



CAPACITOR ASSIMÉTRICO

Fernando E. Werkhaizer – fewerk46@hotmail.com
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-Minas
Av. Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico
30535-610 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Flávia M. F. Ferreira – flaviamagfreitas@pucminas.br

Frederico F. Bitencourt – fredericofbh@gmail.com

Guilherme F. B. Medeiros – guilherme.f.b.medeiros@gmail.com

Ronny L. Silveira – ronnyls@hotmail.com

Samuel B. da Silva - samuelbatista18@gmail.com

Tiago A. Dias - tiagoalmeida42@gmail.com

Resumo: Este documento descreve os fundamentos, a metodologia de projeto, a implementação do protótipo e os resultados de análise de capacitores assimétricos de fio e placa. O projeto foi inicialmente desenvolvido para apresentação na Feira de Integração Curricular do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicação da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Integrantes da equipe, que cursavam o terceiro período no momento da realização, foram desafiados a desenvolver um projeto que englobasse todas as disciplinas estudadas no semestre. O funcionamento do capacitor consiste em direcionar a maior parte dos íons gerados devido à alta tensão entre dois condutores em um único sentido, fazendo com que o capacitor leve. Através do estudo de capacitores assimétricos, os seguintes temas puderam ser assimilados: capacitores, efeitos da geometria dos condutores sobre campos elétricos, ionização/vento iônico, descarga de corona, efeito Biefeld-Brown, alta tensão e arcos elétricos. Portanto, o desenvolvimento deste trabalho interdisciplinar cumpriu plenamente a proposta pedagógica de relacionar as disciplinas de eletromagnetismo, circuitos elétricos e cálculo, dentre outras.

Palavras-chave: Capacitor assimétrico, Descarga de corona, Vento iônico, Alta tensão.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo é um estudo do fenômeno conhecido como efeito Biefeld-Brown, inicialmente descrito por Thomas Townsend Brown [5]. O fenômeno aplica-se a qualquer par de condutores que tenham suas formas geométricas diferentes uma da outra. Existem alguns modelos de construção já testados no meio científico, como a combinação fio cilindro, ou a combinação fio e placa, que será objeto de estudo deste trabalho. Para que se obtenham resultados satisfatórios são necessárias tensões da ordem de 30kV para estabelecer uma descarga de corona entre os condutores, que devem ficar à distâncias consideráveis um do outro. Então se recomenda muito cuidado no desenvolvimento de um protótipo funcional.

2. EFEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS

A levitação do capacitor ocorre em função de alguns efeitos físicos: descarga de corona, distorção do campo elétrico e efeito Biefeld-Brown. Esses efeitos são descritos de forma sucinta nas subseções seguintes.

2.1. Descarga de corona

Quando a rigidez dielétrica do ar é rompida, um arco elétrico é formado, estabelecendo assim um curto circuito. Em um ambiente controlado, caso o operador pare de aumentar a diferença de potencial entre os condutores pouco antes do ponto em que a rigidez dielétrica do ar é rompida, se estabelece uma descarga de corona. O efeito se dá da seguinte maneira: a alta tensão entre os condutores faz com que os elétrons livres presentes no meio sejam atraídos ou repelidos, a movimentação desses elétrons eventualmente ocasiona choques com as moléculas do ar, gerando assim íons. Assim que um íon é formado ele libera elétrons, que também colidem com as moléculas vizinhas, estabelecendo-se um efeito avalanche que acaba por ionizar toda a vizinhança do condutor. Assim que um íon é gerado em um dos condutores ele é acelerado em direção ao outro, pois possui carga igual a do condutor onde foi gerado. Dessa forma, um transporte de cargas é estabelecido entre os dois condutores, ou seja, um circuito é fechado entre eles. O transporte de cargas entre dois condutores separados por um meio não condutor é denominado descarga de corona.

2.2. Distorção do campo elétrico

Normalmente capacitores são constituídos de placas paralelas, ou cilindros concêntricos, fazendo com que o campo elétrico entre os condutores seja uniforme. Um dos princípios de funcionamento do capacitor assimétrico de fio e placa deve-se exatamente ao fato de seu campo não ser uniforme. O campo fica fortemente concentrado no fio, que tem pequeno volume, e fica disperso em relação à placa, que tem grande volume. O campo resultante tem a forma de um coração, como podemos ver na análise feita por Jean-Louis Naudim, mostrada na Figura 1 [5]:

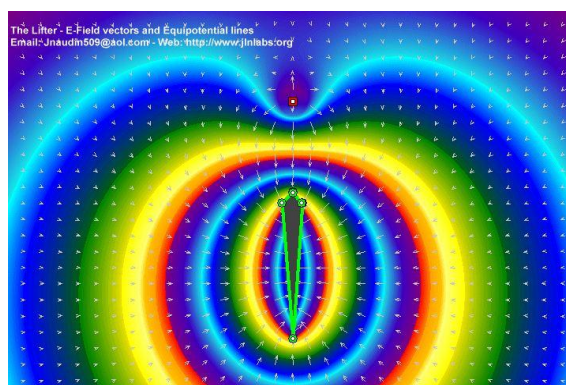


Figura 1 – Forma do campo elétrico no sistema de fio e placa.

2.3. Efeito Biefeld-Brown

O efeito Biefeld-Brown ocorre quando uma descarga de corona é submetida a um campo elétrico não uniforme. Os íons gerados no fio são em sua maioria direcionados à placa, pois tendem a acompanhar o campo. No processo de locomoção os íons colidem com as moléculas presentes no ar, fazendo com que elas também acompanhem seu movimento. Então uma massa de ar entra em movimento em direção à placa, os íons da massa movem-se rapidamente, e, ao chegarem à placa, chocam-se de tal forma que forçam elétrons a se soltarem do metal, causando novamente um efeito avalanche, assim aumentando a massa de ar que se locomove em uma direção. A massa de ar ao final do processo toma proporções consideráveis, e caso o aparato implementado com a combinação fio placa seja suficientemente leve, a força de arraste gerada pelo vento iônico pode ser suficiente para vencer o peso do aparato, fazendo assim com que levite.

3. ESTRUTURA E CIRCUITO

O capacitor é constituído por um conjunto de fio e placa. Para que o voo não seja desorientado, é necessária a construção de uma estrutura sólida. Os alunos montaram um triângulo, que é a associação de três capacitores em paralelo. Entretanto, é possível a construção de qualquer figura geométrica, como hexágonos, octógonos etc.

O circuito completo do protótipo, constituído por flyback, transistor de alta tensão e oscilador será mostrado posteriormente.

3.1. Cálculo da capacitância

A fórmula da capacitância entre fio e placa é obtida através da fórmula da capacitância entre fios paralelos:

$C = L \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{R}}$	(1)
------------------------------------------------	-----

Onde:

C = Capacitância [F]
 L = Comprimento [m]
 D = Distância entre os condutores [m]
 R = Raio dos condutores [m]
 π e ϵ_0 constantes

Assumindo-se que a placa é na verdade um conjunto de vários fios, pode-se calcular a capacitância derivando a fórmula para fios paralelos em relação à distância entre condutores, e posteriormente integrando-a do início da placa à seu fim. Assim obtém-se:

$C = L\pi\epsilon_0 \left(\frac{1}{\ln \frac{D+X}{R}} - \frac{1}{\ln \frac{D}{R}} \right)$	(2)
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Onde:

X = Comprimento da placa [m]

A fórmula acima representa o conjunto representado abaixo:

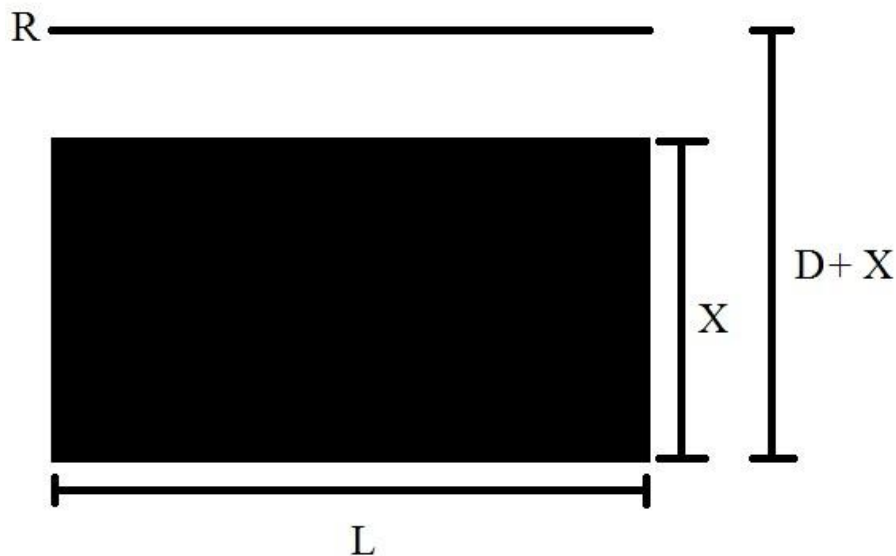


Figura 2 – Capacitor de fio e placa.

A fórmula deduzida pela equipe e mostrada na Equação (2) só pode ser aplicada a problemas de ordem teórica, uma vez que não leva em conta uma série de fatores, como a diferença entre a espessura da placa e o diâmetro do fio, os materiais utilizados na fabricação, a estrutura necessária para ligar mais de um capacitor, isolantes no fio etc.

Dessa forma, caso seja realizada uma medição comparando a capacitância obtida pela fórmula com a capacitância real, será encontrada discrepância considerável entre os resultados.

3.2. Estrutura do levitador

Das possíveis estruturas para um levitador baseado em capacitores de fio e placa, a equipe escolheu a mais simples, a de um triângulo, construída com os seguintes materiais:

1. Madeira balsa cilíndrica (a quadrada pode ser lixada)
2. Papel alumínio (o mais fino possível)
3. Cola de secagem rápida
4. Fio de cobre sem isolamento (o esmaltado pode ser lixado, o fio tem que ser o mais fino possível)

Um esboço da montagem é mostrado na Figura 3 [4].

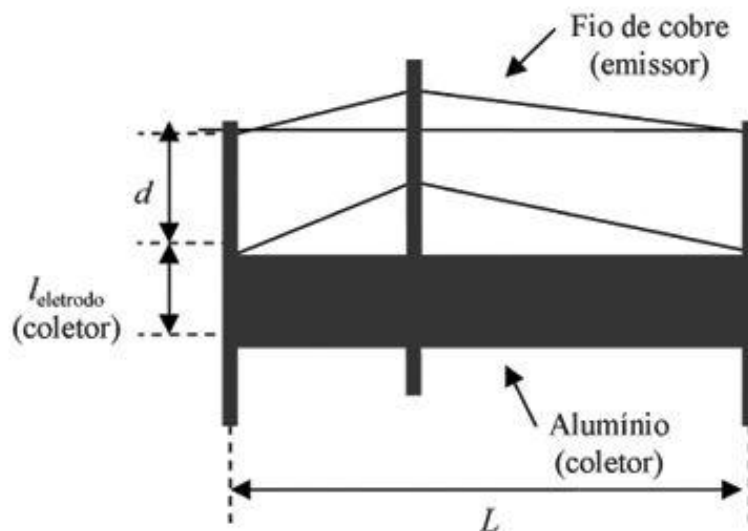


Figura 3 – Capacitor triangular [4].

As dimensões que deram melhores resultados foram:

- 11,5cm de altura (sendo 2,5cm de elevação, 4cm da placa de alumínio, 5cm de distância até o fio)
- 20cm de cateto

3.3. Circuito de alimentação do capacitor

O circuito para alimentar o capacitor tem que fornecer tensões da ordem de 30kV ou mais e para isso foi utilizado um flyback. No primário do flyback foi conectada uma fonte regulável e um transistor de alta tensão que era controlado por um gerador de onda quadrada com frequência igual a 15,750Hz. Entre os terminais do transistor foi necessário o uso de um diodo. A fonte não precisa fornecer mais que 600mA, e a saída do flyback fornecerá correntes da ordem de μ A. O esquemático do circuito pode ser visto na Figura 4.

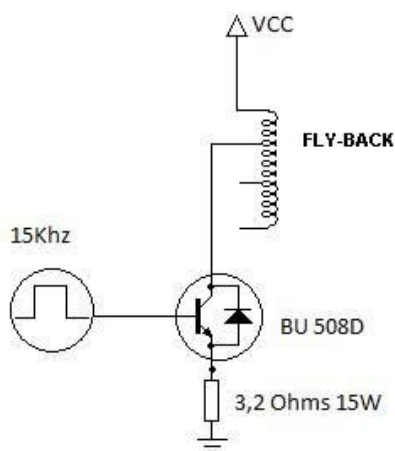


Figura 4 – Circuito de alimentação do capacitor.

3.4. Dicas de montagem

Trabalhar com altas tensões é um processo difícil, portanto, a equipe decidiu compartilhar neste artigo os problemas pelos quais passou com a fonte e com o capacitor, para que outras equipes no futuro possam evita-los. Foram listadas as seguintes recomendações:

1. A famosa combinação de reatores de lâmpadas fluorescentes digitais com o flyback não funciona para essa aplicação, esse tipo de circuito apresenta correntes de retorno.
2. Trabalhe na faixa de frequência indicada pela equipe, é o usual para flybacks, subir muito a frequência é tentador, mas fará com que a operação ocorra fora da faixa de ressonância do circuito.
3. Respeite a relação de 1kV/mm para formação de arcos elétricos, quando se trabalha perto da corrente máxima do transistor, um arco elétrico irá queima-lo.
4. Com esses valores de tensão quase todos os materiais conduzem, mesas de madeira que possuem verniz fecharão um circuito e a corrente subirá muito. Sempre mantenha os fios de alta tensão no ar, apoiados em vidro ou em madeira totalmente seca.
5. Use dissipador de calor com pasta térmica no transistor.
6. A parte superior da placa de alumínio deve ser arredondada, e a parte inferior não.
7. O esmalte do fio superior deve ser retirado, na verdade o material mais indicado é “fio inox” como é conhecido, mas a equipe não conseguiu encontrar.
8. O campo elétrico gerado pelo capacitor é tão forte, que induz na superfície em que está apoiado e o atrai, fazendo assim com que uma força além da força peso o puxe para baixo. Evite isto o suspendendo ou utilizando suportes para aumentar sua distância da superfície.
9. O fio deve ser ligado ao polo positivo e a placa ao negativo, o vento iônico é maior.
10. Nunca deixe um arco elétrico ocorrer, madeira balsa é altamente inflamável.
11. Para cada cateto do triângulo é necessário apenas uma vara de madeira balsa, no topo, a parte de baixo não precisa de madeira.
12. Sempre coloque o fio que alimenta a placa no lado contrário do fio que alimenta o fio.



4. CONCLUSÃO

A equipe possui agora melhor conhecimento sobre todos os efeitos estudados para a realização do trabalho. Caso a realização do trabalho por outra equipe coincida com o período em que os alunos cursam eletromagnetismo, o aprendizado em sala pode ser diretamente utilizado no desenvolvimento do projeto. A dedução da fórmula de capacitância, contribuição deste trabalho, é um ótimo exercício para compreender melhor o curso de cálculo, e a implementação do circuito é ótima para a assimilação de conceitos de circuitos elétricos e eletrônica analógica.

Em resumo, este é um ótimo projeto para a assimilação de várias disciplinas da engenharia, é de baixo custo de realização (caso as dicas de 3.4 sejam seguidas) e rápido tempo de execução.

Agradecimentos

Geraldo Faustino Rodrigues, departamento de física da PUC-MG.

Corpo docente do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicação da PUC-MG.

Coordenação da FIC - Feira de Integração Curricular

5. REFERÊNCIAS

BAHDER & FAZI, **Force on na Asymmetric Capacitor**. Army Research Laboratory, September 27, 2002

BORG, X. **Blaze Labs EHD Thrusters Research**. Disponível em: <<http://blazelabs.com/l-intro.asp>> Acesso em: 25 mai. 2014.

GOMES & SOARES, **Construção de um levitador elétrico (construção de pipa que voa sem vento)**. Universidade estadual de campinas, 19 de junho de 2006.

KUHNEN *et al.*, **Forças em capacitores assimétricos submetidos a altas tensões**. Revista Brasileira de Ensino em física, v.29, n.2, p. 231-239, 2007.

NAUDIN, J. P. **Lifters**. Disponível em: <<http://jnaudin.free.fr/lifters/main.htm>> Acesso em: 25 mai. 2014.

TRIBE, T. **Leon Tribe's lifter/ionocraft calculations**. Disponível em: <<http://rimstar.org/sdprop/lifter/lcalcs.htm>> Acesso em: 25 mai. 2014.



ASYMMETRIC CAPACITOR

Abstract: *This document contains the study topics, acquired knowledge and building techniques related to wire and sheet asymmetric capacitors. The project was initially created for a presentation at the Curricular Integration Fair of the Electronics and Telecommunication Engineering course at PUC-MG. The team, coursing the third semester during the realization of the project, was challenged to develop a project that would include every subject studied in the semester. The functioning principle of the capacitor consists in directioning most of the ions produced by the high tension between the conductors in a single direction, making the structure levitate. Through the study of asymmetric capacitors, the following themes can be learned: capacitors, influence of conductor geometry on electric fields, ionization/ion wind, corona discharge, Biefeld-Brown effect, high tension and electric arcs. Being this way an excellent topic of study for students learning electromagnetism and electrical circuits.*

Key-words: *Asymmetric Capacitor, Corona discharge, Ionic wind, High tension.*