

F 609A - Tópicos de Ensino de Física I

Relatório Final: Multiplicador de tensão utilizando capacitores

Rafael Cintra Hensel Ferreira
hensel x ifi.unicamp.br
Orientador: Varlei Rodrigues
varlei x ifi.unicamp.br

16 de Dezembro de 2014



1 Resumo

Neste projeto elaboramos um experimento de fácil construção capaz de demonstrar alguns fenômenos gerados por alta tensão, como o efeito corona e o motor iônico. Para que a alta tensão ($\sim 1kV$) fosse gerada, foi confeccionado um multiplicador de tensão que consiste em associações de diodos e capacitores cerâmicos.

Ademais, este experimento motiva o estudo do diodo bipolar de junção p-n, o qual é superficialmente estudado no ensino médio e nas aulas de física moderna de alguns cursos de graduação.

2 Introdução

A máquina eletrostática conhecida como gerador de Van de Graaf (figura 1) foi inventada com o objetivo de gerar altas voltagens para a realização de experimentos em física nuclear. A máquina consiste em uma correia isolante, dois roletes de materiais distintos (de modo a se eletrizarem de forma diferente devido ao atrito com a correia), uma cúpula de material condutor, um motor, dois pentes metálicos e uma coluna de apoio. O motor gira os roletes a fim de eletrizá-los, deste modo, através das escovas, as cargas opostas são atraídas para a superfície externa da correia. A cúpula faz com que a carga elétrica localizada em seu exterior não gere campo elétrico sobre o rolete superior. Portanto as cargas continuam a ser extraídas da correia como se estivessem sendo aterradas, o que gera altas tensões.

Entretanto, conforme já foi discutido em diversas aulas de licenciatura, a instrumentação para o ensino é uma barreira que muitos professores não atravessam devido as dificuldades apresentadas na confecção dos equipamentos, ou até mesmo ausência dessa habilidade. Deste modo, devido ao grau de dificuldade em confeccionar um gerador de Van de Graaff, a proposta desse projeto foi confeccionar um gerador de alta tensão ($\sim 10kV$) e baixa potência utilizando um circuito elétrico simples composto basicamente pela associação de capacitores e diodos (figura 2), o qual é capaz de realizar experimentos como efeito corona e motor iônico (figura 3).

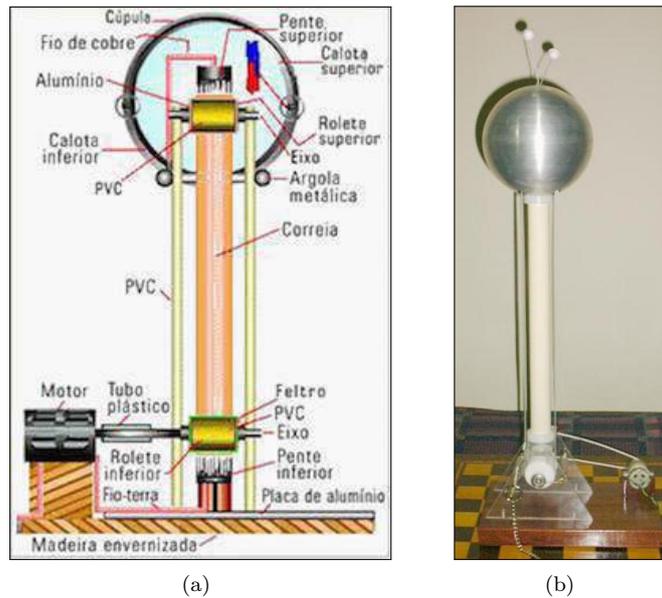


Figura 1: Gerador de Van de Graaf [12,2].

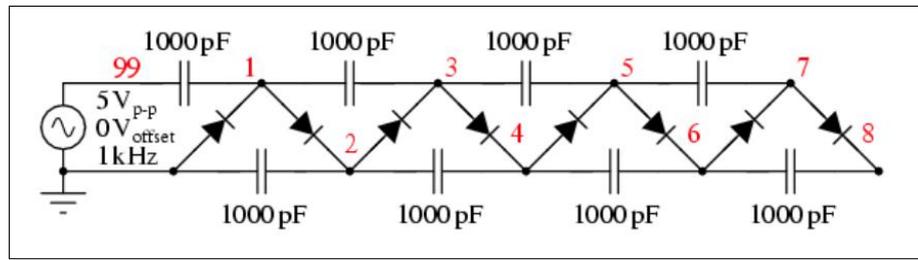


Figura 2: Circuito multiplicador de tensão [3].

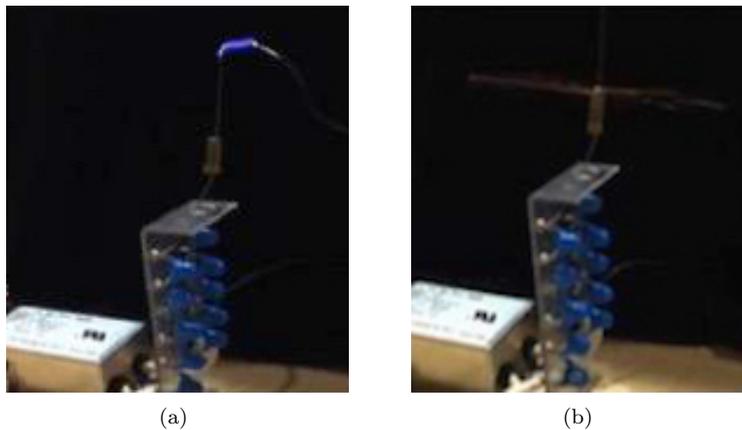


Figura 3: Exemplos de experimentos que podem ser realizados utilizando um multiplicador de tensão; (a) Efeito Corona e (b) Motor iônico [4].

Este aparato experimental também permite que seja estudado os comportamentos de capacitores e diodos, como a retificação da tensão alternada e a multiplicação de tensão que essa associação gera. Para uma aula expositiva, é possível utilizar esse experimento para demonstrar alguns fenômenos gerados por alta tensão, com a vantagem de sua montagem experimental ser bem simples. Ainda é possível propor que este modelo seja integrado a algum curso de eletrônica para graduação, deste modo os alunos poderiam analisar a multiplicação de tensão não apenas pela tela de um osciloscópio, além de se “divertirem” um pouco.

3 Teoria

3.1 Multiplicador de tensão [5].

O circuito multiplicador de tensão possibilita a obtenção de uma tensão contínua de saída que é múltiplo inteiro do valor de pico de uma tensão de entrada alternada (quadrada ou senoidal). No dobrador de tensão da figura 4, cada capacitor é carregado separadamente, portanto a tensão de saída V_0 é medida sobre dois capacitores em paralelo, o que multiplica o sinal de entrada por um fator 2. Para que o circuito (figura 4) funcione corretamente, o período de chaveamento das chaves, que operam de modo complementar, deve ser o mesmo da fonte alternada de entrada V_i .

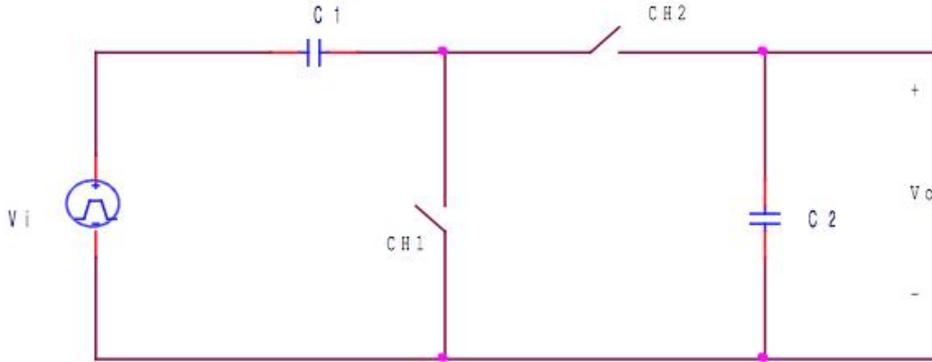


Figura 4: Esquema de um circuito multiplicador de tensão

A polaridade da tensão de saída depende unicamente da fase relativa das chaves em relação à tensão de entrada V_i . Para uma saída positiva, $CH1$ deve estar ligada no semiciclo negativo de V_i e $CH2$ no semiciclo positivo. Para uma saída negativa, $CH1$ deve estar ligada no semiciclo positivo de V_i e $CH2$ no semiciclo negativo. Seja V_p a tensão de pico do sinal V_i . Como condição inicial da análise consideramos ambos capacitores descarregados e a tensão V_i iniciando no semiciclo negativo. Analisando a condição para a tensão de saída positiva (figura 5):

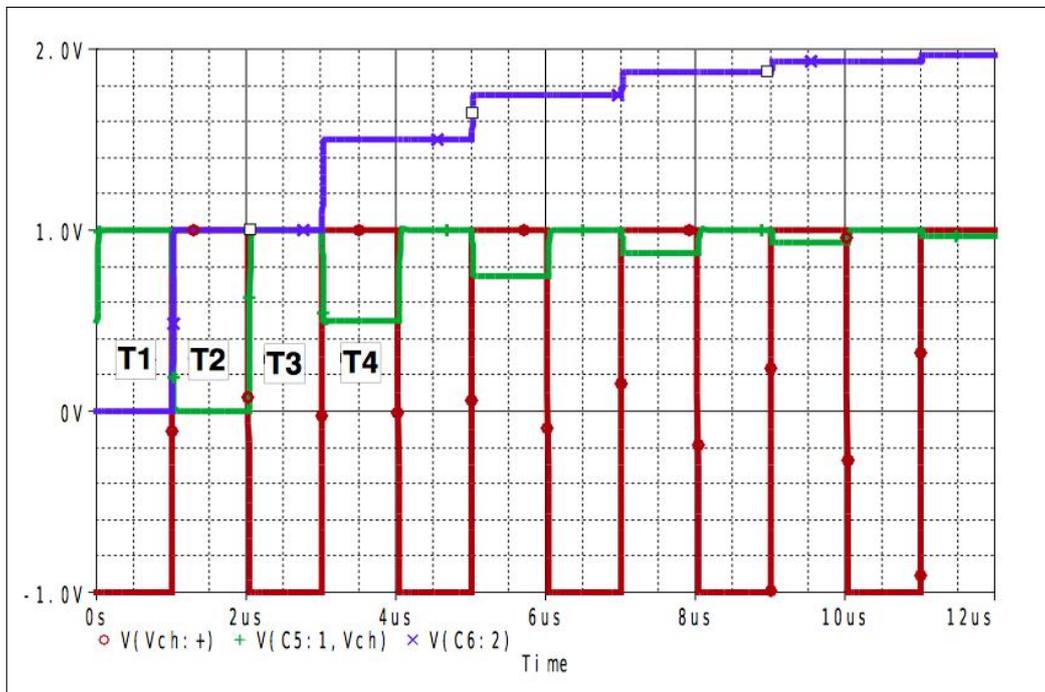


Figura 5: Esquema das tensões alternadas V_i (vermelho), no capacitor $C1$ (verde) e no capacitor $C2$ (azul), para $C1=C2$

1) primeiro semiciclo $T1$:

V_i está no semiciclo negativo, $CH1$ ="ON" e $CH2$ ="OFF", o capacitor $C1$ se carrega com $+V_p$.

2) segundo semiciclo T_2 :

V_i está no semiciclo positivo, $CH_1="OFF"$ e $CH_2="ON"$, o capacitor C_1 e a fonte V_i transferem cargas para C_2 , as cargas transferidas são dobradas, pois a tensão resultante no nó positivo de C_1 é $2V_p$. Pois V_p acumulada em C_1 é somada a V_p da fonte V_i).

3) terceiro semiciclo T_3 :

V_i está no semiciclo negativo, $CH_1="ON"$ e $CH_2="OFF"$ o capacitor C_1 se carrega com $+V_p$, enquanto o capacitor C_2 mantém as cargas acumuladas no ciclo anterior.

4) quarto semiciclo T_4 :

V_i está no semiciclo positivo, $CH_1="OFF"$ e $CH_2="ON"$, o capacitor C_1 e a fonte V_i transferem cargas para C_2 a tensão em C_2 aumenta.

O processo se repete resultando num crescimento exponencial da tensão em C_2 até atingir $2V_p$ (caso não haja corrente na saída). A (figura 5) mostra as tensões de entrada, em C_1 e em C_2 , sendo possível observar a tendência exponencial da carga de C_2 ao longo do tempo.

As chaves do circuito dobrador podem ser implementadas com simples diodos, facilitando a construção do circuito final. A (figura 6) mostra um circuito típico com diodos para obtenção de uma saída positiva. Quando a tensão da fonte V_i é negativa, o diodo D_1 está diretamente polarizado, carregando o capacitor C_1 com $V_p - V_d$. Nesta condição o diodo D_2 está reversamente polarizado, bloqueando a passagem de cargas para C_2 . Quando a tensão da fonte V_i é positiva, o diodo D_2 fica diretamente polarizado, transferindo cargas do capacitor C_1 e da fonte V_i para o capacitor C_2 . Nesta condição o diodo D_1 está reversamente polarizado. Os diodos introduzem perdas na tensão final de modo que a tensão de saída tende para $V_{pp} - 2V_d$. Para obter-se uma saída negativa, basta inverter os diodos em relação ao circuito apresentado na (figura 6).

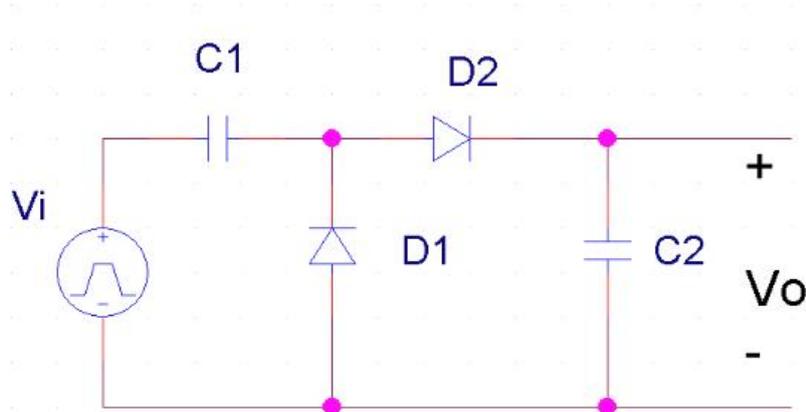


Figura 6: Circuito multiplicador de tensão com diodos.

O circuito equivalente simplificado é mostrado na (figura 7), no qual a tensão de polarização direta dos diodos pode ser considerada constante ($V_d \sim 0,7V$ para diodo de silício). A saída do dobrador é geralmente utilizada para alimentar um outro circuito, de modo que haverá uma corrente não nula que provocará uma queda de tensão na resistência equivalente. A tensão final de saída com uma carga R_L pode ser obtida utilizando-se o circuito equivalente tratado como divisor de tensão, subtraindo a tensão de polarização dos diodos.

$$V_0 = (V_{pp} - 2V_d) \frac{R_L}{R_L + R_{eq}}$$

onde, $R_{eq} = \frac{T_C}{C_2 \ln \frac{C_1 + C_2}{C_2}}$ e T_C é o período de chaveamento.

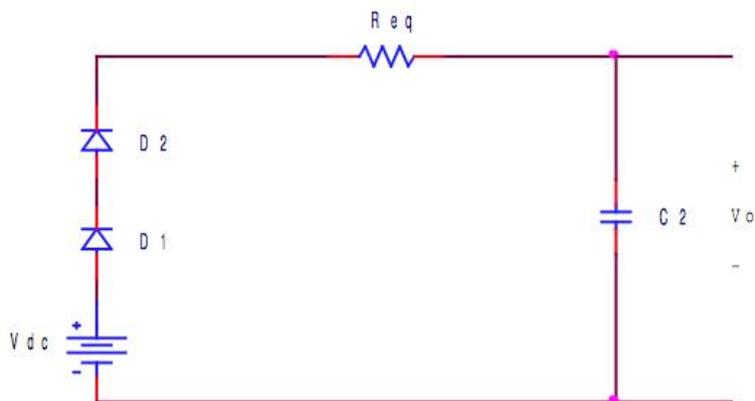


Figura 7: Circuito equivalente para o multiplicador de tensão com diodos.

Aproximando, o valor RMS da tensão de entrada pelo seu valor de pico, pode-se calcular a corrente de saída I_0 como função da corrente RMS de entrada I_{iRMS}

$$I_{iRMS} = \frac{2V_{pp}}{R_L + R_{eq}} = 2I_0$$

Conseqüentemente, se a entrada de um novo dobrador de tensão for ligada na saída do anterior, conforme (figura 8), será obtido um multiplicador de tensão cuja tensão de saída e corrente são dados por:

$$V_0 = 2nV_p = nV_{pp}$$

$$I_0 = \frac{1}{2n} I_{iRMS}$$

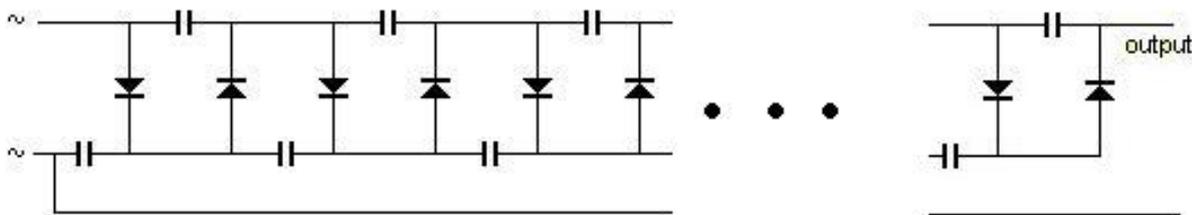


Figura 8: Multiplicador de tensão.

3.2 Efeito Corona [6]

A palavra corona é derivada de *couronne*, coroa em francês, e propriedades sobrenaturais tinham sido atribuídas a ela. Na Europa, era conhecida como fogo-de-santelmo, em homenagem a Santo Erasmus, o padroeiro dos marinheiros por terem observado diversas vezes, depois de uma tempestade, uma chama branco-azulada no topo dos mastros e velas dos navios, o que foi associada a um bom sinal dos deuses.

Em linhas de transmissão, o efeito corona é conhecido por causar ruído em frequência de rádio, causando interferência nos sinais de comunicação. Por essa razão, antenas de alta frequência são equipadas com uma bola no topo, já que a ponta afiada está propensa as descargas corona.

Corona é observada em diversas formas, como brilhos, auréolas, manchas e flâmulas. O potencial no qual a corona se origina é chamado de tensão limiar da corona. Acima desta tensão, existe uma região limitada, na qual a corrente aumenta proporcionalmente com a tensão (regime lei de Ohm). Após essa região, a corrente aumenta mais rapidamente gerando faíscas em um ponto chamado "potencial de colapso".

Seja Q a carga total armazenada em um condutor de raio de curvatura r , a intensidade do campo elétrico E é inversamente proporcional a r conforme equação abaixo, onde ϵ_0 é a permissividade do vácuo.

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Quando a intensidade do campo elétrico aumenta, os átomos ou moléculas podem ser polarizados ou emitir elétrons. O campo elétrico máximo que um material dielétrico pode suportar sem conduzir é conhecido como

resistência dielétrica do material, a qual frequentemente é expressa em $\frac{V}{m}$. Quando o campo elétrico é maior que a resistência dielétrica do material, este passa a conduzir por um processo chamado "efeito avalanche", no qual os elétrons colidem com a estrutura atômica, liberando mais elétrons. A resistência dielétrica do ar sob condições normais de temperatura e pressão é $3\frac{kV}{mm}$, portanto a partir deste ponto ocorre ionização do ar, ocasionando o efeito corona (figura 3a).

3.3 Motor iônico [7]

Uma haste vertical h na qual um conjunto de fios metálicos, soldados entre si, terminados em pontas que são dobradas todas num mesmo sentido é articulado e pode girar livremente num plano horizontal (figura 9) é ligada ao terminal negativo de uma máquina eletrostática. Cada ponta, sendo negativa, repele elétrons das moléculas de ar que estão próximas dela. Elétrons de muitas dessas moléculas de ar escapam. Portanto com falta de elétrons, a molécula deixa de ser neutra e se torna um agregado de partículas com carga resultante positiva, que chamamos íon positivo. O íon positivo é atraído pela ponta, arrastando consigo outras moléculas de ar, o que causa um deslocamento de moléculas de ar para a ponta, como se estivesse soprando um vento. Esse deslocamento de ar, provocado por fenômeno elétrico chamado vento elétrico, ou sopro elétrico. Os íons positivos e as moléculas neutras de ar que se deslocam, ao se chocarem com as pontas, exercem forças sobre elas. Essas forças põem o torniquete em movimento de rotação, em sentido contrário ao das pontas.

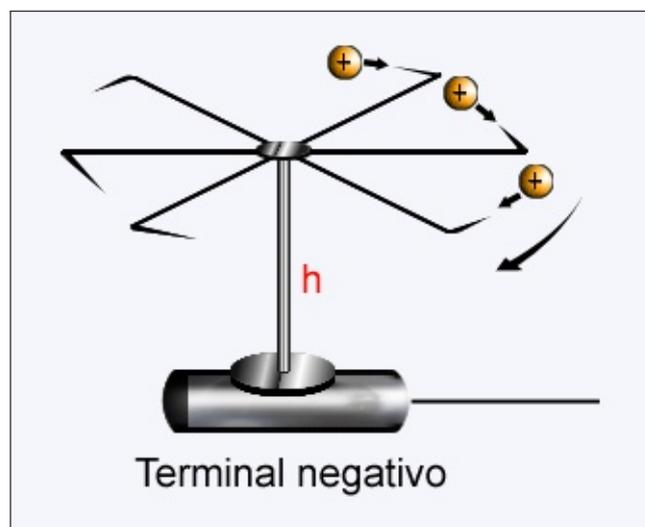


Figura 9: Motor iônico

4 Descrição do trabalho

4.1 Montagem do multiplicador de tensão

Para a confecção do projeto foram utilizados 100 capacitores cerâmicos com $C = 1500pF$ e $1kV$ de isolamento elétrico da *EPCOS* e 100 diodos *1N4007*. Essa tensão nominal dos capacitores deve ser maior ou da ordem da tensão de entrada do circuito, portanto, como pretende-se alimentar o circuito com uma tensão de 220V foram escolhidos, por questão de segurança, capacitores que suportam uma faixa de tensão mais alta.

Para a realização do projeto, foram escolhidos materiais de fácil aquisição, os quais pudessem ser manuseados, sem grandes dificuldades, por pessoas menos experientes. Deste modo optou-se por montar o circuito em uma placa de circuito impresso, a qual pode ser adquirida e manuseada com grande facilidade.

O primeiro passo para montar um circuito impresso é desenhar o padrão que se pretende transferir para a placa. Para isso foi utilizado o software *Fritzing*, o qual é gratuito, e a imagem gerada pode ser visualizada na figura 10.

A figura então foi impressa na folha A4 "ink jet paper - High quality" da *EPSON* utilizando uma impressora laser. A placa de circuito impresso foi cortada no tamanho desejado, em seguida o lado da placa coberto por cobre foi limpo utilizando palha de aço a fim de remover o óxido de cobre de sua superfície. A folha com o padrão a ser transferido foi então posicionada sobre a placa e fixada com fita adesiva. Utilizando um ferro de passar roupas sem vapor (figura 11a) o padrão começou a ser transferido para a placa. Logo após, a placa, ainda envolta no papel, foi molhada com água e detergente, em seguida o papel foi retirado e pôde-se verificar que o padrão havia sido transferido para a placa (figura 11b). O passo seguinte foi remover o cobre da região complementar à marcada com o padrão. Para isso foi utilizado perclorato de ferro.

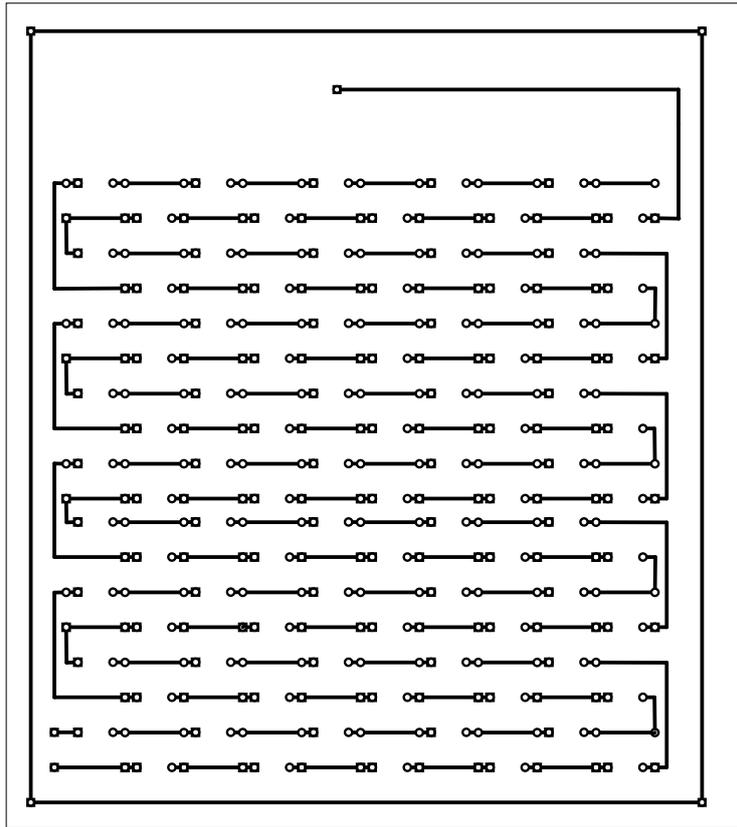


Figura 10: Circuito a ser impresso na placa de cobre e fibra de vidro desenhado utilizando o software *Fritzing*.

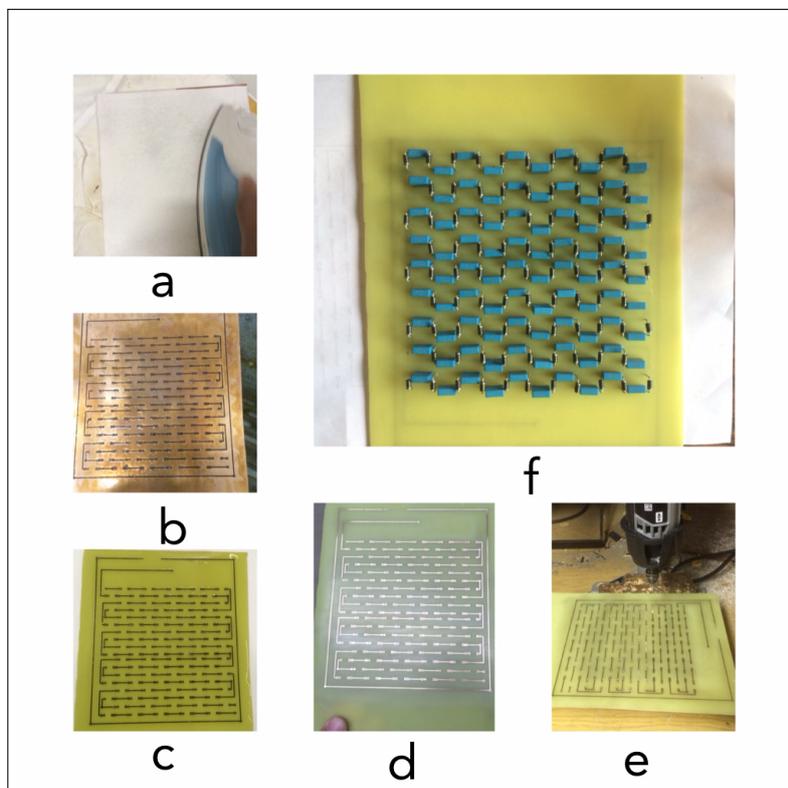


Figura 11: Montagem do circuito multiplicador de tensão.

O percloroeto de ferro é um material de fácil aquisição e manuseio. Ele é encontrado em lojas de componentes eletrônicos e vendido em pó, o qual deve ser preparado e possui duração que varia com o uso, não com o tempo. Basicamente o pó de percloroeto de ferro deve ser diluído em água na proporção indicada na embalagem, porém essa reação é exotérmica (libera calor), com liberação de gás com odor desagradável, o qual aconselhamos tomar cuidado para não inalar, mesmo sendo atóxico. De modo geral, se as orientações do fabricante forem seguidas, seu manuseio não oferece riscos.

Após preparar a solução de percloroeto de ferro, a placa de cobre foi então colocada sobre a solução com a parte cobreada voltada para baixo. Conforme o cobre vai sendo corroído, pode-se observar no lado oposto o "aparecimento" do circuito. Assim, ao observar que a corrosão cessou, a placa foi lavada com água corrente (figura 11c) e então novamente limpa com o auxílio da lã de aço (figura 11d).

Com a placa "pronta", iniciou-se a perfuração dos locais nos quais os componentes eletrônicos seriam fixados (figura 11e). Na sequência o padrão de cobre foi novamente limpo com palha de aço e estanhado. Posteriormente, os componentes eletrônicos foram soldados, e o resultado final pode ser observado na (figura 11f).

4.2 Testes preliminares

Primeiramente, como a idéia inicial era alimentar o multiplicador de tensão na rede elétrica convencional, iniciou-se testes utilizando um transformador $127V - 9V$. Nessa configuração, o primeiro estágio do circuito dobrava a tensão enquanto os seguintes apenas promoviam sua queda, o que fez com que o sinal de saída fosse da ordem de $1V$. Para entender o que limitava a tensão de saída foi utilizado um gerador de tensão alternada e um osciloscópio para investigar qual parâmetro gerava o problema. O gerador de sinal utilizado é capaz de fornecer tensão máxima de $10V_p$, além de permitir variação da frequência entre $1Hz$ e $10MHz$.

Os testes foram iniciados utilizando a frequência da rede elétrica $60Hz$ e a menor tensão possível, $1V_p$. Aumentou-se a tensão até $10V_p$ e não foi observada a multiplicação da tensão além do primeiro estágio. A frequência foi alterada para $1kHz$, mantendo a tensão fixa no maior valor possível. Porém essa alteração não resolveu o problema.

Foi então cogitada a hipótese de que o circuito apresentava uma corrente de fuga que diminuía a potência do sinal (que já é baixa), impossibilitando que a multiplicação da tensão ocorresse. A fim de verificar se o problema era devido a algum defeito nos componentes eletrônicos, foi montado em um *protoboard* um quadruplicador de tensão, mas o problema persistiu. Analisou-se então a montagem de um circuito multiplicador de tensão proposta nas notas de aula do professor Daniel Ugarte [2] (figura 2), o que permitiu constatar que o problema era associado aos componentes utilizados, já que as especificações eram equivalentes.

Na tentativa de finalizar o projeto, decidiu-se montar o circuito no *protoboard* utilizando capacitores equivalentes disponíveis no laboratório, os quais não tinham sido utilizados anteriormente por não serem suficientes para a montagem realizada. Utilizando os 19 capacitores disponíveis, foi possível montar um circuito com fator 20 de multiplicação (figura 12), o qual funcionou perfeitamente para frequências acima de $1kHz$. Isso indica que o problema é a corrente de fuga dos capacitores inicialmente utilizados. Os resultados apresentados a seguir foram obtidos com o circuito montado no *protoboard*.

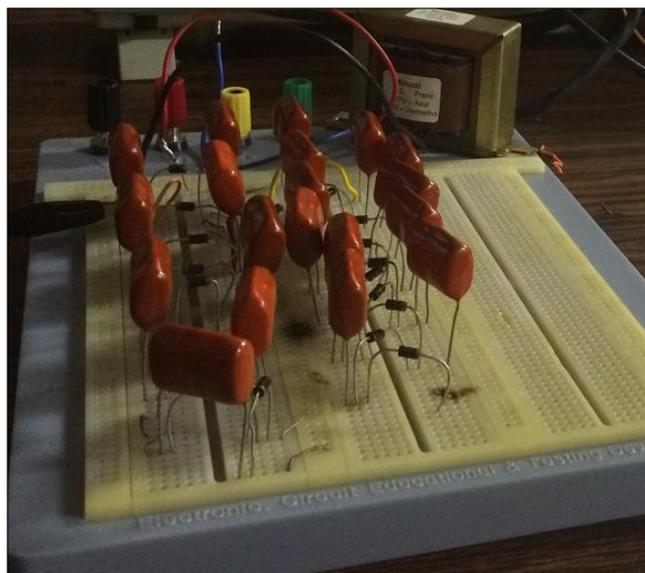


Figura 12: Circuito multiplicador de tensão montado no *protoboard*.

4.3 Efeito corona utilizando o circuito montado no protoboard

Devido a necessidade da frequência da tensão alternada ser da ordem de $1kHz$, foi necessário utilizar o gerador de função. Deste modo, utilizou-se um transformador $12V - 220V$ para elevar a tensão de saída do gerador de sinal e alimentar o circuito multiplicador de tensão. O gerador de função foi ajustado para que $V_p = 10V$ e $f = 10kHz$, então utilizando uma ponta de prova para alta tensão foi possível determinar, com o auxílio de um multímetro, a tensão de saída do circuito em $3kV$. De acordo com a teoria, a resistência dielétrica do ar é $3 \frac{kV}{mm}$, portanto com a montagem utilizada já seria possível observar o efeito corona.

Um teste foi realizado aproximando um led vermelho da saída do multiplicador de tensão. O resultado obtido foi uma corona de alguns milímetros, a qual permitiu que o led acendesse (figura 13). Vale ressaltar que a marca de queimado no protoboard já estava lá antes dele ter sido utilizado, portanto não ocorreu qualquer acidente durante a realização deste teste.

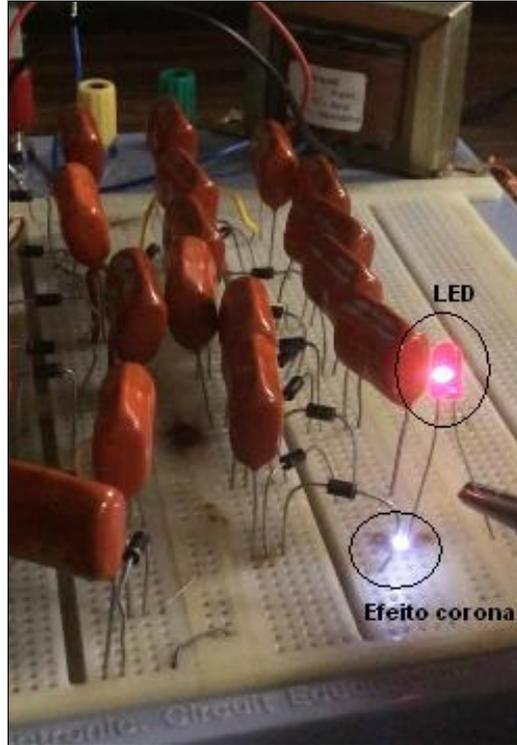


Figura 13: Corona observada utilizando o circuito multiplicador de tensão montado no *protoboard*.

Posteriormente, tentamos ionizar o gás de uma lâmpada fluorescente de $110 - 127V$ com $9W$ de potência ao aproximá-la da saída do circuito multiplicador de tensão. Porém não obtivemos sucesso pois a potência de saída era muito baixa. Entretanto, se um terminal da mesma lâmpada fosse aterrado, e o outro fosse aproximado da saída do multiplicador de tensão, a corona produzida era capaz de fazer com que a lâmpada conduzisse (figura 14).

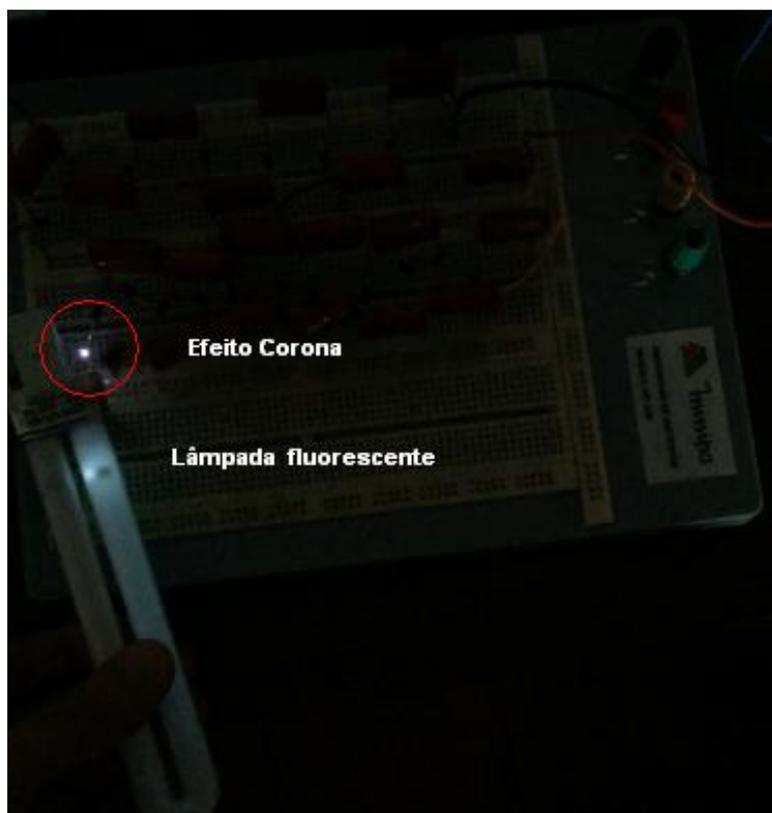


Figura 14: Corona observada utilizando o circuito multiplicador de tensão montado no *protoboard* capaz de fazer com que uma lâmpada fluorescente conduzisse.

4.4 Efeito corona utilizando o circuito impresso

O circuito impresso foi analisado (figura 15) cuidadosamente para verificar o motivo do não funcionamento. Para isso um estágio foi solto em cada linha (figura 16) a fim de verificar se a multiplicação estava correta naquele trecho. Para o sinal de entrada igual ao utilizado no circuito do *protoboard*, as três primeiras linhas do circuito (separadamente) funcionaram perfeitamente, fornecendo tensão de saída da ordem de $1kV$. Na sequência, o comportamento do circuito foi analisado a medida que as linhas eram acopladas. Para a mesma configuração do sinal de entrada, a tensão no final da segunda linha foi medida e obteve-se $2,09kV$, o que estava de acordo com o esperado. Na sequência, foi analisado o comportamento do circuito ao acoplar a linha seguinte à configuração anterior, e a tensão de saída ainda concordava com a teoria $2,64kV$. Quando a quarta linha foi analisada separadamente, o sinal de saída estava de acordo com o esperado pela teoria. Entretanto, ao acoplá-la a parte do circuito já analisada, a tensão de saída medida foi $2,6kV$. Após observar esta discrepância, verificou-se de todas as conexões a fim de tentar encontrar a fonte dessa corrente de fuga. Entretanto, diversos fatores poderiam ter gerado esse problema. A justificativa mais plausível é a de termos chegado a multiplicação de tensão máxima que esse modelo de capacitor é capaz de gerar. Pois ao aplicar uma frequência mais baixa no circuito, o número de estágios que respondem de acordo com a literatura diminui. Assim, devido a impossibilidade de aumentar a frequência acima de $10kHz$ por conta da limitação do transformador, não foi possível obter tensão de saída acima de $2,6kV$.

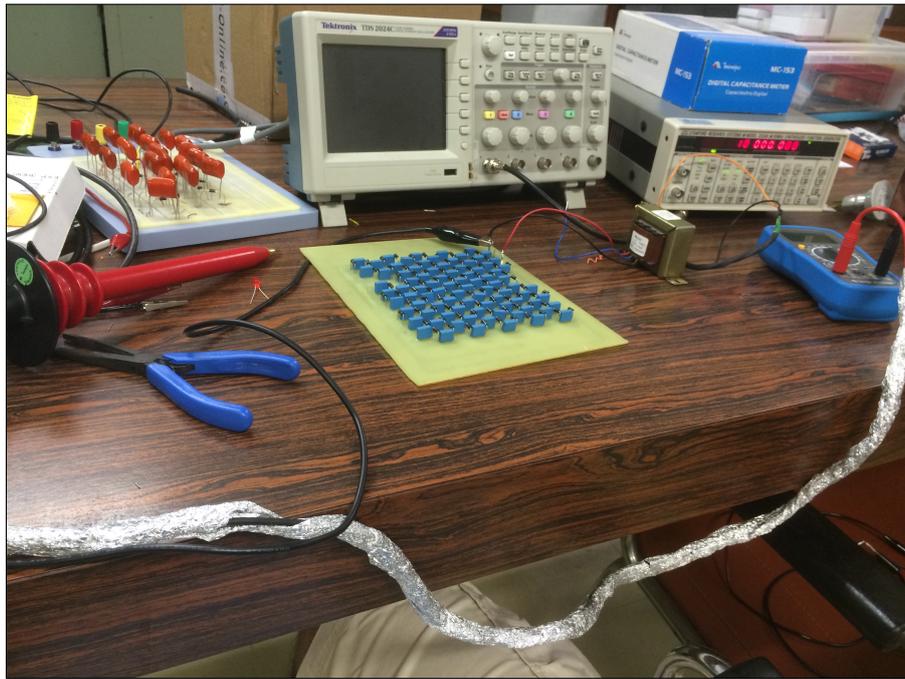


Figura 15: Testes com o multiplicador de tensão montado no circuito impresso.

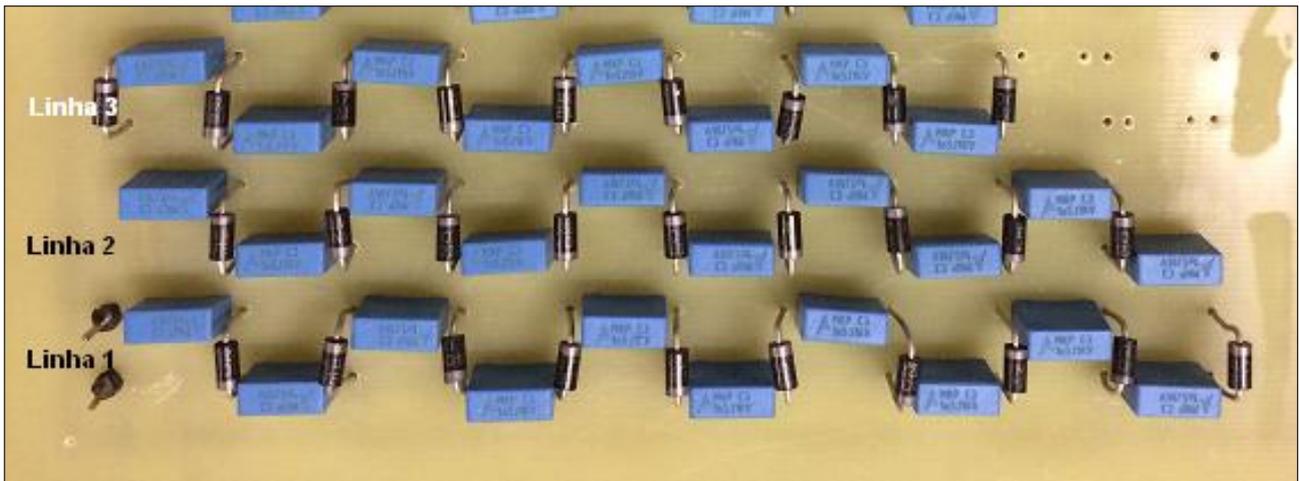


Figura 16: Partição do circuito analisada.

Foi realizado um teste para verificar se já era possível observar o efeito corona no ponto em que a tensão de saída era $2,6kV$. O resultado obtido foi uma pequena corona de aproximadamente $2mm$ (figura 17).

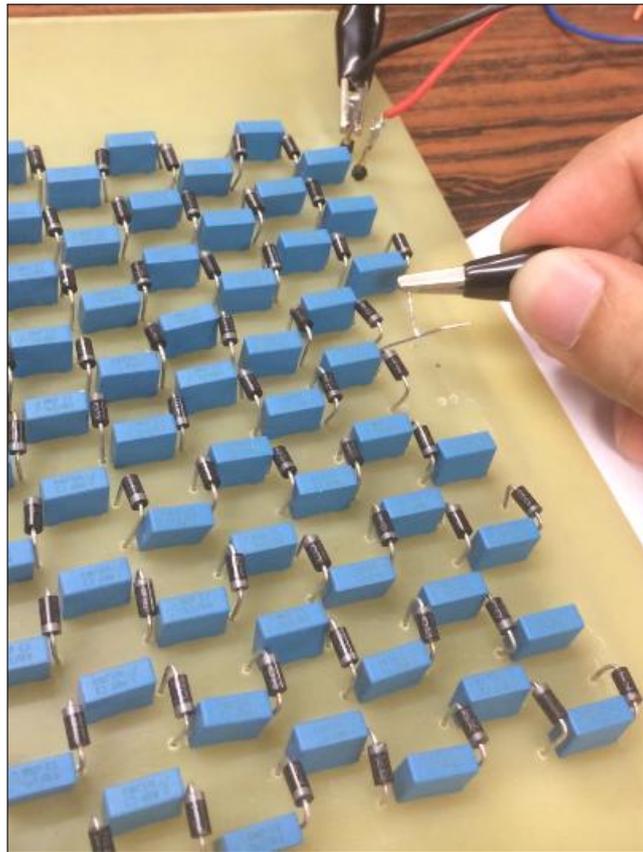


Figura 17: Tentativa de obter o efeito corona utilizando o circuito impresso.

5 Conclusão

A proposta desta disciplina era elaborar um experimento que pudesse ser executado tanto em uma aula teórica de um curso de física da UNICAMP quanto em uma aula de ensino médio. Assim, esse projeto teve como objetivo demonstrar o efeito corona por meio de uma montagem experimental mais simples do que o gerador de Van de Graaf que apresenta algumas dificuldades de montagem por conta da parte mecânica.

A idéia inicial, era confeccionar um multiplicador de tensão cuja tensão de saída fosse aproximadamente 10kV, entretanto devido a corrente de fuga que apareceu no circuito impresso não foi possível chegar a tensão desejada, o que comprometeu as dimensões do fenômeno obtido. Após analisar cuidadosamente o circuito multiplicador, acredito que tenhamos chegado a multiplicação de tensão máxima que esse modelo de capacitor é capaz de gerar utilizando tensão de entrada com $150V e 10kHz$.

A necessidade do uso de um gerador de tensão alternada para alimentar o circuito multiplicador de tensão pode dificultar a execução deste projeto por um professor de ensino médio devido a possível indisponibilidade do equipamento. Entretanto é possível confeccionar facilmente uma fonte chaveada com uma frequência fixa [13] para resolver esse problema. Portanto, com a confecção da fonte chaveada, seria possível aumentar a amplitude da tensão de entrada. Assim, obteríamos tensão de saída maior utilizando menos estágios.

Tentamos demonstrar o motor iônico, mas a hélice que confeccionamos com papel alumínio não funcionou, pois ao ligar o circuito ela escapava ou o torque gerado não era suficiente para fazê-la girar devido ao atrito com a ponta da agulha.

6 Declaração do orientador

Meu orientador concorda com o expressado neste relatório e deu a seguinte opinião: "O relatório descreve de forma clara e concisa o trabalho desenvolvido. O trabalho não obteve o potencial elétrico desejado devido a problemas com a qualidade dos capacitores, apesar deles terem sido comprados especificamente para este projeto e de marca e loja de confiança. Apesar disso, foi possível obter potenciais da ordem de alguns kV's, o que já permite a observação dos fenômenos de interesse. Além disso, a troca dos capacitores deveria resolver o problema. Por isso considero que o trabalho foi finalizado atendendo a proposta inicial."

7 Referência

- [1] Horowitz, P.; Hill, W. “The art of electronics”
Livro de eletrônica utilizado como referência no curso F540 do IFGW.
- [2] <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/myvdg.html>
Acessado pela última vez em 12/11/2014
Imagem de um gerador de Van der Graaf
- [3] http://sites.ifi.unicamp.br/dmugarte/files/2014/01/Aula_2_Diodo_2013_2do.pdf
Notas de aula do professor Daniel Ugarte sobre diodos.
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=LhzG81N0b-g\&feature=youtu.be>
Acessado pela ultima vez em 07/11/2014
Vídeo que exemplifica experimentos que podem ser realizados com um gerador de tensão
- [5] <http://www.eletr.ufpr.br/marlio/te051/parte10.pdf>
Acessado pela ultima vez em 07/11/2014
Modelo teórico utilizado para a explicação do multiplicador de tensão nível graduação.
- [6] Panicker, P.K. Ionization of air by corona discharge.
Modelo teórico utilizado para a explicação do efeito corona.
- [7] http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/carga/poder_pontas/
Modelo teórico utilizado para a explicação do motor iônico.
- [8] <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/49-curiosidades/4793-ma044.html>
Acessado pela ultima vez em 07/11/2014
Exemplo de aplicação de multiplicador de tensões com sugestão de montagem.
- [9] <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/meio-ambiente-e-saude/391-monte-um-ionizador-negativo>
Acessado pela ultima vez em 07/11/2014
Exemplo de aplicação de multiplicador de tensões com sugestão de montagem.
- [10] <http://www.spellmanhv.com.br/pt-BR/Technical-Resources/Faqs/Technology-Terminology/What-is-a-voltage-multiplier.aspx>
Acessado pela ultima vez em 07/11/2014
Explicação simplificada sobre multiplicador de tensão.
- [11] <http://www.google.com/patents/US4047091>
Acessado pela ultima vez em 07/11/2014
Artigo sobre multiplicador de tensão com capacitores.
- [12] <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/09/gerador-van-der-graaf.jpg>
Esquema de um gerador de Van der Graaf.
- [13] http://sites.ifi.unicamp.br/dmugarte/files/2014/01/Aula_9_Amp0p_Fontechav_2013.pdf
Projeto de fonte chaveada do curso de eletrônica “F540” da UNICAMP.

7.1 Palavras chave

Voltage multiplier; Multiplicador de tensão; Multiplicador de tensão com capacitor; Multiplicador de tensão diodo; Applications voltage multiplier; Multiplicador de tensão aplicações; Corona effect; Efeito corona; Corona discharge; Efeito das pontas; Motor iônico

8 Horário para apresentação do painel no Evento de Consulta à Comunidade

4a dia 03 de dezembro, 16-18h.