

FONTE CHAVEADA DE 2kW PARA EMULAÇÃO DA CARACTERÍSTICA ESTÁTICA DE SAÍDA V(VERSUS)I DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO A CÉLULA COMBUSTÍVEL TIPO PEM.

Rodrigo da Ponte Caun, Carlos Alberto Canesin. – Eletrônica de Potência - Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira.

Uma célula combustível por definição é uma célula elétrica, ou seja, um dispositivo eletroquímico que converte energia química diretamente em energia elétrica, entretanto podendo ser continuamente alimentada com combustível e mantendo a saída de energia elétrica indefinidamente sustentada. O hidrogênio convertido, ou combustível contendo hidrogênio, gera energia elétrica e calor direto da reação eletroquímica de hidrogênio e oxigênio, produzindo água. O processo é de eletrólise reversa, conforme mostra a equação (1) e ilustrado na Figura 1.

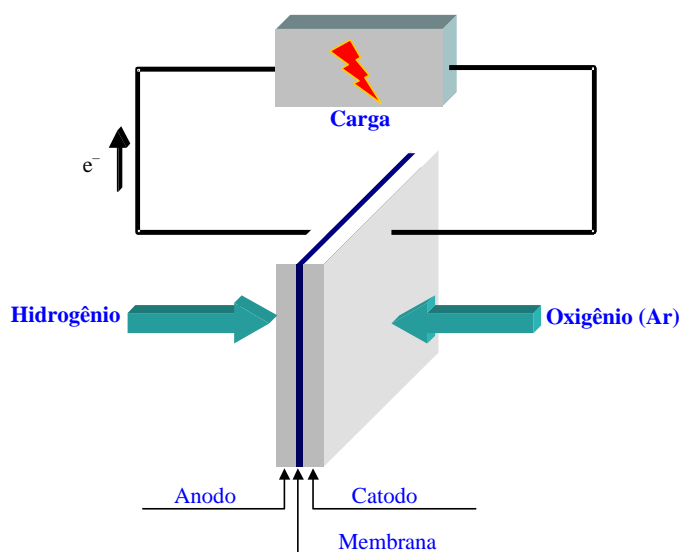
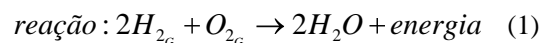


Figura 1 - Princípio de funcionamento de uma célula combustível.

Sistemas a células combustíveis proporcionam inúmeras vantagens, dentre as quais destacam-se: modularidade, alta eficiência, baixo impacto ambiental, tempo de vida, suportabilidade e, atualmente, elevados custo e tempo de resposta, entretanto, tornando estes sistemas atrativos a uma variedade de aplicações.

As características básicas de um sistema a célula combustível são dados na Figura 2. Baseado nesta figura um sistema a célula combustível é composto de seis subsistemas básicos: a pilha célula combustível, o processador de combustível, o gerenciamento de ar, o gerenciamento de água, o gerenciamento térmico, e, subsistemas de condicionamento de energia, para o aproveitamento da energia elétrica produzida.

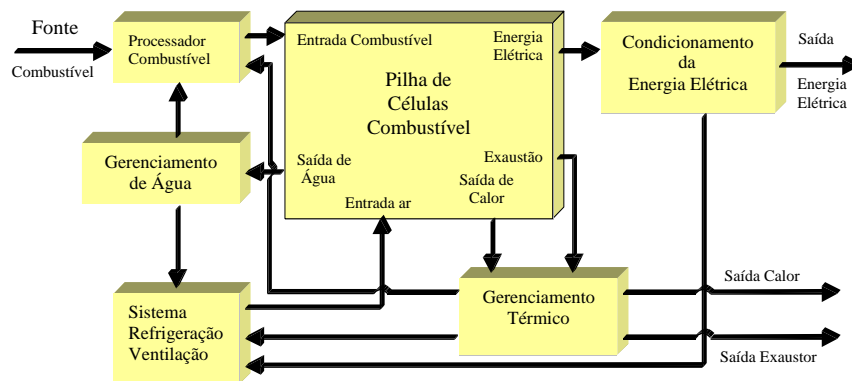


Figura 2 - Sistema de Geração baseado em Células Combustível.

Desta forma, a proposta exposta neste trabalho é o desenvolvimento de uma fonte chaveada que emule/simule as características estáticas de saída de um sistema à células combustíveis tipo PEM. A estrutura é composta por um estágio de entrada retificador com correção ativa do fator de potência, e, um conversor CC-CC isolado de saída, controlados através de um único dispositivo FPGA, como mostra a Figura 3.

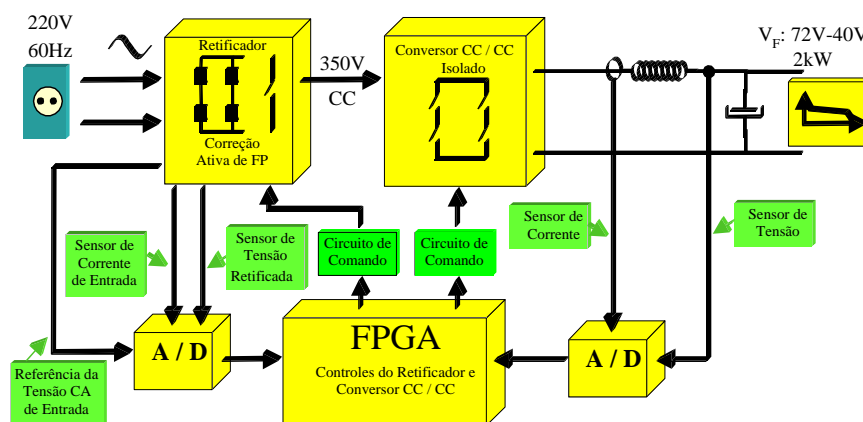


Figura 3 - Sistema de simulação/emulação experimental da característica estática ($V \times I$) de um sistema de geração com células combustíveis tipo PEM, baseado em conversores estáticos.

O circuito retificador é composto por um conversor Boost convencional com comutação dissipativa operando no modo de condução contínua. O controle é realizado de forma analógica aquele proporcionado pelo integrado UC3854, por valores médios, implementado através da linguagem VHDL e dispositivo FPGA, de tal forma a descrever o controle por valores médios instantâneos da corrente, impondo-se elevado fator de potência para o estágio de entrada. No estágio de saída a emulação estática da característica de saída da célula combustíveis tipo PEM é realizada pelo conversor Buck-Full-Bridge, através da imposição de uma variável de referência em função da corrente de carga. Apesar da função que emula a característica estática de célula combustíveis ser representada por uma equação de terceira ordem, neste trabalho será considerada uma aproximação por função linear. Finalmente, o controle do estágio de saída será também implementado com os recursos da linguagem VHDL e integrado num mesmo FPGA com o controle do estágio de entrada.

As características de projeto para o simulador/emulador proposto são as seguintes: estágio de entrada de retificação com correção ativa do fator de potência, especificado para uma tensão de alimentação nominal de 220 $V_{eficazes}$ e 60 Hz, conforme apresentado na Figura 4, e, um estágio de saída composto por um conversor CC-CC Full-Bridge ZVS. O valor da tensão nominal de entrada do estágio CC-CC é de 400V, com uma saída programada variando de 32 V a 72V e com potência nominal de 2 kW, conforme Figura 5. A utilização de FPGA tem a vantagem de permitir o controle do conversor, emulando a característica da célula combustíveis bem como controlando alguns dispositivos

que são parte do sistema de retificação de entrada com correção ativa do fator de potência. Por outro lado, o dispositivo FPGA oferece enorme flexibilidade de programação, permitindo a emulação de diferentes tipos de células combustíveis, modificando-se uma pequena fração do algoritmo de descrição de Hardware.

A Figura 6 mostra a característica de saída Volt-Ampere do conversor emulado, conforme dados de projeto. Os degraus observados na Figura 6 são da variação discreta da carga.

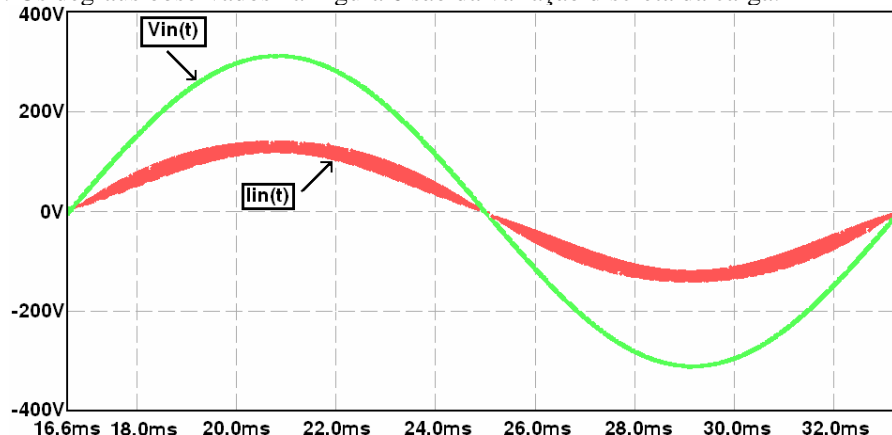


Figura 4 – Formas de onda da tensão e corrente de entrada do estágio retificador com correção ativa do fator de potência.

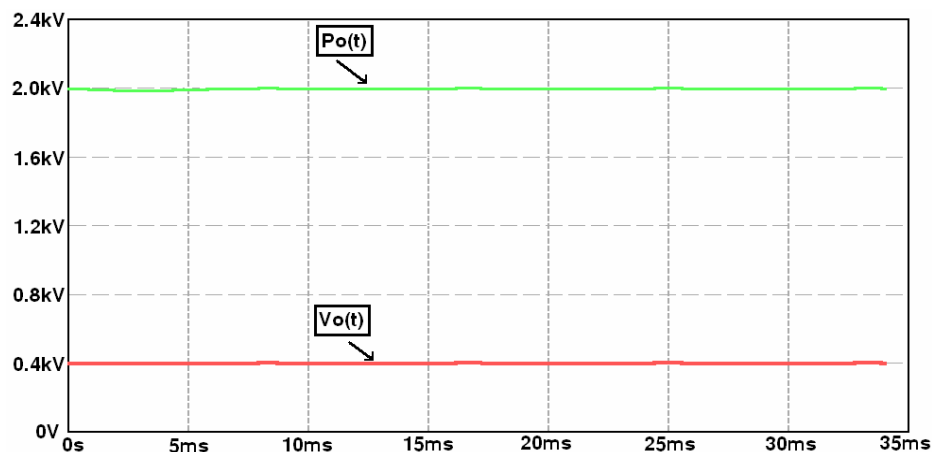


Figura 5 - Tensão e potência do estágio retificador.

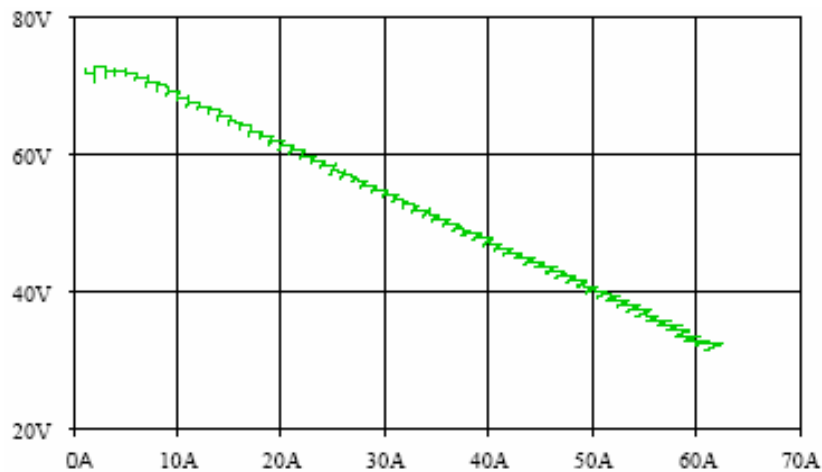


Figura 6 – Característica de saída projetada: tensão versus corrente (V versus I).

Células combustíveis certamente são uma das mais promissoras tecnologias para geração estacionária e um amplo conjunto de outras aplicações. De maneira geral, geração a célula combustível consiste de um reformador que produz o gás hidrogênio, a pilha cuja saída é um resultado de uma reação química, um ou mais conversores estáticos (CC/CC e/ou CC/CA, que envolvem a necessidade de simuladores para o auxílio em seus projetos) para o condicionamento da energia.

Especificamente, a tecnologia PEMFC tem viabilizado aplicações em dispositivos portáteis, de forma limpa, além de eficiente. Neste contexto, modelos matemáticos são apresentados como ferramentas úteis para simulação e análise do projeto de geradores baseados em PEMFCs, disponibilizando parâmetros para modificar a geometria da célula combustível e as características da membrana no processo de projeto. Desta forma, tais modelos para as PEMFC são um degrau inicial para a investigação e modificação do projeto interno e/ou externo de controladores para melhorar sua resposta transitória.

Com o projeto completo do sistema de simulação/emulação das características de sistemas de geração baseados em células tipo PEM, torna-se possível o início da implementação prática. Inicialmente far-se-á a implementação do estágio de saída com controle FPGA, e, a seguir, o desenvolvimento da técnica de controle por valores médios, implementada com o auxílio de VHDL, de tal forma a integrar o controle do estágio de saída com o estágio de entrada, sem a necessidade do uso do CI3854.

O simulador proposto promove uma estrutura de baixo custo, usando o dispositivo programável (FPGA) e VHDL. Finalmente, com a implementação do controle do conversor, a característica estática de saída pode ser facilmente emulada para diversos outros sistemas (células fotovoltaicas, por exemplo).

Referências Bibliográficas

- [1] Melo, G. A., Canesin, C. A.; A Proposed 2kW Converter to Emulate the PEM Fuel Cell Voltage(V) versus Current(I) Output Characteristic, in IEEE INDUSCON, in CD ROM, 2006.
- [2]<http://www.ti.com/>
- [3]Canesin, C. A.; "Fontes Chaveadas", apostila do curso de graduação, UNESP, Ilha Solteira (SP).
- [4]Canesin, C. A.; "Correção Ativa do Fator de Potência", apostila do curso de pós-graduação, UNESP, Ilha Solteira (SP).
- [5]Canesin, C. A.; "Correção Ativa do Fator de Potência de Fontes de Alimentação", mini-curso de Eletrônica de Potência, Congresso Brasileiro de Automação, Salvador (BA), 2006.
- [6]Chin, L. Y.; Diong, B.; Gemmen, R.S.; "An improved small-signal model of the dynamic behavior of PEM fuel cells ", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, no.4, pp.970-977, July-August 2004.

Bolsa: FAPESP