UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE
SEMESTRE 2022.1

PRÁTICA 08 –CIRCUITO RC

ALUNO: NEANDER DANUBIO MARINHO ANDRADE

MATRÍCULA: 385212

CURSO: ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO TURMA: 01

PROFESSOR: HEITOR MELO

DATA 06/06/2022 ÀS 10:00

Sumário

8.1 OBJETIVOS

- Estudar o circuito RC;
- Estudar a associação de capacitores em série e em paralelo;
- Determinar a constante de tempo capacitiva do circuito RC.

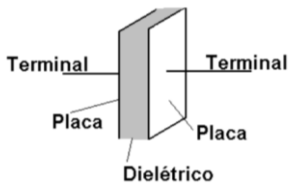
8.2 MATERIAL

- Capacitor de $1000\mu F$ (dois);
- Resistor $k\Omega$;
- Fonte de tensão contínua de $10V$ (pode ser outro valor);
- Cabos (sete);
- Multímetro digital (de alta impedância);
- Chave (comutadora).

8.3 FUNDAMENTOS

Um capacitor é, essencialmente, constituído por condutores separados, isolados entre si. Um capacitor pode ter várias formas, mas a mais comum é a de um capacitor formado por duas placas condutoras separadas por algum material isolante figura 8.1. Inicialmente, o ar poderia ser um desses isolantes utilizados nos capacitores. Mas há outros materiais usados para esse fim, tais quais, vidro, plástico entre outros. Esses materiais isolantes são chamados de dielétricos.

FIGURA 8.1 - CAPACITOR DE PLACAS PARALELAS



Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

Quando submetido a uma diferença de potencial V, por exemplo de uma bateria ou pilha, cada placa do capacitor é carregada com uma carga de módulo q. Uma placa é carregada com uma carga positiva $+q$ e a outra com uma carga negativa $-q$. De tal modo que a carga total do capacitor é nula. A carga q que um capacitor pode acumular é proporcional a diferença de potencial V, dada pela seguinte equação:

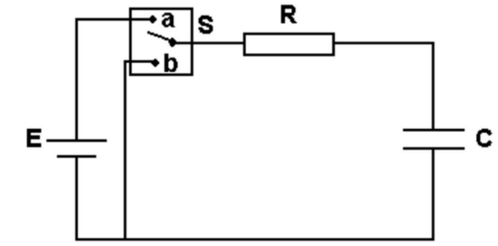
$$q = CV$$

Essa constante de proporcionalidade é chamada de capacitância, e é uma medida da quantidade de carga que precisa ser acumulada nas placas para que se obtenha uma certa diferença de potencial V entre elas. A capacitância depende da geometria das placas e da rigidez dielétrica do material isolante.

O Circuito RC

O circuito da figura 8.2 é formado por uma fonte de tensão CC, um capacitor, um resistor e uma chave ideal. Inicialmente, vamos estudar o comportamento do circuito quando a chave é comutada de b para a. Pode-se encontrar a função que governa o carregamento e descarregamento do capacitor utilizando as leis de Kirchhof.

Figura 8.2 – Circuito RC com chave comutadora



Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

A corrente que circular pelo capacitor é $i_c = C\frac{d}{dt}v_c$. i_c é a mesma corrente que circula pela fonte e pelo resistor fonte e E a tensão da fonte. Utilizando a lei das tensões de Kirchhoff, obtemos:

$$-E + Ri_c + v_c = 0$$

$$-E + RC\frac{d}{dt}v_c + v_c = 0$$

$$RC\frac{d}{dt}v_c + v_c = E$$

Dividindo tudo por RC obtem-se:

$$\frac{d}{dt}v_c + \frac{v_c}{RC} = \frac{E}{RC} \qquad (1)$$

Esse tipo de equação diferencial é uma equação diferencial linear de primeira ordem do tipo

$$y' + P(x)y = Q(x) \qquad (2)$$

A forma de resolver esse tipo de equação é encontrar o fator integrante $I = e^{\int P(x)dx}$ e multiplicá-lo por ambos os lados de (2). A solução será da forma:

$$y(x) = \frac{1}{I(x)}[\int I(x)Q(x)dx + k] \qquad (3)$$

O fator integrante de (1) é $I = e^{\int \frac{1}{RC}dt}$. A solução para (1) é dada por

$$v_c(t) = \frac{1}{I}[\int (e^{\int \frac{1}{RC}dt})(\frac{E}{RC})dt + k]$$

$$v_c(t) = E + (V_0 - E)e^{\frac{-t}{RC}} \qquad (4)$$

Onde V_0 é a tensão inicial do capacitor no tempo $t = 0$. Para o caso deste experimento sempre descarregamos os capacitores antes de iniciar o procedimento, logo $V_0 = 0$ e (4) será:

$$v_c(t) = E\left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) \qquad (5)$$

Observamos que $\lim_{t \to \infty} e^{\frac{-t}{RC}} = 0$, $v_c(t) = E$, ou seja, o capacitor estará totalmente carregado. Considera-se que depois de um intervalo de tempo de $5RC$ o capacitor estará totalmente carregado. $\tau = RC$ é chamada de constante de tempo do circuito RC.

A partir de (5) pode-se encontrar a equação para a carga $q(t)$ e $i_c(t)$. Multiplicando (5) pela capacitância C obtemos:

$$q(t) = CE\left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) \qquad (6)$$

Derivando (6) em função do tempo, obtemos a equação para a corrente no capacitor. Logo:

$$i_c(t) = CE(\frac{1}{RC})e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$i_c(t) = \frac{E}{R}e^{\frac{-t}{RC}} \qquad (7)$$

Quando desconectamos comuta-se a chave de *a* para *b*, o circuito será formado pelo capacitor e o resistor. O capacitor começará a descarregar sua carga na resistência R. Para esse circuito, obteremos uma outra equação diferencial linear de primeira ordem que governa o comportamento do capacitor descarregando sua carga em um resistor R. A solução da equação diferencial é dada por

$$v_c(t) = V_0 e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad (8)$$

A partir de (8) pode-se encontrar a equação para a descarga $q(t)$ e $i_c(t)$. Novamente obtemos $q(t)$ multiplicando (8) pela capacitância C. Logo, obtemos:

$$q(t) = CV_0 e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad (9)$$

Derivando (8), obtemos:

$$i_c(t) = \frac{-V_0}{\tau} e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad (10)$$

Demonstramos todas as equações que regem o comportamento do circuito RC.

8.4 PRÉ-LABORATÓRIO

Considere que o capacitor da figura 8.2 está completamente carregado. No instante t=0 a chave S é ligada ao ponto b. Escreva o que se pede (não precisa demonstrar).

a) A equação da carga do capacitor em função do tempo.

$$\boxed{q(t) = CV_0 e^{\frac{-t}{\tau}}}$$

b) A equação da diferença de potencial sobre o capacitor em função do tempo.

$$\boxed{v_c(t) = V_0 e^{\frac{-t}{\tau}}}$$

c) A equação da diferença de potencial sobre resistor em função do tempo.

$$\boxed{v_R(t) = \frac{V_0}{C} e^{\frac{-t}{\tau}}}$$

d) A equação da corrente no circuito em função do tempo.

$$\boxed{i_c(t) = \frac{V_0}{\tau} e^{\frac{-t}{\tau}}}$$

8.5 PROCEDIMENTO

PROCEDIMENTO 1: Medida da Tensão no Capacitor em função do Tempo durante a carga do capacitor.

1.1 Ajuste a tensão da fonte para 10V. Alternativamente, anote a tensão da fonte caso não disponha de uma que forneça 10V. $E = 10.05V$.

Com o multímetro verificamos a saída da fonte de tensão CC.

1.2 Anote os valores nominais do resistor $R_N = 30k\Omega$ e dos capacitores $C_{N1} = 1000.0\mu F$ e $C_{N2} = 1000.0\mu F$ usados no circuito. Meça a resistência e anote, $R_M = 29.07k\Omega$. Com um capacímetro meça e anote os valores medidos das capacitâncias $C_{N1} = 985.0\mu F$ e $C_{N2} = 722.0\mu F$.

Para medir a capacitância, utilizamos a escala de $2000.0\mu F$.

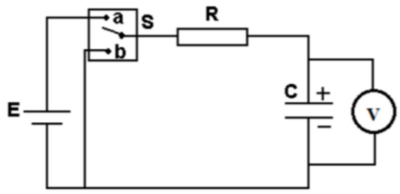
1.3 Certifique-se de que o capacitor está descarregado curto circuitando seus terminais. Faça isso preferencialmente com o capacitor desconectado do circuito.

Curto circuitamos os capacitores logo no início da prática.

1.4 Monte o circuito da Figura 8.3, com a chave S inicialmente em b. Atenção para a polaridade do capacitor. Escolha uma escala no voltímetro tendo em mente que a tensão máxima a ser medida é a tensão da fonte indicada no item 1.1 acima.

Utilizando o voltímetro e o cronômetro, optamos por filmar o procedimento, uma vez que é muito mais prático para depois fazer as anotações necessárias. Quando a chave foi comutada para o ponto a o circuito estabelecido é composto pela fonte CC, o resistor, o capacitor e chave ideal S. Nesse caso, as placas do capacitor começaram a ser carregadas.

Figura 8.3 – Circuito RC para o procedimento 1 e 2.



Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

1.5 Acione o cronômetro e simultaneamente ligue a chave S em a.

1.6 Anote os valores da tensão sobre o capacitor, v_c em função do tempo de carga, t, como indicado na Tabela 8.1.

Tabela8.1. Tensão v_c em função do tempo a carga do capacitor.

$t\ (s)$	0	10.43	20.47	30	40.33	49.59	59.49
$v_c(V)$	0	2.56	4.64	6.00	7.03	7.68	8.23
$t\ (s)$	80	100	120	140	160	180	200
$v_c(V)$	8.95	9.35	9.56	9.69	9.76	9.81	9.84

Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

1.7 O circuito deve permanecer ligado após a tomada das medidas.

PROCEDIMENTO 2: Medida da Tensão no Capacitor em função do Tempo durante a descarga do capacitor.

2.1 Espere até a tensão do capacitor atingir 10,0V (ou quase).

2.2 Anote v_c para o instante t = 0. Neste caso v_c é igual à leitura do voltímetro imediatamente antes de ligar a chave em b.

Tabela8.2. Tensão v_c em função do tempo a descarga do capacitor.

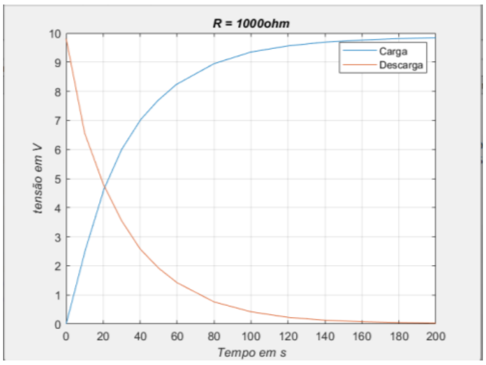
$t\ (s)$	0	10	20	30	40	50	60
$v_c(V)$	9.81	6.56	4.82	3.55	2.58	1.92	1.42
$t\ (s)$	80	100	120	140	160	180	200
$v_c(V)$	0.76	0.42	0.23	0.13	0.08	0.05	0.03

Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

2.3 Acione o cronômetro e simultaneamente ligue a chave S em b e anote a tensão em função do tempo, durante a descarga do capacitor, como indicado na Tabela 8.2.

2.4 Na folha anexa, faça os gráficos da Tensão no Capacitor (VC) versus tempo para a carga e a descarga do capacitor.

Figura 8.4 – Resposta natural e forçada do Circuito RC



Fonte: autor da prática

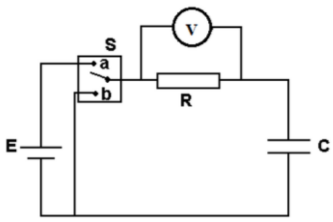
PROCEDIMENTO 3: Medida da Tensão no Resistor em função do Tempo durante a carga do capacitor.

3.1 Certifique-se de que o capacitor está descarregado curto circuitando seus terminais.

3.2 Monte o circuito da Figura 8.5, com a chave S inicialmente em b.

3.3 Anote $v_R(t)$ para o instante t = 0. Neste caso $v_R(t)$ é igual à tensão fornecida pela fonte se o capacitor estiver totalmente descarregado.

Figura 8.5 – Circuito para os procedimentos 3 e 4.



Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

3.4 Acione o cronômetro e simultaneamente ligue a chave S em a. Meça a tensão sobre o resistor V_R em função do tempo durante a carga do capacitor. Anote os resultados na Tabela 8.3.

3.5 Calcule a corrente I, em cada instante, dividindo a tensão pelo valor medido da resistência. Anote na Tabela 8.3.

Tabela8.3. Tensão V_R e corrente i_R em função do tempo durante a carga do capacitor.

$t\ (s)$	0	10	20	30	40	50	60
$V_R(V)$	-9.78	-6.63	-4.31	-2.95	-2.14	-1.54	-1.13
$I(\mu A)$	-336.43	-228.07	-148.26	-101.48	-73.62	-52.98	-38.87
$t\ (s)$	80	100	120	140	160	180	200
$V_R(V)$	-0.74	-0.53	-0.42	-0.36	-0.30	-0.24	-0.18
$I(\mu A)$	-25.46	-18.23	-14.45	-12.38	-10.32	-8.26	-6.19

Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

3.6 O circuito deve permanecer ligado após a tomada das medidas.

PROCEDIMENTO 4: Medida da Tensão no Resistor em função do Tempo durante a descarga do capacitor.

4.1 Espere que a tensão sobre o resistor se anule.

4.2 Anote V_R para o instante t = 0. V_R é igual à diferença entre a leitura do voltímetro imediatamente antes de ligar a chave em b e a tensão da fonte. Neste caso teremos um valor negativo indicando que a corrente circulará no circuito em sentido contrário.

4.3 Acione o cronômetro e simultaneamente ligue a chave S em b. Meça a tensão sobre o resistor $v_R(t)$ durante a descarga do capacitor. Anote os resultados na Tabela 8.4.

4.4 Calcule a corrente I, em cada instante, dividindo a tensão pelo valor medido da resistência. Anote na Tabela 8.4.

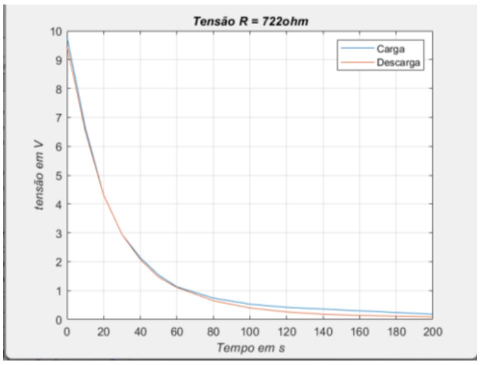
Tabela8.4. Tensão V_R e corrente I em função do tempo durante a carga do capacitor.

$t\ (s)$	0	10	20	30	40	50	60
$V_R(V)$	9.46	6.51	4.31	2.95	2.08	1.47	1.11
$I(\mu A)$	325.42	223.94	148.26	101.47	71.55	50.56	38.18
$t\ (s)$	80	100	120	140	160	180	200
$V_R(V)$	0.65	0.40	0.26	0.18	0.14	0.11	0.09
$I(\mu A)$	22.36	13.76	8.94	6.19	4.82	3.78	3.10

Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

4.5 Trace num mesmo gráfico a Tensão $V_R(t)$ para a carga e descarga do capacitor.

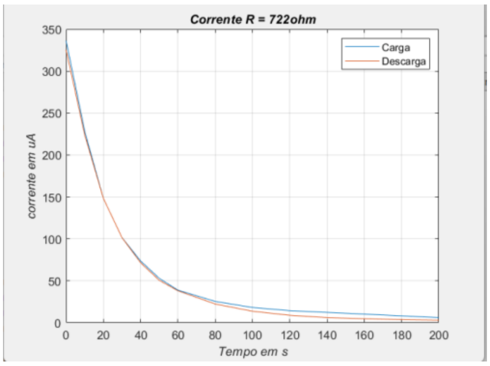
Figura 8.6 – Tensão sobre o resistor



Fonte: autor da prática

4.6 Trace num mesmo gráfico a Corrente I(t) para a carga e a descarga do capacitor.

Figura 8.7 – Corrente sobre o resistor



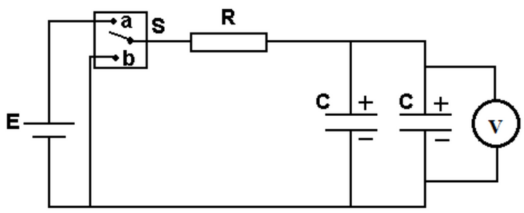
Fonte: autor da prática

PROCEDIMENTO 5: Medida da Tensão nos Capacitores (associados em paralelo) em função do Tempo durante a carga dos capacitores.

5.1 Substitua o capacitor por dois capacitores em paralelo como mostra a Figura 8.5. Certifique-se de que ambos os capacitores estão descarregados curto circuitando seus terminais.

5.2 Monte o circuito da Figura 8.8, com a chave S inicialmente em *b*.

Figura 8.8 –Circuito RC com dois capacitores em paralelo.



Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

5.3 Acione o cronômetro e simultaneamente ligue a chave S em *a*.

5.4 Anote os valores da tensão sobre os capacitores, $v_c$em função do tempo de carga, t, como indicado na Tabela 8.5.

Tabela8.5. Tensão v_c em função do tempo durante a carga dos capacitores em paralelo.

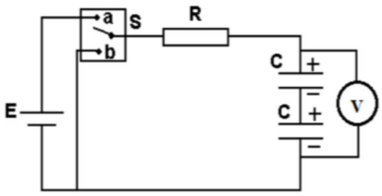
$t\ (s)$	0	10	20	30	40	50	60
$v_c(V)$	0.02	1.60	3.07	4.17	5.06	5.86	6.53
$t\ (s)$	80	100	120	140	160	180	200
$v_c(V)$	7.44	8.09	8.57	8.90	9.14	9.31	9.44

Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

PROCEDIMENTO 6: Medida da Tensão nos Capacitores (associados em série) em função do Tempo durante a carga dos capacitores.

6.1 Coloque os dois capacitores em série como mostra a Figura 8.9. Certifique-se de que ambos os capacitores estão descarregados curto circuitando seus terminais.

Figura 8.9 –Circuito RC com dois capacitores em série.



Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

6.2 Monte o circuito da Figura 8.9, com a chave S inicialmente em b.

6.3 Acione o cronômetro e simultaneamente ligue a chave S em a.

6.4 Anote os valores da tensão sobre os capacitores, v_c, em função do tempo de carga, t, como indicado na Tabela 8.6.

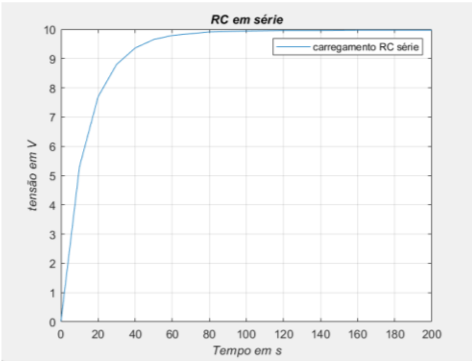
6.5 Na folha anexa, faça o gráfico da Tensão versus tempo para a carga dos capacitores em série e em paralelo.

Tabela8.5. Tensão v_c em função do tempo durante a carga dos capacitores em série.

$t\ (s)$	0	10	20	30	40	50	60
$v_c(V)$	0.02	5.30	7.69	8.80	9.36	9.65	9.79
$t\ (s)$	80	100	120	140	160	180	200
$v_c(V)$	9.91	9.94	9.96	9.96	9.97	9.97	9.97

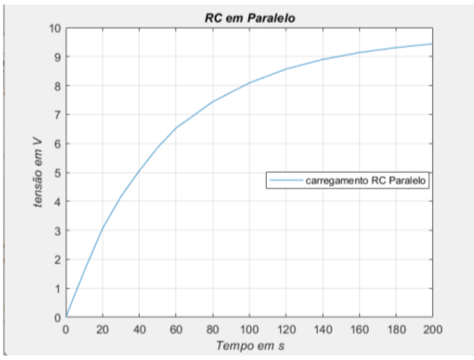
Fonte: (NILDO, Loiola Dias - 2022)

Figura 8.10(a) –Circuito RC com dois capacitores em série.



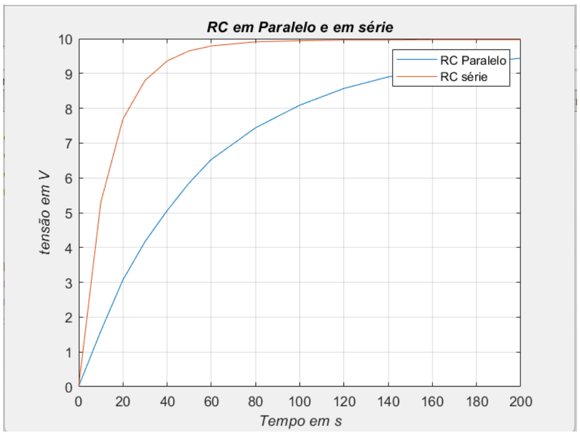
Fonte: autor da prática

Figura 8.10(b) –Circuito RC com dois capacitores em paralelo.



Fonte: autor da prática

Figura 8.11 –Os gráficos para o Circuito RC.



Fonte: autor da prática

8.6 QUESTIONÁRIO

1. Determine a constante de tempo nominal do circuito com apenas um capacitor.

   Foram nos fornecidos dois capacitores de valor nominal de capacitância de $1000\mu F$ e um resistor de valor nominal de $30k\Omega$. Logo, a constante de tempo que é dada por:

$$\tau = RC$$
$$\tau = 30000\Omega \times 1000\mu F$$
$$\tau = 30s$$

   Vale salientar que os valores medidos para ambos os capacitores foram diferentes dos valores nominais como também para o resistor.

2. Determine experimentalmente a constante de tempo do circuito pelo gráfico de $v_c(t)$ durante a carga do capacitor. Indique o procedimento usado.

   Como ensina ALEXANDER & SADIKU (2013), pode-se encontrar a constante de tempo para um circuito RC em resposta natural encontrando a derivada $\frac{dv_c(t)/V_0}{dt}$ para $t = 0$. Essa derivada possui valor $\frac{dv_c(t)/V_0}{dt} = -\frac{1}{\tau}$.

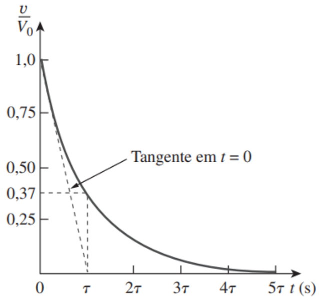


Figura 7.3 Determinação gráfica da constante de tempo τ a partir da curva de resposta.

Fonte: ALEXANDER & SADIKU (2013)

A constante de tempos expressa a taxa com que a tensão cai de seu valor unitário a 37% desse valor. Algo similar pode ser empregado para obter a constante de tempo para o circuito RC durante o carregamento ou resposta forçada.

A equação para o carregamento do capacitor:

$$v_c(t) = E + (V_0 - E)e^{\frac{-t}{RC}}$$

Para os procedimentos adotados nesta prática $V_0 = 0V$. Logo:

$$v_c(t) = E(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$

Quando $t = RC$, obtém-se:

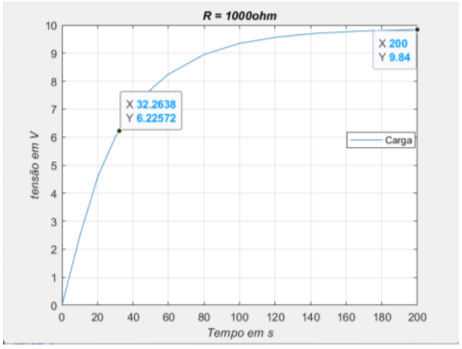
$$v_c(RC) = E(1 - e^{-1})$$

$$v_c(RC) = E0.632$$

Ou seja, para $t = RC$, o valor v_c cresce até 63.2% de seu valor final.

Pode-se plotar $v_c(t)$ e verificar para qual valor de t , $v_c = 63.2\%E$. Traçando a curva $v_c(t)$ para a carga do capacitor, a constante τ é o tempo em que a curva $v_c(t)$ atinge 63.2% do seu valor final. Logo, encontrando graficamente esse valor, encontra-se o valor de τ. Temos que o valor de τ é valor de tempo em que $v_c = 9.84V \times 0.632 = 6.218V$.

Logo, a constante de tempo experimental é de aproximadamente 32.26s conforme figura abaixo:



Fonte: autor da prática

O valor da resistência medido foi $29.07k\Omega$ e a capacitância foi de $985{,}0\mu F$. Logo o valor de $\tau = 28.63s$. Obtemos um erro relativo de 11.26%. Um valor bastante significativo.

3. Determine a capacitância do capacitor utilizado a partir do resultado da questão anterior.

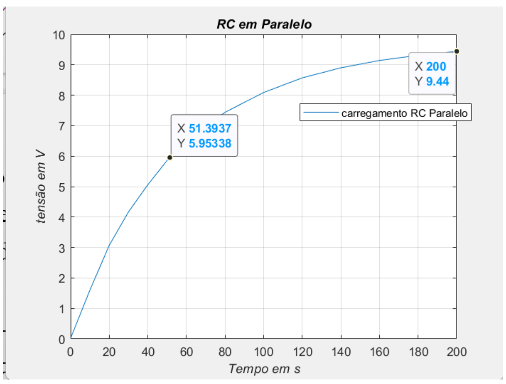
Dado que usamos o capacitor de $985.0\mu F$, esse valor será usado para calcular o erro relativo.

$$\tau = RC$$
$$C = \frac{\tau}{R}$$
$$C = 1106.98\mu F$$

Obtemos um erro relativo de 12.4%. Um valor bastante significativo.

4. Determine experimentalmente a capacitância equivalente dos capacitores em paralelo e compare com o resultado esperado teoricamente.

Utilizarei o mesmo método de ALEXANDER & SADIKU (2013). Para o carregamento, a constante τ é o tempo em que a curva $v_c(t)$ atinge 63.2% do seu valor final. No caso, o valor final para RC paralelo é 9.44V. Logo 63.2% de 9.44V é 5.96608V. Obtemos esse ponto no gráfico. Observamos que o MATLAB já fornece o valor de X(t nesse caso) automaticamente. Então a constante de tempo $\tau = 51.39s$.



Fonte: autor da prática

A capacitância é dada por:

$$C_{eqexp} = \frac{\tau}{R}$$

$$C_{eqexp} = \frac{51.3937s}{29.07k\Omega}$$

$$C_{eqexp} = 1767.92\mu F$$

A capacitância equivalente nominal é dada por:

$$C_{eqn} = 1000\mu F + 1000\mu F = 2000\mu F$$

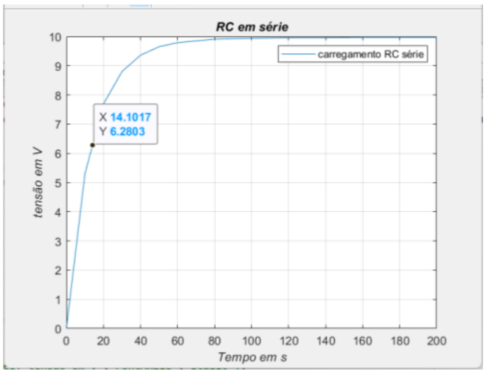
A capacitância equivalente calculada a partir das capacitâncias medidas é dada por:

$$C_{eqm} = 985.0\mu F + 722\mu F$$
$$C_{eqm} = 1707\mu F$$

O erro relativo calculado entre C_{eqm} e o valor $C_{eqexp} = 1767.92\mu F$ é 3.45%. Um valor tolerável, tendo em vista que mesmo alguns resistores possuem tolerância de 10% ou 20%.

5. Determine experimentalmente a capacitância equivalente dos capacitores em série e compare com o resultado esperado teoricamente.

Novamente, ALEXANDER & SADIKU (2013). O valor final para o circuito RC em série é 9.97V. Logo, 63.2% de 9.97V é 6.30104V. verificando graficamente:



Fonte: autor da prática

Percebemos que a constante de tempo é $\tau = 14.1017s$. Logo a capacitância equivalente é dada por:

$$C_{eqexp} = \frac{\tau}{R}$$

$$C_{eqexp} = \frac{14.1017s}{29.07k\Omega}$$

$$C_{eqexp} = 485.09\mu F$$

A capacitância equivalente esperada é dada por:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \left(\frac{1}{722.0\mu F} + \frac{1}{985{,}0\mu F}\right)$$

$$C_{eq} = 416.61\mu F$$

O erro relativo é de $e = 16.6\%$.

6. Calcule a carga máxima armazenada no capacitor durante a experiência.

A carga é dada por:

$$q = CV$$

A carga máxima é atingida quando a tensão for máxima para cada um dos casos. As tensões máximas atingidas foram:

$9.84V$ para o capacitor de $985.0\mu F$ durante o carregamento;

$$q = CV$$

$$q = 9.69mC$$

$9.81V$ para o capacitor de $985.0\mu F$ durante o descarregamento;

$$q = CV$$

$$q = 9.66mC$$

$9.44V$ para os capacitores em paralelo durante o carregamento;

$$q = CV$$

$$q = 16.69mC$$

$9.97V$ para os capacitores em série durante o carregamento;

$$q = CV$$

$$q = 4.83mC$$

Para o procedimento 3 e 4 medimos a tensão sobre o resistor. Com a lei das tensões de kircchoff pode-se encontrar a tensão para o capacitor. Para o procedimento 3, Temos que:

$$-E + V_R + v_c = 0$$

$$v_c = E - V_R$$

Logo, para o carregamento, v_c = [0.23; 3.38; 5.70; 7.06; 7.87; 8.47; 8.88; 9.27; 9.48; 9.59; 9.65; 9.71; 9.77; 9.83] (V)

A carga é

$$q = CV$$

$$q = 9.83V \times 722\mu F$$

$$q = 7.09mC$$

Para o procedimento 4:

$$V_R = v_c$$

Para o descarregamento, $v_c =$ [9.46 6.51 4.31 2.95 2.08 1.47 1.11 0.65 0.40 0.26 0.18 0.14 0.11 0.09] (V)

$$q = CV$$

$$q = 9.46V \times 722\mu F$$

$$q = 6.83mC$$

8.6 CONCLUSÃO

Com esta prática fomos apresentados aos circuitos RC. Já havíamos estudados os resistores e os capacitores separadamente. Aplicamos as já estudadas leis de Ohm e Kircchoff nos circuitos RC. Estudamos o comportamento do circuito RC submetido a uma fonte CC. Deduzimos as equações teóricas que regem o carregamento (resposta forçada) e o descarregamento (resposta natural) do capacitor. Observamos que elas possuem natureza exponencial, o que fora comprovado ao traçarmos os gráficos para todos os procedimentos. Com isso, verificamos que os resultados foram bem próximos aos esperados.

Os erros relativos foram calculados para as capacitâncias. Os erros estão no intervalo [3, 12] (%). Como já mencionado, erros como esses podem ser significativos a depender do projeto. Mas mesmo resistores simples possuem tolerâncias de 10% ou 20%. Vale salientar que erros são adicionados erros em virtude da localização da constante de tempo nos gráficos do MATLAB. Apesar desses erros os resultados foram satisfatórios porque estes aproximaram-se bem dos modelos estabelecidos.

8.7 REFERÊNCIAS

- DIAS, Nildo Loiola Dias. Roteiro de Práticas, Laboratório de Eletricidade, publicação interna, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: 2022
- ALEXANDER, Charles k. & SADIKU, Matthew N. O., Circuitos Elétricos; -5. ed., AMGH -Porto Alegre
- MALVINO, Alberto & BATES, David -Eletrônica Volume I; -8 edição – Porto Alegre: AMGH-2016.
- JAMES, Stewart, Cálculo Volume 2 – 7° Edição –, Cap 9, equações diferenciais, pág 557.
- HALLIDAY & RESNICK & JEARL, Fundamentos de Física Volume 3 – 8°edição
- MATLAB R2021b – academeci use.