condensador*** qualquer dispositivo capaz de armazenar cargas. Atualmente o termo capacitor é mais utilizado.

|  |  |
| --- | --- |
| Figura . - (a) Capacitor de placas paralelas ligado a um voltímetro; (b)Distribuição de cargas nas placas do capacitor | |
|  |  |
| (a) | (b) |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador | |

A uma determinada diferença de potencial (**V**), como esquematizado na Fig.3.1((a) e (b)) a quantidade de carga (**Q**) armazenada por um corpo depende de diversas características físicas, mas **Q** é proporcional a **V**. Ou seja, podemos definir a capacitância (**C**) como:

(1)

No sistema MKS, a unidade de capacitância é Coulomb/Volt, que se denominou ***Farad***, em homenagem ao cientista ***M. Faraday***. ***Volta*** introduziu o termo capacidade elétrica em analogia com o conceito de capacidade térmica ou calor específico.

## Descarga de um Condensador

Para determinarmos a capacitância de um condensador, **C**, faremos um experimento que consiste em carregar o mesmo com uma tensão inicial **V**. Isto é feito ligando-se o capacitor em paralelo a uma fonte, (Fig. 3.2(a)).

|  |  |
| --- | --- |
| Figura . - a) Circuito para carregar o condensador; (b) Descarga do condensador em uma resistência **R** | |
|  |  |
| (a) | (b) |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador | |

A Fig.3.2(b) ilustra que quando este capacitor carregado é ligado a um resistor, ele é descarregado pela corrente **I(t)**, ou seja, à medida que sua carga **Q(t)** diminui a tensão no capacitor **Vc(t)** diminui proporcionalmente a **Q(t)**. Pode-se mostrar que:

onde (2)

O decaimento da tensão no capacitor é exponencial, com tempo de resposta **τ = RC**. Ou seja, em **t = τ**, temos **Vc(τ) ~ 0.37V**.No entanto é mais prático usar **t1/3** definido por **t1/3 = τ.ln3~1.10τ** e **Vc(t1/3) = V/3**. Logo, medindo experimentalmente **Vc(t1/3)**, podemos determinar o valor de **RC** a partir da Eq.2. Nesta prática vocês irão calcular o valor da capacitância do capacitor através da medida da resposta temporal de **Vc(t1/3)**.

Nesta prática vamos estudar, também, o caso em que um capacitor, inicialmente descarregado, é conectado em série a uma fonte (tensão **V**) e a um resistor (**R**) (Fig.3.3).

|  |
| --- |
| Figura . - Circuito RC |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

Neste caso, se a chave **Ch** é fechada em **t = 0**, pode-se mostrar que a tensão no capacitor é dada por:

(3)

## Experimentos

## I. Circuito RC Simples

***ATENÇÃO****: Nesta prática utilizaremos capacitores que devem ser colocados na polarização correta onde uma faixa indica o terminal negativo.*

*Usaremos a notação ilustrada na Figura 3.4(b), onde a placa* ***+*** *representa a placa positiva e a outra a negativa (****-****).*

|  |  |
| --- | --- |
| Figura 3.4 – Notação utilizada para capacitores (a) eletrolíticos e (b) supercapacitores | |
|  |  |
| (a) | (b) |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador | |

*Para não se confundirem sugerimos o uso de um cabo vermelho ligado ao terminal positivo (****+****) e um cabo preto ligado ao terminal negativo (****-****)*

***Obs****: a placa (****+****) está indicada pela cor vermelha*

***CUIDADO*** *–*

• *montagem do capacitor com polaridade invertida pode danificá-lo.*

• *o capacitor não pode ser ligado a uma tensão maior* ***Vo****.*

**I.1 Previsão:** Um capacitor está conectado em série a lâmpada e a uma fonte de tensão contínua (de valor **V0 = 10V**), tal como ilustrado na Fig.3.5. Suponham que o circuito tenha sido ligado há muito tempo, ou seja, o estado estacionário já foi atingido. Respondam por escrito: como será o brilho da lâmpada?

|  |
| --- |
| Figura 3.5 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**I.2 Experimento**. Montem o circuito da Fig.3.5 com a fonte ajustada para **V0** = **10V**. No estado estacionário (após o transiente) meçam as tensões na Fonte (**V**), no Capacitor (**VC**) e na Lâmpada (**VL**).

***Obs:*** *Por motivos técnicos, optamos por usar dois capacitores em série ao invés de um único capacitor. Entretanto, este fato não altera a interpretação do experimento*.

**I.3** Lembrando que **Q = C.Vc**, onde **Q** representa a carga armazenada no capacitor, **C** é a capacitância e **Vc** o valor da tensão no capacitor. Usando o valor de **C ~ 0,05F**, estimem o valor de **Q**.

Removam o capacitor do circuito da parte **I.2** (tomem o cuidado para não curto-circuitar o capacitor).

**I.4 Previsão:** Qual deve ser o valor da tensão no capacitor?

**I.5 Experimento**: Verifiquem, experimentalmente, com o auxílio do voltímetro digital, se seu prognóstico estava correto.

**I.6** Será que vocês conseguem acender a lâmpada usando somente o capacitor, sem usar a fonte? Tentem isto experimentalmente e anotem o diagrama do circuito usado. Por fim, meçam o valor da tensão no capacitor. Expliquem o que ocorreu.

## II. Carga e Descarga de Capacitores

***ATENÇÃO****: Antes de montar o próximo experimento, descarreguem o capacitor. Para isso montem um circuito (Fig.3.6) com apenas o capacitor ligado uma lâmpada, em paralelo. Quando se descarrega o capacitor com um “curto circuito”, o valor da corrente pode ser muito alto podendo danificar o capacitor.*

|  |
| --- |
| Figura 3.6 - Circuito para descarregar um capacitor |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**Experimento**: Montem o circuito da Fig.3.7. Vocês vão repetir o experimento anterior, mas agora prestando mais atenção na resposta transiente do circuito, ou seja, em como o brilho da lâmpada evolui no tempo, após a chave ser fechada.

***Obs:*** *Verifiquem se polaridade do capacitor* ***está correta*** *assim como o valor de* **V0***.*

|  |
| --- |
| Figura 3.7 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**II.1 Previsão:** Esbocem o gráfico da dependência temporal do brilho da lâmpada.

**II.2** Sem utilizar o voltímetro, ou seja, baseando-se apenas através de suas observações visuais, respondam qual o valor de **VC** (**V23**) nos seguintes casos:

**a**) imediatamente após a chave ser fechada ( **t~ 0**);

**b**) muito tempo após a chave ter sido fechada (**t →∞**).

**II.3** Esbocem a dependência temporal de **VL** (a tensão na lâmpada, **V12**)**, VC** (a tensão no capacitor,**V23**)**, Q** (carga no capacitor) e da corrente **I(t).**

*Antes* *de iniciar o experimento a seguir, mostrem seus resultados a um instrutor*.

**Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Verificando o sentido da corrente o circuito da Fig.3.8 com o capacitor inicialmente descarregado.

|  |  |
| --- | --- |
| Figura 3.8 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor | |
|  |  |
| **(a)** | **(b)** |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador | |

**II.4** Qual o sentido da corrente quando a chave (**Ch**) é colocada na posição **a**?

**II.5** Comparem o sentido da corrente nos pontos **1**, **2** e **3** do circuito.

**II.6** Suponham que após o sistema atingir o estado estacionário, a chave seja colocada na posição **b**. Para este instante, prevejam o sentido da corrente, nos pontos **1**, **2** e **3**.

Na Fig.3.9 temos uma associação em paralelo de dois LEDS de cores diferentes, com polaridades contrárias (antiparalelos). Na prática **2**, vimos que esta configuração pode ser usada para indicar a direção da corrente

|  |  |
| --- | --- |
| Figura 3.9 – (a) Circuito com dois LEDs em paralelo e invertidos ligados em série com uma lâmpada, (b) Foto da montagem dos dois LEDs com a lâmpada, . | |
|  | LED |
| (a) | (b) |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador | |

**II.7 Experimento**: Montem o circuito (Fig.3.8) inserindo o conjunto de LEDS, no lugar da lâmpada. Verifiquem o sentido da corrente (nos pontos **1**, **2** ou **3**) quando o capacitor é carregado (chave na posição **a**). O sentido é o mesmo?

***Obs****.: os LEDs podem ser inseridos nos pontos* ***1****,* ***2*** *ou* ***3****.*

**II.8** Observem agora o caso em que o capacitor é descarregado (chave na posição **b**). Registrem os resultados.

*Neste ponto é muito importante que o grupo analise e discuta os resultados. Depois discuta suas conclusões com um instrutor antes* *de prosseguir a prática.*

***Obs.:*** *Se desejarem repetir o experimento lembrem-se de descarregar o capacitor através de uma lâmpada.*

## III. Lâmpada entre Dois Capacitores

**III.1 Previsão:** Uma lâmpada é conectada a dois capacitores, inicialmente descarregados, como ilustrado na Fig.3.10. A respeito deste circuito um estudante fez o seguinte prognóstico:

*“A corrente irá fluir do lado positivo da bateria para o lado negativo. Uma vez que a lâmpada está isolada da bateria por dois capacitores, a lâmpada não irá acender (ou brilhar)”.*

|  |
| --- |
| Figura 3.10 - Circuito com uma lâmpada em série com dois capacitores |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

Vocês concordam com este prognóstico? Discutam e registrem por escrito a justificativa.

**Experimento**: Montem o experimento com **2** capacitores descarregados e **V0 ~ 10V**. **Sem o usar o voltímetro** respondam, logo após a chave ser fechada (**t ~ 0**):

**III.2** Qual a tensão na lâmpada? (***Obs****.: Observe o brilho da lâmpada*)

**III.3** Qual a diferença de potencial nos capacitores?

**III.4** Respondam novamente as mesmas perguntas **III.**2 e **III.**3 para o estado estacionário (muito tempo após a chave ter sido fechada, **t →∞**).

**III.5** Com os capacitores descarregados, substituam a lâmpada pelo conjunto de LEDs, no circuito da Figura 3.10 e verifiquem o sentido da corrente usando a dupla de LEDS (Fig.3.9(a))

## IV. Conservação da Carga e Energia

A Fig.3.11 ilustra um circuito onde inicialmente o capacitor, C1, está carregado e o capacitor, C2, está inicialmente descarregado, ou seja, **VC1(0) = V0** e **VC2(0) = 0**.

|  |
| --- |
| Figura 3.11 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores, um carregado e outro descarregado |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**IV.1 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

O que ocorrerá quando a chave for fechada? A lâmpada vai acender? Como será o comportamento da corrente, **I(t)**, e das cargas, **Q1(t)** e **Q2(t)**, dos capacitores **C1** e **C2**, respectivamente?

**IV.2 Experimento**: Façam o experimento, com **C1** carregado (**VC1 = 10V)** e **C2** descarregado. Montem o circuito tal como ilustrado na Fig.3.11, ou seja, a placa negativa de **C1** ligada à placa negativa de **C2**. Logo em **t = 0**, **VC1 ~ 10V** e **VC2 ~ 0V**. Registrem suas observações e comparem a previsão (não é preciso usar o voltímetro).

*Nota: Para carregar o capacitor, basta fazer novamente o que é solicitado na Atividade I(Circuito RC Simples), fechando a chave.*

**IV.3** No estado estacionário ainda há carga nos capacitores? Como você pode verificar este fato experimentalmente?

obs: no vídeo fizemos o experimento carregando C1 com tensão Vo = 5,5 V. No vídeo isto não ficou claro, no estado estacionário medimos VC2 ~ VC1 = 2.7 V ~ Vo/2.

A Fig.3.12 ilustra o caso em que dois capacitores foram carregados simultaneamente, de tal forma que **VC1 = VC2 ~ 10V**.

|  |
| --- |
| Figura 3.12 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**IV.4 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas. O que ocorrerá? Discutam e façam um prognóstico análogo ao do item **IV.1**.

**IV.5 Experimento**: Realizar o experimento e discutir (análogo aos itens **IV.2** e **IV.3**).

obs: no vídeo os dois capacitores foram inicialmente carregados com a mesma tensão Vo = 5,5 V. Depois o capacitor C2 é invertido de tal forma que em t = 0 (quando a chave é fechada) temos VC1 ~ + Vo e VC2 ~ - Vo. Após a ligação, a carga dos dois capacitores diminui (em módulo) de tal forma no estado estacionário ambos estão descarregados (VC1 ~ VC2 ~ 0).

**IV.6** Em qual dos experimentos (**IV.2** (Fig.3.11), ou **IV.5** (Fig.3.12)) a lâmpada brilha mais? Expliquem por que.

No vídeo isto não fica claro (os LEDs atrapalham um pouco). Fazendo o experimento somente com a lâmpada (sem os LEDs em paralelo) fica claro que o brilho inicial da lâmpada é maior no caso da Fig.3.12 comparado ao caso da Fig. 3.11.

**IV.7 Previsões:** Repetir o item **IV.4** na configuração ilustrada na Fig.3.13, com dois capacitores inicialmente carregados (**VC1 = VC2 ~ 10V**).

|  |
| --- |
| Figura 3.13 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**IV.8 Experimento:** realizar o experimento e discutir (análogo aos itens **IV.2 e IV.3**).

obs: no vídeo os dois capacitores foram carregados com a mesma tensão Vo = 5,5 V. Após a chave ser fechada, a tensão permanece aproximadamente a mesma e não se observa corrente nos LEDs.

**IV.9 Para o Relatório:**

**a)** Suponha que os capacitores sejam idênticos, com capacitância **C = 0,05F**, a lâmpada se comporte como um resistor de valor **R = 10Ω** e desconsidere os LEDs. Para o circuito da Fig.3.11, calcule o valor da energia total armazenada nos dois capacitores em **t = 0** e **t → ∞**. Há conservação da carga, ou seja, a carga total inicial é igual a carga final? Há conservação da Energia? Qual o valor da energia dissipada na lâmpada?

**b)** Item para os circuitos das Fig.3.12 e Fig.3.13.

## V. Capacitor em Paralelo com uma Lâmpada

Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) são conectados a uma fonte ideal tal como ilustrado na Fig.3.14.

|  |
| --- |
| Figura 3.14 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**V.1 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Como se comportará o brilho das lâmpadas (**A** e **B**) quando os pontos **a** e **b** estiverem ligados por um fio em **t ~ 0**? Alguma das lâmpadas estará apagada (brilho nulo) em **t ~ 0**?

**V.2 Experimento**: montem o experimento com **V0 ~ 10V**. Observem e discutam o que acontece nas situações **t ~ 0** e **t → ∞** (estado estacionário).

***Obs.: NÃO*** *utilizem o voltímetro, ou seja, respondam somente a partir de suas observações visuais.*

Logo após (**t~0**) a chave ser fechada, respondam:

**V.3** Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A (VA)**, na lâmpada **B (VB)**, no capacitor **(VC)**, e na bateria **(V0)**? Explique.

**V.4 C**lassifiquem (maior, menor ou igual) as correntes nas lâmpadas (**IA, IB)** no capacitor (**IC**) e na bateria (**Io**).

Muito tempo após (**t→∞**) a chave ser fechada, respondam:

**V.5** Classifiquem as correntes **IA, IB, IC** e **Io**. Se alguma corrente for nula, indiquem explicitamente.

**V.6** Classifiquem (comparem) os valores das tensões **VA, VB, VC, V0**. Expliquem.

**V.7** Sumarizem seus resultados descrevendo o comportamento transiente (brilho) das lâmpadas **A** e **B**.

**V.8 Para o Relatório:**

1. Supondo que **V0 = 10V**, escrevam o valor de todas as tensões (**VA**, **VB** e **VC**) em **t=0** e verifiquem a validade da segunda lei de Kirchhoff (lei das tensões).
2. Idem para  **t→∞.**
3. Suponha que as duas lâmpadas se comportem como resistores de resistência, **R = 10,** de tal modo que as correntes sejam dadas por **IA = VA/R** e **IB = VB/R**. Obtenham o valor de todas as correntes (**Io**, **IA**, **IB**e **IC**) em **t = 0** e verifiquem a validade da 1a lei de Kirchhoff (lei das correntes).
4. Idem para **t→∞.**

Considerem agora o caso em que a chave é) colocada **em série** com o capacitor ( descarregado), como ilustrado na Fig.3.15.

|  |
| --- |
| Figura 3.15 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**V.9 Previsão**: o que ocorre com o brilho das lâmpadas se, após a chave for fechada?

**V.10 Experimento**: Montem o experimento com **V0 ~ 10V** e verifiquem experimentalmente se suas previsões estavam corretas.

***Obs.****: Certifiquem-se que o capacitor esteja inicialmente descarregado.*

## VI. Medida Quantitativa da Constante de Tempo RC

**VI.1** Montem o circuito da Fig.3.16 utilizando um voltímetro digital, **R** = **220k** e **C =100F**.Ajustem a fonte para **V0 = 10V**. Com a chave **Ch** fechada leiam a tensão no voltímetro. Desliguem a chave **Ch** e observem a variação temporal da tensão sobre o capacitor que se descarrega pela resistência **R**.

***Obs:*** Este experimento deve ser feito com um capacitor eletrolítico.

|  |
| --- |
| Figura 3.16 - Circuito RC em paralelo ligado a um Voltímetro |
|  |
| Fonte: Elaborada pelo Compilador |

**VI.2** Construam uma tabela dos valores da tensão VC(t) em função do tempo de descarga, medindo o tempo com um cronômetro. O cronômetro deve ser inicializado (**t=0**) quando, após ser carregado a chave é aberta e o capacitor é descarregado.(***Obs****: Aqui, você pode ser utilizado o celular para filmar o cronômetro e o voltímetro, ou mesmo utilizar o tempo de gravação do próprio vídeo para facilitar a coleta de dados*).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | **t** | **VC(t)** | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | | |  |  | | --- | --- | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |

O estudante deve utilizar a escala de tempo do vídeo para fazer as medidas, ou seja, fazer sucessivos pause

**VI.3** Façam um gráfico em papel ***monolog*** de **VC(t)** contra **t**, e determinem o valor da constante de tempo do circuito **= RC**, pelo gráfico.*(****Obs****: se o papel for di-log, usar apenas 1 ciclo da folha)*

Façam o gráfico em algum programa e façam o ajuste com uma função decaimento exponencial.

**VI.4** Meçam o valor de **R** com um multímetro. Usando este valor, calculem o valor de **C**. Compare com o valor determinado pelo técnico do laboratório. Discutam o resultado obtido. A diferença entre estes dois valores está dentro da incerteza estimada para o valor de **τ**?

valor medido R = 221 K

**VI.5** Usando os mesmos valores de **R** e **C** do experimento anterior, meçam o tempo **t\*** necessário para que a carga do capacitor se reduza a metade do seu valor inicial. Notem que **V(t\*) = V/2**, logo vocês podem usar a Eq. 5 para estimarem o valor de ** = RC** a partir de **t\***. Estimem o valor de **t** e comparem com sua determinação mais cuidadosa feita através do gráfico. Discutam os resultados.

Vocês podem fazer isto usando o recurso pause no vídeo. Não é necessário pegar o tempo em que a tensão cai por um fator 2, pode ser qualquer valor.

**VI.6** Repitam o item **VI.5** mudando os valores de **C** e/ou **R**.

Vcs podem estimar o tempo de decaimento do circuito com capacitor de 2200 F, medindo o tempo que demora para a tensão cair para ~9 V.

**Lista de materiais** (prática 03)

* 2 Supercapacitores (0,1F e Vmax = 5,5V)
* 2 conjuntos de 2 capacitores em série (Ceq ~ 0,05F, Vmax = 11V)
* 2 lâmpadas incandescentes (6V)
* 2 LEDs invertidos (conjunto indicador de corrente)
* Resistor de 220KΩ
* Capacitor eletrolítico C = 100 F
* Fonte de tensão variável
* 1 chave
* Placa de circuitos, cabos banana – banana, etc.

## 

## Exercícios

|  |  |
| --- | --- |
| **1)**  **a**) Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) de capacitância **C = 0.1F**, são conectados a uma bateria ideal (com tensão **V0 = 10V**) tal como ilustrado na Figura ao lado.  Logo após a chave ser fechada (**t ~ 0**): |  |
| **i)** descreva o que observou em relação ao brilho das lâmpadas **A** e **B**.  **ii)** Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A** (**VA**), na lâmpada **B** (**VB**), no capacitor (**VC**)?  **iii)** Como uma primeira aproximação, considere que a lâmpada se comporta como um resistor ôhmico, com resistência efetiva de valor **R = 100Ω.** Em **t ~ 0**, calcule os valores das tensões **VA**, **VB** e **VC**; e correntes **Io** (da bateria), **IA**, **IB** e **IC**.  **iv)** repita o item (**iii**) no caso **t→∞,** ou seja, muito tempo após a chave ser fechada quando o estado estacionário é atingido. | |
| **b**) considere agora o caso em que inicialmente (**t ~ 0**) o capacitor está carregado com tensão **VC(t ~ 0) = V0**. Repita todo o problema **a)** considerando esta situação. |  |
| **2)** Faça um prognóstico detalhado (de modo análogo ao feito no exercício **1**) sobre o comportamento do circuito ao lado, supondo que inicialmente os dois capacitores estejam inicialmente descarregados e que as capacitâncias sejam iguais (**C1 = C2 = C**).  Dica – notem que em t = 0 a corrente é infinita |  |

1. **,**