

Relatório: Capacitância e capacitores

Fernando Makoto Oka Cardoso
Pedro Paulo Henrique da Fonseca
Ramon Gregório Percy
Instituto de Matemática e Física
Universidade Federal de Itajubá
Turma: 09

Resumo

O experimento executado no dia 30/09/2019 teve como objetivo principal quantificar o tempo de carga e descarga de capacitores em circuitos RC, analisando os resultados obtidos com as capacitâncias dos componentes. Além disso, buscou estudar as associações de capacitores em série e em paralelo, bem como a análise dos processos de carga e descarga em capacitores.

1 Introdução

Toda vez que um circuito passa por uma mudança de estado para outro, ou seja, toda vez que ocorre uma variação na fonte de energia aplicada ou por uma alteração nos elementos do circuito, há um período de transição, em que as correntes de seus ramos ou as tensões sobre os elementos podem variar dos valores iniciais para novos valores. Esse intervalo de tempo é conhecido como transitório. Após o transitório ter passado, pode-se afirmar que o circuito se encontra em regime permanente (ou estado estacionário) (O'MALLEY, 1993).

Os componentes ativos mais conhecidos que passam pelo tal período de transição, são os indutores e capacitores. Cada um deles apresenta uma característica única quando estão em funcionamento. O experimento realizado apenas analisou os capacitores em seu período transitório, sendo assim em período de carga ou descarga do mesmo.

Um capacitor é composto por duas placas paralelas de material condutor separadas por um material isolante (dielétrico). O carregamento de um capacitor implica na retirada uma certa quantidade de carga Q de uma das placas e depositá-la na outra, e isso se deve à aplicação de uma diferença de potencial entre as placas. (REDONDO e LIBERO, 1996). Essa relação entre cargas e tensão aplicadas no capacitor define a grandeza de capacitância dada pela Equação 1.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad (1)$$

A capacidade eletrostática de um objeto define a sua capacidade de armazenar cargas elétricas, isto é, a energia elétrica é armazenada nos condutores e é liberada ao se conectar as placas, como funciona o capacitor. A quantidade de energia armazenada no capacitor é fisicamente chamada de capacitância.

Também, o capacitor se comporta como circuito aberto na presença de uma tensão constante. Além disso, a capacitância se caracteriza pela propriedade de se opor às variações bruscas de tensão. Desse modo, ao se aplicar uma diferença de potencial entre os terminais da placa, como não pode haver variação instantânea de tensão, o crescimento

desta no capacitor é dado exponencialmente.

A Figura (1) apresenta a forma de onda do transitório de um capacitor. Transitório é o termo dado ao tempo de carga e descarga de um capacitor, ou seja, o tempo em que entra em estabilidade e em estado de funcionalidade.

Este tempo para entrar em funcionalidade vale $5t$, tal que para o capacitor, tem-se a Equação 2 a seguir para a constante de tempo t :

$$t = RC \quad (2)$$

Além da constante de tempo, outra grandeza importante para um circuito RC é a carga total do capacitor. Ela pode ser obtida a partir da área sobre o gráfico da corrente em função do tempo. Desse modo, tem-se a Equação 3.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad (3)$$

2 Metodologia

Para este experimento utilizou-se os instrumentos listados abaixo. Suas especificações são apresentadas em seguida.

- Fonte de tensão (0 a 30(V) DC), ver Fig. (1);
- Bandeja retangular graduada, ver Fig. (2);
- Anel metálico;
- Eletrodos planares, ver Fig. (2);
- Sonda metálica, ver Fig. (2)
- Multímetro, ver Fig. (3);
- Cabos

Figura 1: Fonte de Tensão DC



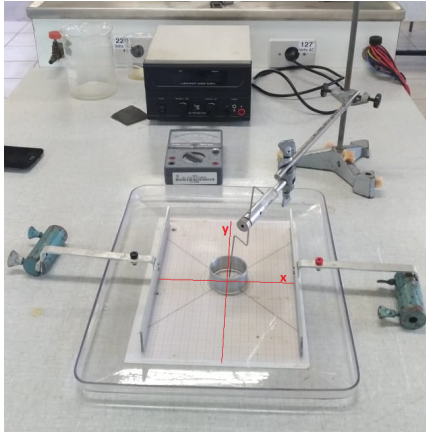
Fonte: Autoria Própria

| | |
|--------------------------|-------------------|
| Marca | Elektro-Automatik |
| Modelo | EA-PS 2032-050 |
| Tensão de Entrada | 230(V) \pm 8% |
| Potência de Entrada Máx. | 400(W) |
| Faixa Dinâmica | 0 a 32(V) |
| Ondulação Residual | $\pm 4(mV)$ |

Tabela 1: Fonte de Tensão

Fonte: Adaptado de [Elektro-Automatik \(2019\)](#)

Figura 2: Bandeja, Eletrodos, Sonda, Anel e Eixos



Fonte: Autoria Própria

Figura 3: Multímetro Analógico



Fonte: Autoria Própria

| | |
|----------|---|
| Marca | Minipa |
| Modelo | ET-3012C |
| Faixas | 0, 1(V), 2, 5(V), 10(V), 50(V), 250(V) e 1.000(V) |
| Precisão | $\pm 3, 0\%$ fs |

Tabela 2: Voltímetro DC

Fonte: Adaptado de [Minipa \(2019\)](#)

Fez-se necessário a verificação de camadas de óxido sobre os eletrodos, a sonda metálica, e o anel, pois as reações de óxido-redução acarretam em diferentes resistências no material, alterando assim o intervalo de confiança das medidas.

Em seguida posicionou-se um dos eletrodos planos, centrado em relação ao eixo das abscissas e posicionado sobre o eixo das ordenadas, e o outro à uma distância de 180(mm), ver Figura 2. Então, ajustou-se a fonte de tensão em 24(V) e conectou-a ao eletrodo planar da direita, em seguida o terminal *terra* de 0(V) foi ligado ao eletrodo da esquerda. O potencial de 24(V) foi aferido utilizando-se o voltímetro de corrente contínua, em sua função voltímetro na escala de 50(V).

Utilizando a sonda metálica, conectada ao voltímetro nesta mesma escala de 50(V), e este conectado ao *terra*, realizou-se as medidas de potencial elétrico nos pontos situados sobre o exterior do anel, no interior do anel e dentro do anel, sem encostar neste. Os resultados foram apresentados na Tabela 3.

| $(X, Y)(mm)$ | | $U(V)$ |
|----------------|----|--------|
| Sobre Exterior | | |
| 115 | 0 | 11,2 |
| 90 | 25 | 11,9 |
| 75 | 0 | 11,5 |
| Sobre Interior | | |
| 72 | 0 | 11,6 |
| 90 | 23 | 11,8 |
| 113 | 0 | 11,8 |
| Dentro | | |
| 90 | 0 | 11,9 |
| 80 | 0 | 11,8 |
| 70 | 0 | 11,9 |

Tabela 3: Potencial do Anel

Ainda com a sonda metálica, aferiu-se a posição dos pontos de potencial iguais a 3(V), 6(V), 9(V), 11,5(V), 18(V) e 21(V) na superfície da água e estes estão apresentados na Tabela 7, no Apêndice A. O potencial de 11,5(V) corresponde à média dos potenciais aferidos na superfície exterior do anel.

Então, coletou-se os potenciais ao redor do anel, à 5(mm) de distância radial, espaçados angularmente em 45° , partindo do eixo das ordenadas negativo (inferior da Figura 2) e apresentados na segunda coluna da Tabela ?? do Apêndice A.

Por fim, utilizando-se o software [SciDAVis \(2017\)](#) para a plotagem interativa de gráficos científicos e análise dos dados, foi possível determinar graficamente a Posição das Linhas Equipotenciais, e realizar uma representação gráfica dos Vetores Campo Elétrico, ver Figuras 4 e 5.

3 Resultados

Constatou-se que não haveria necessidade de lixar as pontas dos eletrodos, visto que não foram encontrados vestígios macroscópicos de oxidação nos materiais.

Tomando-se $\theta = 0^\circ$ na direção negativa do eixo das ordenadas (eixo y), em sentido anti-horário, espaçados em 45° , tal que U é o potencial dos pontos (X_i, Y_i) e U_a é o potencial do anel de coordenadas (X_f, Y_f) , calculou-se as **diferenças de potencial** e a **distância** entre os pontos pela relações, 4 e 5, apresentadas nas Tabelas 4 e 6.

$$dU = U - U_a \quad (4)$$

$$ds = \sqrt{(X_f - X_i)^2 + (Y_f - Y_i)^2} \quad (5)$$

| θ | $U(V)$ | $dU(V)$ | $ds(mm)$ |
|---------------------------|----------------|----------------|-------------------|
| $0^\circ \pm 4,5^\circ$ | $11,5 \pm 1,5$ | $0 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,040$ |
| $45^\circ \pm 4,5^\circ$ | $13,0 \pm 1,5$ | $-1,5 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,203$ |
| $90^\circ \pm 4,5^\circ$ | $13,2 \pm 1,5$ | $-1,7 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,105$ |
| $135^\circ \pm 4,5^\circ$ | $13,0 \pm 1,5$ | $-1,5 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,074$ |
| $180^\circ \pm 4,5^\circ$ | $11,9 \pm 1,5$ | $-0,4 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,059$ |
| $225^\circ \pm 4,5^\circ$ | $10,6 \pm 1,5$ | $0,9 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,051$ |
| $270^\circ \pm 4,5^\circ$ | $10,5 \pm 1,5$ | $1,0 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,046$ |
| $315^\circ \pm 4,5^\circ$ | $11,0 \pm 1,5$ | $0,5 \pm 1,7$ | $0,005 \pm 0,043$ |

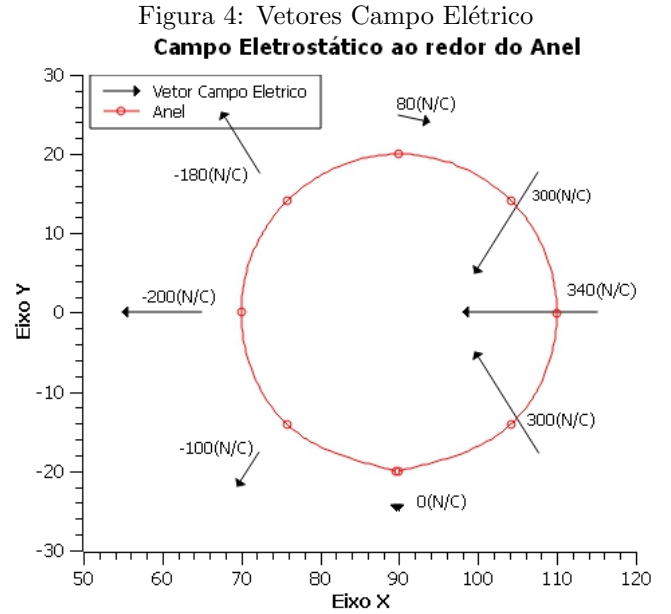
Tabela 4: Diferença de Potencial e Campo Elétrico
Fonte: Autoria Própria

Como não foi aferida a temperatura da água, admitimos que ela se encontrava a $20^\circ C$, e portanto a **constante dielétrica** dela é $\kappa = 80,4$, como apresentada por Halliday, Resnick e Walker (2013). A permissividade no vácuo $\epsilon_0 = 8,85E-12$ e com isso determinamos a **Densidade Superficial de Cargas** σ . O campo elétrico nos pontos em torno do anel e densidade superficial de cargas deste, são apresentados na Tabela 5 à seguir.

| $E(N/C)$ | $\sigma(C/m^2)$ |
|---------------|-----------------|
| $0 \pm inf$ | 0,00E+00 |
| 300 ± 41 | 2,14E-07 |
| 340 ± 21 | 2,42E-07 |
| 300 ± 15 | 2,14E-07 |
| 80 ± 13 | 5,70E-08 |
| -180 ± 10 | 1,28E-07 |
| -200 ± 9 | 1,42E-07 |
| -100 ± 9 | 7,12E-08 |

Tabela 5: Campo Elétrico e Densidade Superficial de Cargas
Fonte: Autoria Própria

Utilizando o SciDAVis (2017), obteve-se a representação gráfica dos vetores campo elétrico à fim de ilustrar suas direções como apresentado Figura 4 à seguir.



Fonte: Autoria Própria

Os potenciais dos pontos sobre o anel e dentro dele, apresentados na Tabela 3, mostraram que a diferença de potencial entre qualquer par de pontos é pequena e menor que o próprio erro do voltímetro. Tal fato, somado à representação dos vetores campo elétrico, prova que um material condutor, submetido a um campo elétrico externo, não possui diferença de potencial. Além disso, a forma com que os elétrons se distribuem na superfície, faz com que o campo elétrico seja sempre perpendicular à esta superfície em todos os seus pontos, como afirma Halliday, Resnick e Walker (2013).

4 Conclusão

O erro sistemático associado às medidas de potencial não foram bem estabelecidos, visto que o fundo de escala poderia ser menor, 20(V), para os pontos próximos ao anel. Mesmo assim, é possível verificar que as diferenças de potencial sobre o anel e dentro dele são menores que o próprio erro associado ao instrumento, portanto seu valor verdadeiro pode ser considerado zero como esperado.

Além disso, as linhas equipotenciais obtidas com o anel condutor, ver Figuras 5, mostram que o anel influencia no campo elétrico, agindo como uma partícula carregada. Deste modo, notou-se que os potenciais não mais são constantes em relação à distância dos eletrodos paralelos, eles variam conforme se aproximam deste anel metalizado.

Os vetores campo elétrico obtidos possuem direção perpendicular à superfície do anel, tal como definido por Halliday, Resnick e Walker (2013). O vetor posicionado em 180° por sua vez deveria apresentar módulo próximo a zero, visto que a direção do campo elétrico neste ponto é perpendicular ao vetor normal da superfície no ponto de entrada.

As visualizações dos vetores campo elétrico nos permitiu averiguar a influência do anel condutor imerso ao campo elétrico, mas faz-se necessário em um próximo experimento, averiguar a temperatura da água, ou então, a altura do anel.

Referências

ELEKTRO-AUTOMATIK, E. *Laboratory Power Supplies Series Ps 2000*. [S.l.], 2019.

Disponível em: <https://datasheet.octopart.com/EA-PS-2032-050-EA-Elektro-Automatik-datasheet-8397323.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. 9. ed. Cleveland State

University: Grupo Editorial Nacional, 2013. v. 3.

MINIPA. *ET-3021C Manual de Instruções*. [S.l.], 2019.

Disponível em: http://www.minipa.com.br/images/Manual/ET-3021C-1100-BR_manual.pdf. Acesso em: 24 ago. 2019.

SCIDAVIS. *SciDAVis Welcome Page*. 2017. Disponível em: <http://scidavis.sourceforge.net/>. Acesso em: 19 set. 2019.

Apêndice A - Gráficos e Tabelas

| $R_x(m)$ | $R_y(m)$ | $X_f(m)$ | $Y_f(m)$ | $X_i(m)$ | $Y_i(m)$ |
|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| $+0,000 \pm 0,025$ | $-0,020 \pm 0,01$ | $0,090 \pm 0,026$ | $-0,020 \pm 0,013$ | $0,090 \pm 0,026$ | $-0,025 \pm 0,013$ |
| $+0,014 \pm 0,102$ | $-0,014 \pm 0,10$ | $0,104 \pm 0,102$ | $-0,014 \pm 0,100$ | $0,108 \pm 0,102$ | $-0,018 \pm 0,100$ |
| $+0,020 \pm 0,055$ | $0,000 \pm 0,05$ | $0,110 \pm 0,055$ | $0,000 \pm 0,050$ | $0,115 \pm 0,055$ | $0,000 \pm 0,050$ |
| $+0,014 \pm 0,040$ | $0,014 \pm 0,03$ | $0,104 \pm 0,040$ | $0,014 \pm 0,033$ | $0,108 \pm 0,040$ | $0,018 \pm 0,033$ |
| $+0,000 \pm 0,033$ | $0,020 \pm 0,03$ | $0,090 \pm 0,034$ | $0,020 \pm 0,025$ | $0,090 \pm 0,034$ | $0,025 \pm 0,025$ |
| $-0,014 \pm 0,030$ | $0,014 \pm 0,02$ | $0,076 \pm 0,030$ | $0,014 \pm 0,020$ | $0,072 \pm 0,030$ | $0,018 \pm 0,020$ |
| $-0,020 \pm 0,028$ | $0,000 \pm 0,02$ | $0,070 \pm 0,028$ | $0,000 \pm 0,017$ | $0,065 \pm 0,028$ | $0,000 \pm 0,017$ |
| $-0,014 \pm 0,028$ | $-0,014 \pm 0,01$ | $0,076 \pm 0,026$ | $-0,014 \pm 0,015$ | $0,072 \pm 0,026$ | $-0,018 \pm 0,015$ |

Tabela 6: Coordenadas Para o Vetor

| 3(V) | | 6(V) | | 9(V) | | 18(V) | | 21(V) | | 11,5(V) | |
|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|------|
| (X,Y)(mm) | | (X,Y)(mm) | | (X,Y)(mm) | | (X,Y)(mm) | | (X,Y)(mm) | | (X,Y)(mm) | |
| 10 | -90 | 30 | -90 | 71 | -90 | 141 | -90 | 161 | -90 | 90 | -110 |
| 14 | -60 | 37 | -60 | 70 | -60 | 142 | -60 | 163 | -60 | 87 | -80 |
| 10 | -30 | 38 | -30 | 56 | -30 | 146 | -30 | 165 | -30 | 91 | -50 |
| 9 | 0 | 34 | 0 | 54 | 0 | 147 | 0 | 165 | 0 | 89 | 50 |
| 13 | 30 | 36 | 30 | 60 | 30 | 146 | 30 | 165 | 30 | 86 | 80 |
| 10 | 60 | 40 | 60 | 68 | 60 | 141 | 60 | 164 | 60 | 87 | 110 |
| 14 | 90 | 39 | 90 | 68 | 90 | 141 | 90 | 163 | 90 | | |

Tabela 7: Coordenadas e seus potenciais.

