

EXPERIMENTO 5: CIRCUITO RC

5.1 OBJETIVOS

Medir a constante de tempo de um circuito RC - série nas situações de carga e descarga do capacitor.

Determinar o comportamento da variável tempo de carga e descarga de um capacitor.

Determinar a resistência efetiva e a capacitância do circuito RC – série através da constante de tempo.

5.2 INTRODUÇÃO

Um capacitor é composto por duas placas metálicas, separadas por um material isolante chamado dielétrico (papel, cerâmica, plástico ou até mesmo o ar). Sua função é armazenar energia elétrica por um período determinado pelas características do circuito, até que este seja interrompido ou a fonte desligada.

Capacitância ou capacidade (C), medida em farads (F), é a propriedade que estes dispositivos têm de armazenar energia elétrica sob a forma de um campo eletrostático e está relacionada com a geometria das placas e a constante dielétrica do meio isolante usado entre as placas. É medida pela seguinte fórmula

$$C = \frac{q(t)}{V} \quad (1)$$

Onde q é a quantidade de carga armazenada em coulombs (C) e V é a diferença de potencial ou tensão que existe entre as placas em volts.

Quando ligamos um circuito com uma resistência R a tensão se eleva instantaneamente ao seu valor máximo. Mas quando inserimos um capacitor neste circuito a tensão demora certo tempo para assumir seu valor máximo V_0 .

O circuito da Figura 5-1 contém uma fonte de cc, um resistor e um capacitor C, em série.

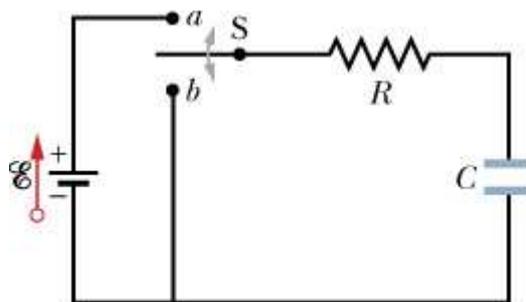


Figura 5-1: Esquema de carga e descarga de um capacitor.

Inicialmente, o capacitor está descarregado; ligamos o circuito no instante $t=0$, passando a chave S para o ponto a. Vamos ver agora que a carga q do capacitor não se estabelece de maneira instantânea.

A lei das malhas de Kirchoff aplicada ao circuito de carga nos fornece:

$$\varepsilon - iR - \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (2)$$

Onde $\varepsilon = V_0$ e a corrente no resistor é devida à carga que sai do capacitor, ou seja:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (3)$$

Substituindo a equação (3) na equação (2) teremos:

$$V_0 - R \frac{dq(t)}{dt} - \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (4)$$

Uma solução para esta equação diferencial é do tipo:

$$q(t) = CV_0(1 - e^{-t/RC}) \quad (5)$$

E para $t=RC$, temos:

$$q(t) = CV_0(1 - 1/e) = 63\% CV_0 = 63\% q_0 \quad (6)$$

onde q_0 é a carga máxima do capacitor.

A grandeza RC , que tem a dimensão de tempo, é chamada constante de tempo capacitiva. Ela representa o tempo necessário para que a carga ou a tensão atinja um valor igual a 63% do seu valor máximo.

O comportamento da tensão V é obtido a partir do comportamento de $q(t)$. Então:

$$V(t) = \frac{q(t)}{C} = V_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad (7)$$

, onde $\tau=RC$.

O que podemos observar é que, no processo de carga de um circuito RC os comportamentos da tensão e corrente se invertem. Ao ligarmos um circuito RC a tensão demora algum tempo para atingir o seu valor máximo.

O circuito RC mais simples é aquele constituído por um capacitor inicialmente carregado com uma tensão V_0 descarregando sobre um resistor (chave S no ponto b da Figura 5-1). Todo o desenvolvimento mostrado para um capacitor se carregando vale também para um capacitor se descarregando.

A lei das malhas de Kirchoff aplicada ao circuito de descarga nos fornece:

$$iR + \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (8)$$

ou:

$$\frac{dq(t)}{q(t)} = -\frac{1}{RC} dt \quad (9)$$

ou, definindo $RC=\tau$ e integrando:

$$\ln\left(\frac{q}{q_0}\right) = -\frac{t}{\tau} \quad (10)$$

Reescrevendo, teremos:

$$q(t) = q_0 e^{-t/\tau}, \text{ ou} \quad (12)$$

$$V(t) = V_0 e^{-t/\tau} \quad (13)$$

Quando descarregamos um capacitor sua carga não cai à zero instantaneamente, mas decai exponencialmente.

Neste experimento verificaremos a relação entre os processos de carga e descarga de um capacitor em um circuito RC e sua respectiva constante de tempo τ definida acima. Podemos mostrar que o tempo de descarga de um capacitor é igual ao tempo de carga desde que seja feito nas mesmas condições, ou seja, em um circuito com a mesma resistência R.

Na Figura 5-2 são apresentadas as curvas correspondentes às duas situações estudadas.

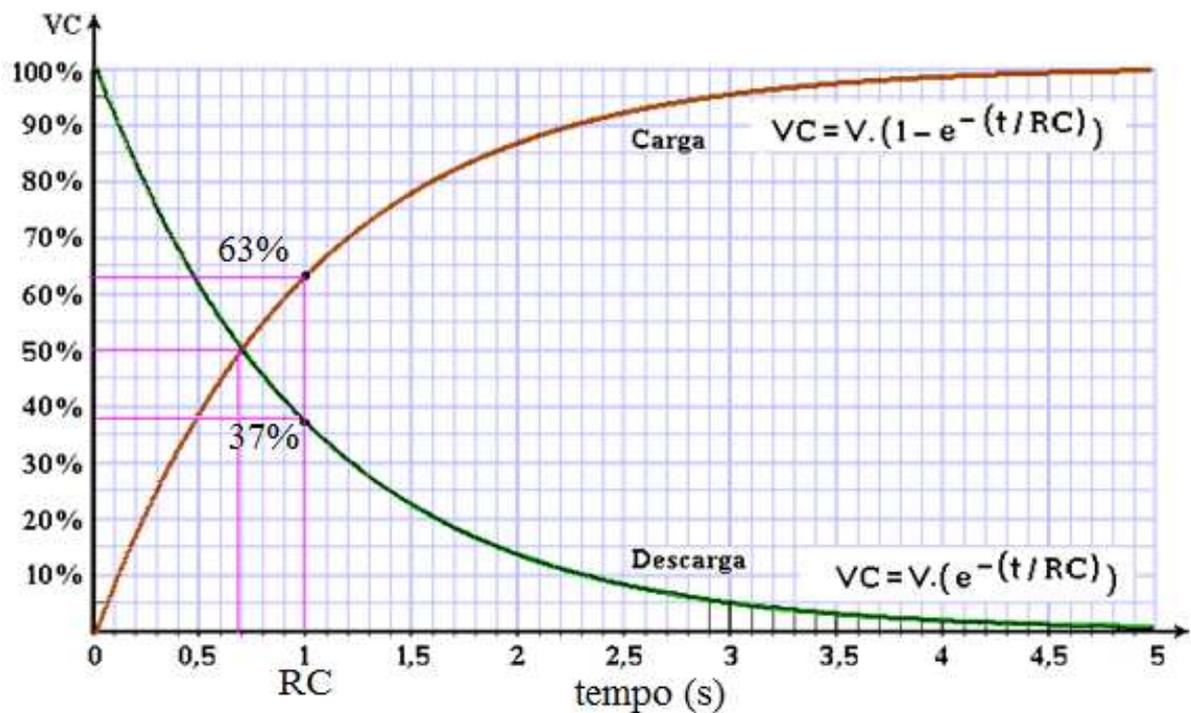


Figura 5-2: V vs t nas duas situações de carga e descarga do capacitor C.

Obs: A resolução da equação diferencial acima será vista em curso específico de equações diferenciais. Preocupe-se apenas em entender o processo que levou à obtenção da equação e sua solução final. Você fará uso dela no experimento. É importante ler livro texto para uma análise mais completa dos processos de carga e descarga em um circuito RC, bem como das equações que regem os mesmos.

Você fará medidas com um multímetro usado como voltímetro DC. Este voltímetro não é perfeito. A sua resistência não é infinita apesar de grande. Como ele interferirá em suas medidas?

Simbolizando o voltímetro pelo circuito equivalente mostrado na Figura 5-3.

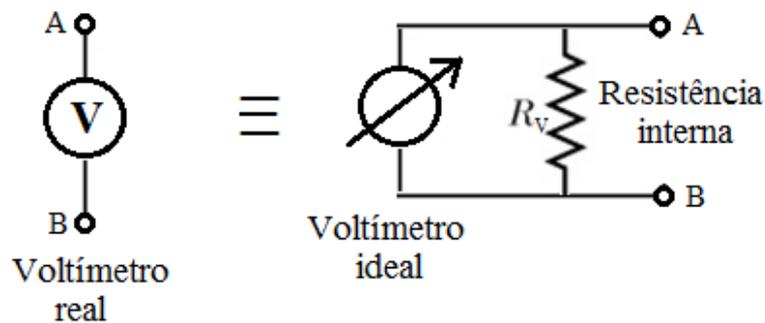


Figura 5-3: Voltímetro real

Para a descarga do capacitor na Figura 5-4, o capacitor se descarrega sobre o resistor R conhecido e sobre a resistência interna do medidor, associadas em paralelo:

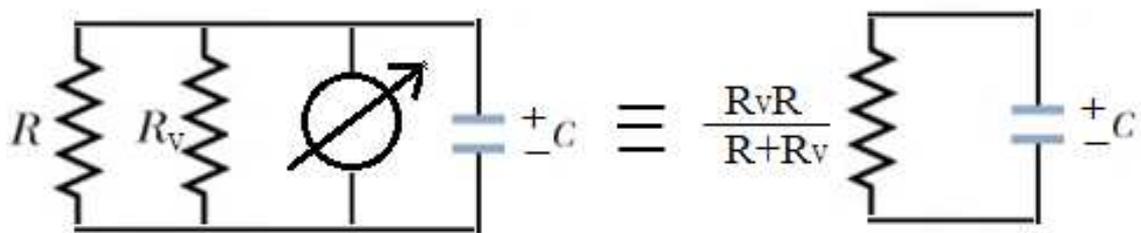


Figura 5-4: descarga em R e em R_v .

e neste caso a constante de tempo que obtemos é igual a:

$$\tau_{d1} = \frac{RR_v}{R+R_v}C \quad (14)$$

Para a carga do capacitor o circuito real é mostrado na Figura 5-5:

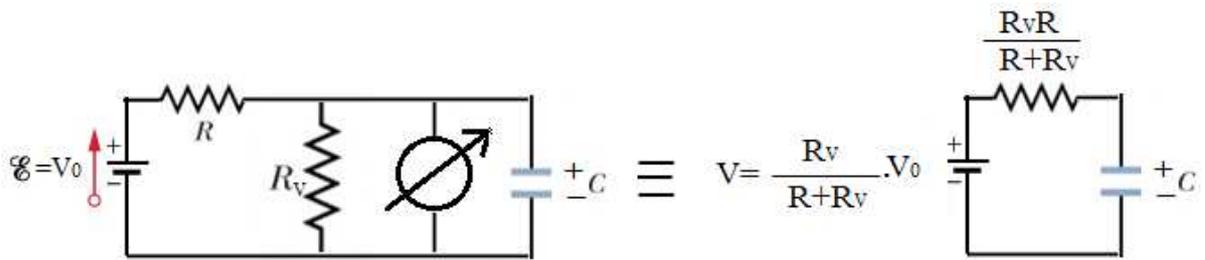
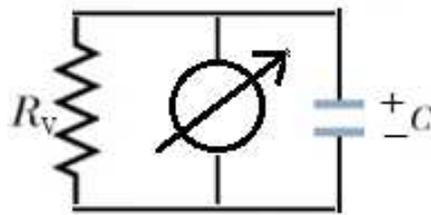


Figura 5-5: Carga

e, se a resistência interna da fonte é pequena ou seja, se ela é desprezível diante de R . Temos a constante de tempo τ_c igual a τ_{d1} , logo:

$$\tau_c = \frac{R R_V}{R + R_V} C \quad (15)$$

Para a descarga do capacitor na Figura 5-6, o capacitor se descarrega somente sobre a resistência R_V do medidor:

Figura 5-6: Descarga somente em R_V .

e a constante de tempo será:

$$\tau_{d2} = R_V C \quad (16)$$

5.3 MATERIAIS

- Protoboard
- Resistor de 1 M Ω e 10 Ω
- Capacitor 47 μ F
- Multímetro Digital (Voltímetro)
- Fonte de Alimentação de Corrente Contínua
- Interruptor com ação de cotovelo
- Cabos (4 banana/banana, 2 banana/jacaré) e Fios
- Cronômetro Digital

5.4 MEDIDAS

TENHA ATENÇÃO AOS CUIDADOS BÁSICOS NA UTILIZAÇÃO DOS MEDIDORES. NÃO GIRE A CHAVE SELETORA DE FAIXAS DO MULTÍMETRO QUANDO O MESMO ESTIVER CONECTADO AO CIRCUITO, ENTRE MEDIDAS DESLIGUE A ALIMENTAÇÃO E O DESCONECTE. CERTIFIQUE-SE DE QUE A SELEÇÃO DA ESCALA ESTEJA CORRETA, ISTO É: MEDIDA DE TENSÃO CONTÍNUA. TENHA ATENÇÃO PARA TRANSFERIR CORRETAMENTE OS VALORES LIDOS PARA A FOLHA DE DADOS: A ESCALA UTILIZADA, ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS, QUANTIDADE DE DÍGITOS APÓS A VÍRGULA EM CADA ESCALA.

NÃO LIGAR O CIRCUITO ANTES QUE O PROFESSOR CONFIRA AS LIGAÇÕES!

Procedimento 1 – Identificação dos componentes

1. Reconheça os capacitores e anote: valores nominais (C), polarização, valores máximos de ddp (V_C). Nunca ultrapasse a tensão máxima indicada no corpo do capacitor, pois pode danificá-lo de maneira irreversível. Para medir a Capacitância com o multímetro e/ou com medidor RC digital, certifique-se que o capacitor a ser testado esteja descarregado. Para descarregar um capacitor, deve-se ligar um resistor de 100 ou 10 Ω entre os seus terminais (quando se coloca os seus terminais diretamente em curto-circuito, podem ocorrer danos ao dielétrico do mesmo). Utilize a função de medida de tensão DC do voltímetro para confirmar que o capacitor esteja descarregado.

2. Leia o valor nominal da resistência (código de cores) e anote.

3. Para $C=47 \mu\text{F}$ avalie e anote o produto $\tau=RC$. Considere que vocês terão que levantar um gráfico de valores de tensão sobre o capacitor para alguns valores de tempo de carga e descarga (Figura 5-2), tempo RC curto o que dificulta a aquisição de pontos suficientes para o gráfico. Para valores de capacitância em farad (F) e resistência em ohms (Ω) o produto RC é dado em segundos (s).

Procedimento 2 – Tempo capacitivo τ de carga e descarga

1. Armem o circuito cc da Figura 5-7 na matriz de contato, observando a polaridade do capacitor (inicialmente descarregado) e usando a resistência $R=1 \text{ M}\Omega$.

2. Use tensão máxima na fonte igual a 10 V (verifique se este valor se enquadra ao valor máximo de potencial suportado pelo capacitor)

3. Com a chave em 3, meça este valor entre os pontos E e D com o multímetro na função voltímetro (chave seletora na faixa V_ 20) e anote na folha de dados (V_{ED}).

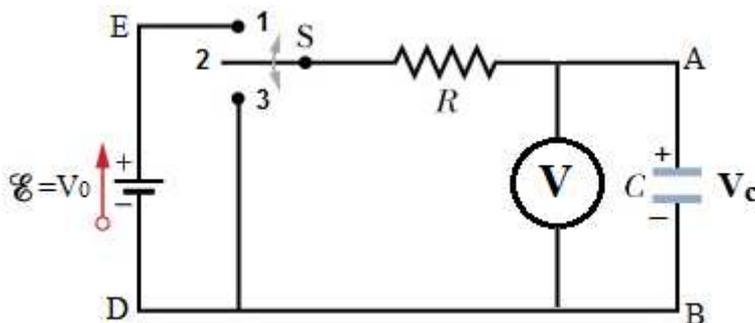


Figura 5-7: Carga e descarga

4. Com a chave em 1 e o voltímetro ligado entre os pontos A e B, meça o valor máximo da tensão entre esses pontos. Espere o tempo suficiente para a tensão se estabilizar, pois o capacitor está sendo carregado.

5. Anote a tensão máxima no capacitor $V_{AB}=V_C$ estabilizada.

6. Preparem-se para fazer a medida da constante de tempo de descarga τ_{d1} : um cronômetro deverá ser controlado e anotado o tempo para um valor de ddp específico. A tensão mudará de forma rápida e não gradativa. Para acionar o cronômetro pressione [MODE] até selecionar o modo cronômetro (Chrono). Pressione [START/STOP] para iniciar a contagem do cronômetro e novamente para pausar o cronômetro (Pause). Aperte [START/STOP] novamente para finalizar (End). Depois de

finalizada a cronometragem, pressione durante 2 segundos o botão [SPLIT/RESET] para excluir os dados (Clear all).

7. Meça então, com o cronômetro a constante de tempo de descarga τ_{d1} que é o tempo necessário para a tensão cair a 37% do valor máximo. Para isto, coloque rapidamente a chave em 3 (neste momento o capacitor começa a ser descarregado em R) e simultaneamente, acione o cronômetro.

8. Ao terminar esta medida, deixe o capacitor descarregando por um tempo maior que $5\tau_{d1}$ ou descarregue-o com a resistência de 10Ω .

9. Com a chave novamente em 1, conjuntamente acione o cronômetro para medir a constante de tempo de carga τ_c , que é o tempo necessário para a tensão se elevar até 63% do seu valor máximo. Em seu relatório compare com o valor de τ_{d1} . Após esta medida, deixe o capacitor carregar-se totalmente.

10. Meça agora com o cronômetro a constante de tempo de descarga τ_{d2} necessária para que o capacitor descarregue a 37% de seu valor máximo sobre a resistência interna R_V do medidor. Para isto, coloque a chave em 2 (chave aberta) e dispare simultaneamente o cronômetro. Em seu relatório compare com o valor encontrado para τ_{d1} , justifique a diferença encontrada.

Procedimento 3 – Carga do capacitor

1. Preparem-se para fazer a medida: alguém terá que, simultaneamente, monitorar o multímetro e controlar o cronômetro para certificar que se faça a medida de tempo em intervalos de ddp regulares. O cronometro utilizado tem opção de armazenar dados de cronometragem. Para isto: inicie a cronometragem pressionando [START/STOP] e para cada ddp específica pressione o botão [SPLIT/RESET]. O tempo para cada ddp específica será gravado e aparecerá no display durante 2 segundos, enquanto o tempo continua a correr. Para finalizar aperte duas vezes [START/STOP] (Pause) (End) e para salvar os dados pressione por 2 segundos o botão [START/STOP] (Store data). Outra opção é filmar simultaneamente a cronometragem e o voltímetro com o celular na função câmera filmadora, desde que este tenha a opção de assistir ao vídeo e pausar, assim os valores serão anotados na folha de dados até o final do experimento.

2. Certifique-se que o capacitor está descarregado antes de colocar a chave em 1 e obtenha medidas de tempo de carga para valores de ddp em 0,50 em 0,50 V até o capacitor atingir 8,50 V. (coloque a chave em 1 e conjuntamente acione o cronômetro).

3. Para anotar os dados armazenados no cronometro: pressione [MODE] até selecionar o modo Registros de Cronometragem (Chrono Data). Pressione [SPLIT/RESET] para selecionar o número do registro (Run 01). Pressione [START/STOP] para visualizar os dados do registro selecionado. Pressione [START/STOP] para ver as estatísticas do registro selecionado, uma por uma, na seguinte ordem: tempo de cada uma das voltas (Lap-001, Lap-002,...), tempo total percorrido, volta mais rápida e tempo médio das voltas. Anote na folha de dados o tempo de cada uma das voltas para cada ddp específica. Some para obter os tempos parciais para cada ddp.

4. Pressione o botão [SPLIT/RESET] durante 2 segundos para apagar o registro selecionado.

Procedimento 4 – Descarga do capacitor

1. Certifique-se que o capacitor está carregado (espere tempo suficiente para a tensão se estabilizar).

2. Preparem-se para fazer as medidas, coloque a chave em 3 para que o capacitor se descarregue sobre a resistência R e em R_V , com o voltímetro medindo a ddp sobre o capacitor meça agora medidas de tempo de descarga para valores de ddp em 0,50 em 0,50 V até o capacitor atingir 0,50 V (simultaneamente, coloque a chave em 3 e acione o cronômetro).

3. Anote na folha de dados o tempo total percorrido para cada ddp específica.

Instruções específicas para este relatório

(verificar também as instruções gerais, já divulgadas)

- Apresentar o valor nominal do capacitor, especificando também o valor da ddp máxima a que ele pode ser submetido.
- Apresentar a dedução do comportamento de carga e descarga do capacitor num circuito RC (regime DC).
- Esquematizar os circuitos (carga e descarga) indicando os pontos de medida em cada caso. Explique como foi feito o processo de carga do capacitor antes da descarga.
- A partir das medidas de tensão entre A e B e entre E e D calcule o valor da resistência interna R_V do multímetro.
- Das medidas das constantes de tempo τ_{d1} e τ_{d2} calcule o valor de R_V . Compare com o valor calculado de R_V do item anterior.
- Trace os gráficos de ddp vs tempo, em papel milimetrado para a carga e descarga. Construa de tal modo que as duas curvas sejam colocadas no mesmo gráfico. Discuta os comportamentos encontrados e determine o valor experimental da constante de tempo RC (ver Figura 5-2).
- Trace o gráfico ddp vs tempo em papel monolog para a descarga. A partir deste gráfico calcule o valor experimental da capacitância C. Levando em consideração que o valor de R_V (resistência interna do voltímetro), na escala de 20 volts cc para o multímetro utilizado é de $10\text{ M}\Omega$ (ou utilize o valor calculado anteriormente). Compare C com o indicado no próprio capacitor e o medido com o multímetro e/ou medidor RC digital.
- Os dados colocados no gráfico devem ser também apresentados em tabela
- Discutir os resultados.
- Discuta e avalie os erros sobre todas as medidas e cálculos efetuados.