

DEVELOPMENT OF AN ELETRONIC SIMULATOR OF A PLASMA'S CURRENT-VOLTAGE CURVE

Marco Aurelio Nespolo Vomstein¹, Julio César Sagás²

¹Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

R. Pavão, 1377 - Costa e Silva, Joinville - SC

²Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Departamento de Física, Campus Universitário – Joinville - SC

marco.vomstein@gmail.com, julio.sagas@udesc.br

Abstract. A simulator circuit of a plasma's current-voltage curve was created in order to make a qualitative analysis of an electric discharge, considering the appropriate scale and parameters. The 18 values of current and voltage automatically generated by the simulator were based on measurements obtained in laboratory, where argon's plasma was used in different pressures (0.4 Pa, 0.7 Pa and 0.9 Pa). In order to automatically change the resistance values, the integrated circuit AD5206 was used, which contains six digital potentiometers and it is programmed in Arduino.

Palavras-chave: Simulação. Curva. Análise.

1. INTRODUÇÃO

Descargas elétricas em gases são usualmente produzidas em ambientes de baixa pressão. No caso de uma descarga DC, nas extremidades do ambiente se encontram eletrodos carregados com uma diferença de potencial contínua fornecida por uma fonte externa, responsável por fornecer energia para a ionização do gás, o que gera o plasma [1].

Na Fig.1 nota-se a presença de uma resistência e de uma fonte de tensão contínua variáveis, externas ao plasma. O circuito de simulação construído é análogo a este sistema, sendo fornecidos valores relativos à tensão V e à corrente I .

Basicamente, divide-se a curva corrente-tensão de um plasma em três regimes: a descarga de Townsend, a descarga luminescente e a descarga em arco.

A Fig. 2 mostra a disposição desses regimes na curva.

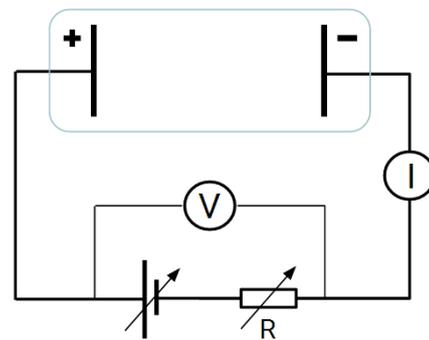


Figura 1. Esquema elétrico da geração de descargas elétricas em um reator a plasma.

O regime de Townsend é caracterizado por possuir baixa corrente. É também conhecido como descarga escura, alcinha derivada do fato de possuir quantidades pequenas de átomos excitados, impedindo assim a emissão de luz.

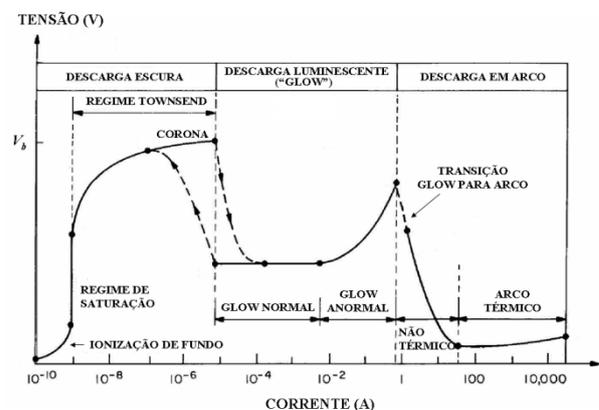


Figura 2. Disposição dos regimes de descarga na curva corrente-tensão de um plasma. Retirado de [2].

A descarga luminescente é gerada após a ocorrência da tensão de ruptura, responsável pelo aumento brusco na corrente do sistema. A descarga se torna autossustentada a partir de então. Como o seu nome já incita, a descarga é visível, com emissão de luz correspondente aos parâmetros aplicados no sistema.

Após atingir altos níveis de energia, a descarga entra em um regime de arco voltaico, que tem como características a luminosidade intensa e a disparidade entre a tensão e a corrente, tendo uma queda nos valores da primeira e um grande aumento nos da segunda.

No caso específico de uma descarga luminescente assistida por campo magnético (como em um sistema *magnetron sputtering* de deposição de filmes [3]), os valores de tensão e corrente no plasma obedecem à seguinte equação empírica [4]:

$$I = \beta(V - V_o)^2 \quad (1)$$

Onde I é a corrente; V é a tensão da descarga e V_o se refere à tensão mínima necessária para manter o plasma. A constante β está relacionada com a eficiência da descarga, i.e. quanto maior o seu valor, maior será a corrente gerada com a mesma tensão aplicada.

Neste trabalho, curvas corrente-tensão de descargas elétricas foram obtidas e analisadas de acordo com a Eq.(1).

O circuito eletrônico construído simula qualitativamente a curva corrente-tensão característica de um plasma atuando no regime de descarga luminescente assistida por campo magnético. Para tal, foi criado um código de programação para Arduino com objetivo de automatizar o sistema de simulação.

Cálculos foram feitos para estabelecer valores de resistência a serem aplicados no circuito, alcançando assim os valores de corrente e tensão necessários para efetuar a simulação da curva.

Para variar a resistência do circuito automaticamente, um potenciômetro digital foi utilizado, o que fez com que os valores

de resistência encontrados fossem convertidos para bits, assim tornando a programação no componente possível.

O esquema e a construção do circuito são apresentados na seção "Método". Posteriormente, os resultados são discutidos, comparando-se qualitativamente as curvas obtidas experimentalmente com àquelas simuladas a partir do circuito construído.

2. MÉTODO

Tendo como base a Eq.(1), foram obtidos 18 valores de corrente e de tensão para a simulação da curva, com a corrente variando de 1 a 18 mA, enquanto a tensão varia de 1,000 a 4,243 V.

Como o circuito eletrônico criado para a simulação opera com tensão máxima de 5 V, os valores gerados são baixos se comparados às centenas de volts necessários para gerar tal descarga em laboratório. Utilizou-se uma tensão V_o de 0 V para efeito de cálculo, o que não influencia na simulação do formato característico de uma curva corrente-tensão de um plasma. Desta forma, β serve como parâmetro único para manter a curva dentro dos limites do circuito eletrônico, tendo valor constante de 0,001 A/V².

Para o circuito fornecer os valores de corrente e tensão propostos, foi necessário utilizar um potenciômetro digital programado através de um Arduino. Dessa forma, é possível fazer a resistência do circuito variar automaticamente, a cada cinco segundos, alterando os valores de corrente e tensão do modo previsto.

2.1 Componentes do Circuito

O circuito eletrônico da simulação é composto, basicamente, por dois componentes: um microcontrolador Arduino e um potenciômetro digital. Ao longo desta subseção tais elementos serão melhor detalhados.

Arduino. O circuito é controlado por meio da placa eletrônica de prototipagem Arduino

Uno Rev3, com microcontrolador Atmega328P, *open source* (código aberto). Este item garante a automatização do sistema, efetuando a comunicação com o potenciômetro digital. Isso é feito por meio de programação em linguagem própria da placa, uma variante da linguagem C, como McRoberts [5] mostra em seu livro. A alimentação é feita por cabo USB, podendo ser ligado a um computador, fornecendo tensão de 5 V ao circuito.

Potenciômetro Digital. O circuito integrado AD5206 é formado, em seu interior, por 6 potenciômetros digitais, cada qual correspondente a três pinos do chip.

As letras A, W e B correspondem aos terminais positivos, *wiper* (pino responsável pela variação da resistência) e negativo, respectivamente [7]. Os números que sucedem tais letras indicam a qual dos seis potenciômetros pertence os terminais. O pino V_{DD} recebe 5 V do Arduino, alimentando o chip juntamente com o GND, também conectado ao microcontrolador. SDI, CLK e CS são os terminais responsáveis pela comunicação com o Arduino, o que faz com que o circuito integrado receba o código de programação.

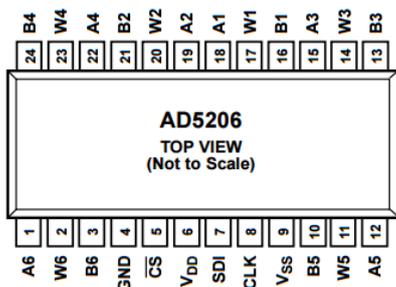


Figura 2. Diagrama de pinos do circuito integrado AD5206 [6].

A resistência de cada potenciômetro varia de 0 a 10 KΩ, em 256 passos, os bits. O valor em bits é inversamente proporcional à resistência, ou seja, ao enviar 0 bit para determinado potenciômetro, a resistência será máxima, e com o envio de 255 bits, a resistência será próxima de 0 Ω. Com isso, obtém-se a seguinte equação para encontrar os bits relativos a resistência alvo:

$$B = 255 - 0,0255R \quad (2)$$

A resistência relativa aos valores de tensão e corrente é encontrada a partir da equação da lei de Ohm:

$$V = RI \quad (3)$$

2.2 O Circuito

Para aumentar a precisão da simulação, os potenciômetros são dispostos em paralelo, o que faz com que a resistência equivalente tenha uma menor variação que se dispostos em série, resultando em uma resolução maior.

Como mostrado na Fig. 3, utilizar 4 dos 6 potenciômetros disponíveis no circuito integrado se mostrou suficiente para obter os valores de resistência desejados.

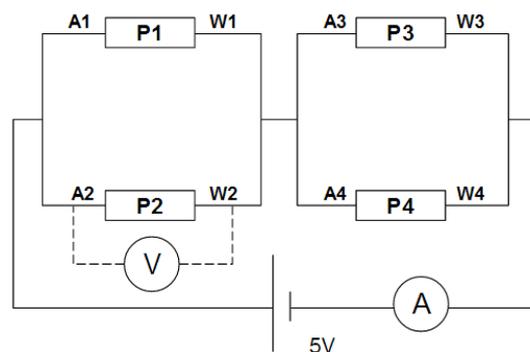


Figura 3. Esquema de ligação e alimentação do circuito.

A tensão da simulação é medida sobre os potenciômetros P1 e P2, ficando P3 e P4 com o excedente. Ou seja, os potenciômetros em paralelo P1 e P2 são equivalentes à descarga elétrica, enquanto os potenciômetros P3 e P4 equivalem à resistência externa. A corrente é a total do circuito.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram feitas três medições em laboratório, usando plasma de argônio, com diferentes pressões: 0.4 Pa, 0.7 Pa e 0.9 Pa (Fig. 4).

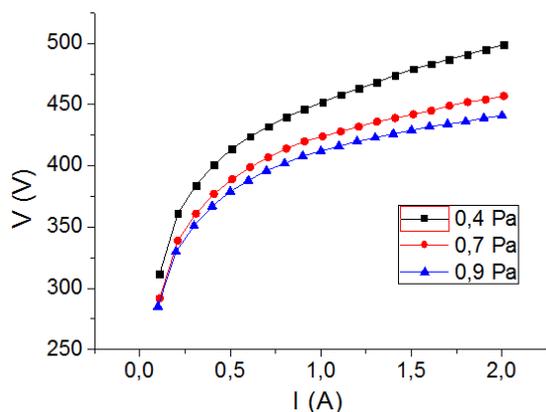


Figura 4. Gráfico corrente-tensão da descarga elétrica de plasma de argônio em diferentes pressões.

Ao variar a pressão, a constante β também se altera, proporcionalmente, diminuindo a inclinação, no caso de uma curva $V \times I$. Isso denota uma maior quantidade de ionizações no gás, o que leva ao aumento da corrente para uma mesma tensão. Os valores de β encontrados foram, respectivamente, $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ A/V}^2$; $10,7 \cdot 10^{-5} \text{ A/V}^2$ e $12,4 \cdot 10^{-5} \text{ A/V}^2$.

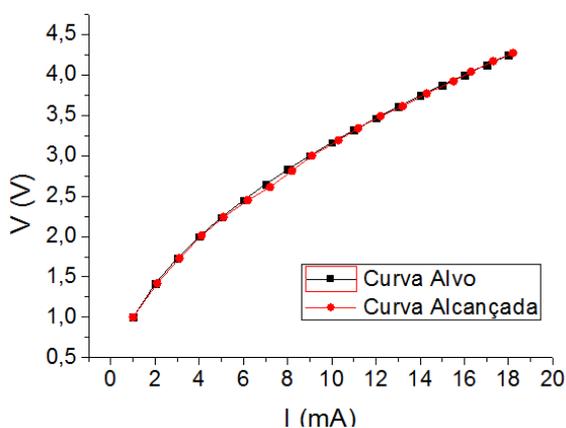


Figura 5. Comparação entre os valores de corrente e tensão propostos e os valores alcançados.

Os valores fornecidos pelo circuito se mostraram satisfatórios para uma análise qualitativa da curva corrente-tensão de um plasma atuando no regime de descarga luminescente, com variação máxima de 3% em relação aos valores desejados, resultando na Fig. 5. Apesar de uma pequena

discrepância entre valores, a curva alcançada se mostra aceitável, pois sua forma característica foi mantida.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores obtidos com o circuito eletrônico demonstraram com êxito o formato característico de uma curva de descarga elétrica atuando no regime luminescente assistido por campo magnético. Isto demonstra a possibilidade de utilizar circuitos eletrônicos para reproduzir qualitativamente curvas características de descargas elétricas, o que é relevante para o desenvolvimento de fontes de potência para plasmas.

REFERÊNCIAS

- [1] FARIAS, Eliel, CAVALCANTI, Gildo. Estudo do Plasma produzido por descarga elétrica no limiar da transição Townsend - "glow". Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal Fluminense, 2006.
- [2] PESSOA, R.S. Investigações em Plasmas Gerados em Descarga Catodo Oco Plano. Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.
- [3] ALENCASTRO, Felipe. Filmes finos de TiC/Al produzidos por *magnetron sputtering* para aplicação em coletores solares. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- [4] WESTWOOD, W.D.; MANIV, S. The current-voltage characteristics of magnetron sputtering systems. **J. Appl. Phys**, v. 54(12), p.6841-6846, 1983.
- [5] MCROBERTS, Michael. Arduino Básico. 1ª ed. São Paulo: Novatec, 2011.
- [6] Analog Devices, Datasheet: 4-/6-Channel Digital Potentiometers AD5204/AD5206.
- [7] GUERRA, Armando. Diseño y simulación de un potenciómetro digital de 6 bits. Dissertação (Graduação) – Universidad Carlos III de Madrid, 2012.