 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAHIA	Laboratório de Eletricidade e Magnetismo Data: ____ / ____ / ____ Atividade: Circuito RC
--	---

INTRODUÇÃO

Na presente atividade, vamos investigar a carga e descarga de capacitores, ou seja, vamos estudar o comportamento transitório do circuito RC (resistor-capacitor). Para isso vamos analisar tal circuito de maneira teórica e experimental. Tendo adquirido os dados reais, vamos então comparar esses resultados com a descrição proposta.

OBJETIVOS

- Investigar o comportamento do circuito RC,
- Praticar conhecimentos básicos envolvendo medidas elétricas básicas, e
- Explorar cálculos elementares relacionados com a análise de circuito elétricos.

MATERIAL UTILIZADO

- Conjunto experimental dedicado ao circuito RC,
- Multímetros digitais, fonte de alimentação, cronometro e cabos para interconexões.

RESUMO DAS BASES TEÓRICAS

Consideremos o circuito mostrado na Figura 1a, onde em um instante de tempo inicial, $t = 0$, a carga do capacitor é nula, ou seja, $q(t = 0) = 0$. Nesse instante inicial, $t = 0$, estabelecemos a conexão direta do circuito formado pelo resistor R e o capacitor C (circuito RC) com a fonte de alimentação, tal como assinalado em vermelho na Figura 1b. Essa etapa é a carga do capacitor.

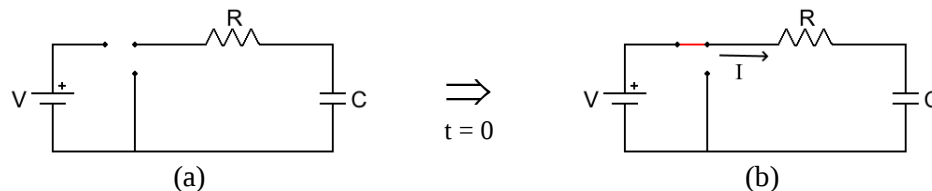


Figura 1: (a) Diagrama esquemático do circuito RC original, composto pelo resistor R e o capacitor C , onde a carga do capacitor é originalmente nula. (b) Diagrama esquemático do circuito RC logo após o estabelecimento da conexão com a fonte de alimentação, em $t = 0$, tal como assinalado em vermelho.

Apliquemos a Lei das Malhas diretamente ao circuito da Figura 1b, como segue:

$$V - V_R - V_C = 0 \quad \text{com} \quad V_R = R.I \quad \text{e} \quad V_C = q/C \quad \Rightarrow \quad V - R.I - q/C = 0 \quad (1)$$

onde I é a corrente que flui pelo circuito, tal como indicado na Figura 1b. Sabendo que $I = \frac{dq}{dt}$ obtemos então a equação diferencial:

$$R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = V \quad \text{cuja solução é} \quad q = C \cdot V \cdot (1 - e^{-t/\sigma}) \quad \text{onde} \quad \sigma = R \cdot C \quad (2)$$

sendo σ a chamada constante de tempo do circuito RC, cuja unidade é segundos, pois:

$$[\sigma] = [\Omega \cdot F] = \left[\frac{V \cdot C}{A \cdot V} \right] = \left[\frac{C}{A} \right] = \left[\frac{C}{C/s} \right] = [s] \quad (3)$$

Calculando I e V_C , obtemos:

$$I = \frac{dq}{dt} = \left(\frac{V}{R} \right) \cdot e^{-t/\sigma} \quad \text{e} \quad V_C = V \cdot (1 - e^{-t/\sigma}) \quad (4)$$

onde podemos ver que, ao tempo tender ao infinito, obteremos $I(t \rightarrow \infty) = 0$ e $V_C(t \rightarrow \infty) = V$.

Consideremos agora uma condição inicial onde a carga no capacitor é $q(t = 0) = q_0$ e a correspondente tensão é $V_C(t = 0) = V_0$. Nesse instante, suponhamos que seja estabelecida uma conexão formando uma configuração em curto circuito, tal como indicado na figura abaixo. Essa etapa é a descarga do capacitor.

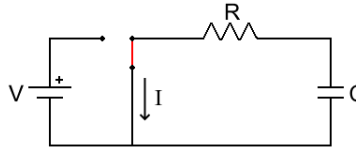


Figura 2: Diagrama esquemático do circuito RC logo após o estabelecimento de um curto, em $t = 0$, tal como assinalado em vermelho, com $q(t = 0) = q_0$ e $V_C(t = 0) = V_0$.

Apliquemos a Lei das Malhas diretamente ao circuito da Figura 1b, como segue:

$$V_R = V_C \quad \text{com} \quad V_R = -R \cdot I \quad \text{e} \quad V_C = q/C \quad \Rightarrow \quad -R \cdot I = q/C \quad (5)$$

onde I é a corrente que flui pelo circuito, tal como indicado na Figura 2. Sabendo que $I = \frac{dq}{dt}$ obtemos então a equação diferencial:

$$R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad \text{cuja solução é} \quad q = q_0 \cdot e^{-t/\sigma} \quad \text{onde} \quad \sigma = R \cdot C \quad (6)$$

sendo σ a chamada constante de tempo do circuito RC, como discutido anteriormente.

Calculando I e V_C , obtemos:

$$I = \frac{dq}{dt} = -\left(\frac{q_0}{\sigma}\right) \cdot e^{-t/\sigma} \quad \text{e} \quad V_C = V_0 \cdot e^{-t/\sigma} \quad (7)$$

onde podemos ver que, ao tempo tender ao infinito, obteremos $I(t \rightarrow \infty) = 0$ e $V_C(t \rightarrow \infty) = 0$.

Na presente atividade, iremos testar a validade da análise teórica feita acima, comparando as previsões com medidas reais. O diagrama esquemático e a aparência geral do conjunto experimental são mostrados na Figura 3. As interconexões serão feitas por cabos do tipo banana-banana.

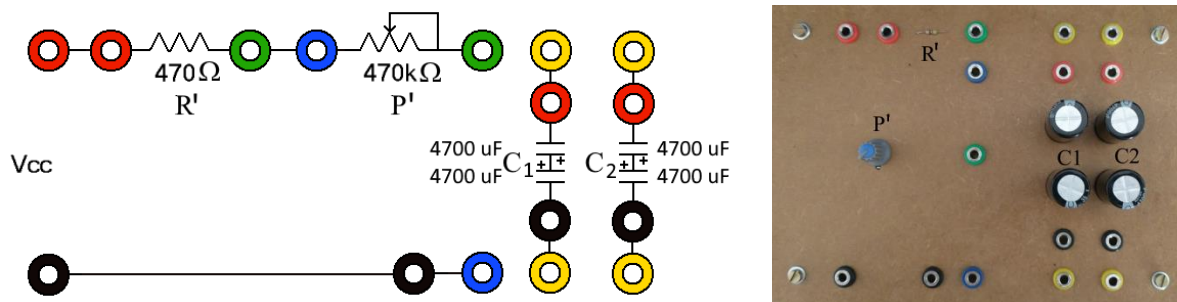


Figura 3: Diagrama esquemático e aparência geral do conjunto experimental.

Comparando o diagrama esquemático acima com os diagramas mostrados nas Figuras 1 e 2, podemos rapidamente concluir que $R = R' + P'$, onde P' denota a resistência ajustável apresentada pelo potenciômetro. O capacitor C é de fato composto por dois capacitores eletrolíticos de mesmo valor, associados em série, podendo ser utilizado o banco de capacitores C_1 ou C_2 . A configuração dessas associações em série é tal que o capacitor equivalente se torna “relativamente imune” a eventuais inversões de polaridade. Cada capacitor possui individualmente $4700 \pm 20\% \mu F$. Portanto, cada banco apresentará uma capacitância de $2350 \pm 20\% \mu F$, levando-se em conta a tolerância. Uma breve ilustração das especificações é mostrada na Figura 4. Cabe salientar que os capacitores eletrolíticos são basicamente organizados em 4 categorias de tolerância, como segue.

- Código de letra "N" → tolerância de $\pm 30\%$ no valor da capacitância nominal.
- Código de letra "M" → tolerância de $\pm 20\%$ no valor da capacitância nominal.
- Código de letra "K" → tolerância de $\pm 10\%$ no valor da capacitância nominal.
- Código de letra "J" → tolerância de $\pm 5\%$ no valor da capacitância nominal.

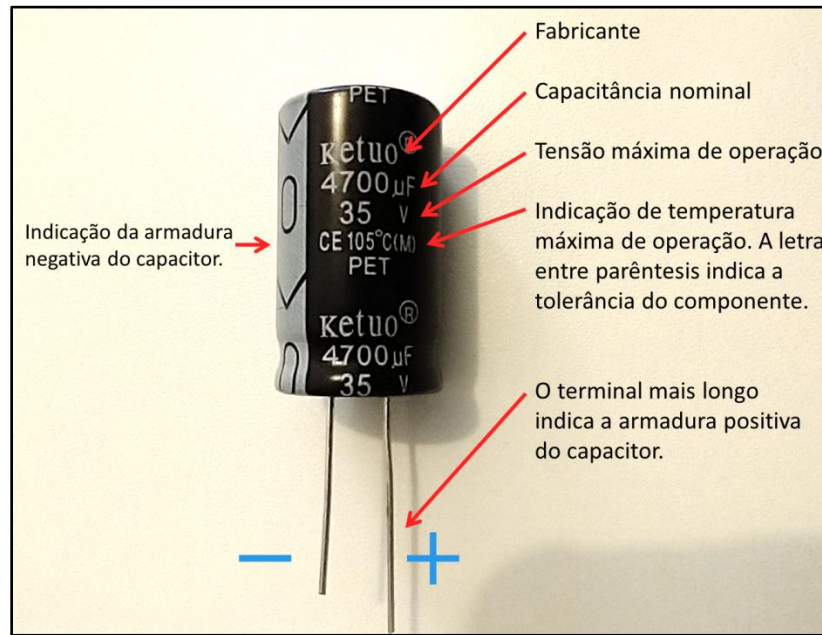


Figura 4: Aparência geral de um capacitor eletrolítico.

PROCEDIMENTOS BÁSICOS

1. Com o conjunto completamente desconectado de qualquer fonte de tensão/corrente, ajuste o potenciômetro para obter $R \approx 180 \text{ k}\Omega$. Ajuste a fonte de alimentação para $V \approx 10 \text{ V}$. Meça o valor real de R e V para utilizar posteriormente nos cálculos e comparações.
2. Monte o circuito RC, tal como indicado nas Figuras 1 e 2, incluindo um voltímetro para medir V_C e um amperímetro para medir I . Para o voltímetro use a escala de 20 Vcc e para o amperímetro a escala de 2 mA (2000 μA). Conecte o terminal negativo da fonte de alimentação ao circuito. Contudo, **não conecte o terminal positivo da fonte de alimentação ao circuito.**
3. Com o circuito pré-montado e com o cronometro em mãos, dispare a cronometragem e simultaneamente conecte o terminal positivo da fonte de alimentação ao circuito. Anote os valores de V_C e I nos tempos indicados nas folhas de dados anexadas ao presente roteiro. É sugerido que essa tarefa seja dividida entre dois integrantes do grupo. Lembre que tais folhas de dados deverão ser digitadas e anexadas ao final do relatório. **Ao final dessa etapa, não desconecte a fonte de alimentação do circuito.**
4. Elabore gráficos V_C como função do tempo ($V_C \times t$) e I como função do tempo ($I \times t$). Compare a forma das curvas obtidas com as previsões feitas anteriormente para as respectivas dependências funcionais. Discuta e circunstancie suas observações.
5. Elabore um gráfico de $\ln(I)$ como função do tempo, ou seja, $\ln(I) \times t$. Qual o tipo de curva é obtida? Discuta e circunstancie suas observações.
6. Partindo do item acima, faça uma regressão linear dos dados $\ln(I) \times t$, obtendo uma reta de ajuste do tipo:

$$y = b - a.t \quad (8)$$

onde $y = \ln(I)$. Se necessário, consulte o manual de sua calculadora. **Ao efetuar tal regressão linear, use o tempo em segundos e a corrente em amperes.**

7. Compare o valor de b com $\ln(V/R)$. Esses valores concordam?
8. Considerando a equivalência $a = 1/(R.C)$, determine o valor real de C . Levando em conta a tolerância dos capacitores, esse valor concorda com o valor previsto ($C = 2350 \pm 20\% \mu\text{F}$)?

9. Com o capacitor pré-carregado e o cronometro reiniciado, desconecte completamente a fonte de alimentação. Dispare a cronometragem e simultaneamente curto circuite os terminais onde a fonte de alimentação estava previamente conectada. Anote os valores de V_C e I nos tempos indicados nas folhas de dados anexadas ao presente roteiro. É sugerido que essa tarefa seja dividida entre dois integrantes do grupo. Lembre que tais folhas de dados deverão ser digitadas e anexadas ao final do relatório.
10. Elabore gráficos V_C como função do tempo ($V_C \times t$) e I como função do tempo ($I \times t$). Compare a forma das curvas obtidas com as previsões feitas anteriormente para as respectivas dependências funcionais. Discuta e circuncie suas observações.
11. Elabore um gráfico de $\ln(|I|)$ como função do tempo, ou seja, $\ln(|I|) \times t$. Despreze os pontos experimentais onde eventualmente $|I|$ for nulo. Qual o tipo de curva é obtido? Discuta e circuncie suas observações.
12. Partindo do item acima, faça uma regressão linear dos dados $\ln(|I|) \times t$, obtendo uma reta de ajuste do tipo:

$$y = b' - a' \cdot t \quad (8)$$

onde $y = \ln(|I|)$. Se necessário, consulte o manual de sua calculadora. **Ao efetuar tal regressão linear, use o tempo em segundos e a corrente em amperes.**

13. A partir do valor obtido para o coeficiente b' , determine o valor de q_0 . Esse valor concorda com o valor V_0/C ? Use os valores medidos para R e $V_0 = V(t = 0)$, sendo o valor de C o correspondente valor obtido no item 8 acima.
14. Considerando a equivalência $a' = 1/(R \cdot C)$, determine o valor da constante de tempo σ . Esse valor concorda com o anteriormente considerado no item 8 acima?
15. Com base nos resultados obtidos, podemos dizer que a descrição teórica proposta inicialmente é observada na prática?

TAREFAS E QUESTIONAMENTOS

1. Responda os questionamentos inclusos nas diversas etapas do procedimento básico.
2. Ao elaborar suas respostas, circuncie e discuta cada resultado.

SUGESTÕES PARA REFERENCIAS

- Fundamentos de Física: Eletromagnetismo, Halliday, Resnick e Walker, Vol.3, Ed. LTC.
- Física III: Eletromagnetismo, Sears e Zemansky / Young e Freedman, Ed. Pearson.
- Apostilas, manuais, roteiro e material complementar disponíveis em <https://physika.info>

FOLHA DE DADOS

Medidas de tensão versus tempo: CARGA

Resistor R = _____ $k\Omega$ V = _____ V

Tempo (minuto)	Tensão V_C (V)
$\frac{1}{4}$	
$\frac{1}{2}$	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	

FOLHA DE DADOS

Medidas de tensão versus tempo: DESCARGA

Resistor R = _____ k Ω

Tempo (minuto)	Tensão V _C (V)
0	
$\frac{1}{4}$	
$\frac{1}{2}$	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	

FOLHA DE DADOS

Medidas de corrente versus tempo: CARGA

Resistor R = _____ $k\Omega$ V = _____ V

Tempo (minuto)	Corrente I (mA)
$\frac{1}{4}$	
$\frac{1}{2}$	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	

FOLHA DE DADOS

Medidas de corrente versus tempo: DESCARGA

Resistor R = _____ k Ω

Tempo (minuto)	Corrente I (mA)
¼	
½	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	