SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM CONVERSOR CC-CC BIDIRECIONAL ALIMENTADO EM CORRENTE PARA APLICAÇÃO EM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Romario Fernandes de Sousa [1], Herminio Minguel de Oliveira Filho [2]

RESUMO

O crescente uso das energias renováveis em microrredes, em especial a do tipo fotovoltaica, tem acarretado muitos benefícios relacionados com economia de energia e eficiência energética de sistemas de distribuição de energia. Porém, para que seu uso possa ser utilizado da maneira mais eficiente possível, é necessário que sua integração com os barramentos de tensão das microrredes não provoque oscilações devido sua característica intermitente. Uma forma de contornar esse quadro é a utilização de sistemas de armazenamento de energia, como, por exemplo, bancos de baterias, pois os mesmos podem fornecer uma energia constante para o sistema elétrico e, consequentemente, mitigar possíveis afundamentos de tensão. Logo, para que isso seja possível é necessário interligar o barramento comum do sistema, no caso uma rede elétrica CC (ou uma CA desde que utilizado um inversor), ao sistema de armazenamento de energia (por exemplo, banco de baterias). Essa situação é possível quando se utitiliza conversores CC-CC bidirecionais. Diante do exposto, o presente trabalho propõe desenvolver um sistema de controle e supervisão para um conversor CC-CC bidirecional, que visa realizar o carregamento do banco de baterias aplicando o método de carga de três estágios.

Palavras-chave:

Aquisição de Dados. Armazenamento de energia. Conversores CC-CC. Sistema de Controle.

[1] UNILAB, IEDS, Discente, e-mail: romariofernades@gmail.com
[2] UNILAB, IEDS, Docente, e-mail: herminio@unilab.edu.br

INTRODUÇÃO

O conversor CC-CC trifásico isolado proposto por Santos (2018) é composto por seis conversores CC-CC monofásicos bidirecionais no lado primário e um inversor trifásico no lado secundário. A figura 1 mostra separadamente um dos braços do lado primário. Dependendo do sentido do fluxo de potência, esse conversor pode operar como elevador de tensão (fluxo da esquerda para direita) ou como abaixador de tensão (fluxo da direita para esquerda). Os comportamentos supracitados ocorrem quando o sistema de armazenamento está fornecendo energia e quando o mesmo está sendo carregando, respectivamente. A capacidade do conversor de comportar-se tanto como elevador, quanto abaixador, exige que o sistema de controle seja capaz de atender os dois fluxos de potência. Para isso, o sistema de controle deve atuar regulando corrente e/ou tensão durante o carregamento do banco de baterias e assegurando a regulação de corrente através do indutor L quando o sistema de armazenamento estiver fornecendo energia para a carga/barramento.

Figura 1: Conversor CC-CC Bidirecional utilizado para a análise deste trabalho.



Fonte: Próprio autor.

Logo, o desenvolvimento do estudo de comportamento dinâmico previamente descrito foi realizado utilizando como modelo um conversor CC-CC bidirecional de dois quadrantes, conforme apresentado na Figura 1 e com as especificações apresentadas na tabela1.

Tabela 1: Especificações de projeto para o conversor CC-CC bidirecional.



Fonte: Próprio autor.

Para o controle de tensão da porta 1 foi utilizado o método de controle de corrente média, na qual a malha externa, mais lenta, que regula a tensão e utiliza um controlador proporcional integral (PI), enquanto a malha interna, mais rápida, regula a corrente em ambos os fluxos de potência usando um PI com filtro. Analisando dos diagramas de Bode, foi possível obter as características necessárias para a estabilidade do sistema: declive de -20 dB/dec. na frequência de cruzamento, sendo esta ajustada no máximo igual a 1/4 da frequência natural da planta, margem de fase superior a 0° e margem de ganho positiva. Já o método de carga, foi escolhido o IUU. Esse método realiza a carga 100% em três estágios, com o primeiro iniciando a corrente constante, o segundo em tensão constante de equalização e, por fim, o terceiro estágio com tensão de flutuação constante (OLIVEIRA FILHO, 2010).

METODOLOGIA

De início foi realizado uma revisão bibliográfica afim de conhecer os tipos de conversores isolados e não isolados e seus funcionamentos. No estudo dos conversores foi utilizado o simulador de circuitos PSIM. Também foi realizado revisão para os controladores, onde foi estudada uma das metodologias utilizadas para análise de estabilidade de sistemas, através do método de resposta em frequência. O referido procedimento é realizado recorrendo-se a análise dos parâmetros dos diagramas de Bode das funções de transferência (FT) das plantas a serem controladas. Para isso, foi utilizada a ferramenta computacional Mathcad. Conhecendo o funcionamento dos conversores e os requisitos necessários dos controladores para obtenção de um sistema estável, foi possível, com ajuda dos softwares supracitados, projetar os controladores adequados aos requisitos de projeto. Em seguida, foi escolhido aquele que mais se adequava ao conversor em questão e ao que se pretendia no projeto: realizar o controle de tensão e corrente no banco de baterias e controle de corrente na saída para a rede/carga. Também foram realizados testes e simulações para validar o sistema de supervisão. Esse sistema é responsável pela integração e funcionamento dos controladores de tensão e

corrente, fazendo isso através da interpretação de sinais provenientes dos sensores do circuito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para projetar cada um dos controladores mencionados na seção anterior, utilizou-se sensores de corrente e tensão de ganho equivalente a 0,041 A/V e 0,031, respectivamente. O compensador de corrente foi projetado com a frequência de cruzamento de 2 kHz, que corresponde a um décimo da frequência de operação da planta (20KHz), e margem de fase de 73°. O comportamento exposto previamente, também como o da FT de malha aberta compensada podem ser observadas no diagrama Bode apresentado na Figura 2. A FT da planta em análise, G1(s), é mostrada a seguir na Eq. (1).

Onde Vi é tensão na saída do modo boost e L é a indutância do conversor. O compensador de tensão irá funcionar somente no modo buck. A frequência utilizada foi de 400Hz, ou seja, um quinto da frequência de cruzamento da malha de corrente, e margem de fase de 90°, conforme diagrama de Bode da Figura 3. A FT para esta planta, G2(s) é mostrada na Eq. (2).

Onde Vi é tensão de entrada do modo buck, L a indutância do conversor, C a capacitância do conversor e R1 a resistência de carga equivalente na saída no modo buck. Além do método de carga, o sistema de supervisão é responsável por realizar a mudança de estados do conversor, ou seja, através de critérios pré-definidos, o sistema irá funcionar no modo elevador de tensão (fluxo de potência do barramento CC para a banco de baterias) ou no modo reverso, ou seja, abaixador de tensão. Outra aplicação do sistema de supervisão é desligar o fornecimento de energia do banco de baterias para o barramento CC, mantendo um valor mínimo de tensão recomendado pelo fabricante, afim de evitar descarga profunda e, assim, prolongar a vida útil das mesmas. Na tabela 2 são apresentados os critérios utilizados.

Figura 2: Diagrama de Bode para planta não compensada (vermelho), compensada (amarelo) e controlador (azul). Malha de corrente. a) Margem de ganho e b) Margem de fase.

Fonte: Próprio autor.

Figura 3: Diagrama de Bode para planta não compensada (vermelho), compensada (amarelo) e controlador (azul). Malha de tensão. a) Margem de ganho e b) Margem de fase.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 2: Critérios utilizados no sistema de supervisão.

Fonte: Próprio autor.

A tabela 2 descreve os critérios para método de carga e desligamento do sistema para evitar afundamento de tensão. Já os critérios para o sistema carregar ou descarregar a bateria foram:

1. Recarga das baterias: Caso o nível de tensão das baterias esteja abaixo do nominal e a rede/carga elétrica

possa fornecer energia.

2. Descarga das baterias: caso fornecimento de energia da rede seja interrompido, ou inferior a um valor mínimo pré-definido, e as baterias não estejam com baixo nível de carga.

Em uma aplicação real, todos os sinais serão processados digitalmente. Logo, foi utilizado um conversor analógico digital (A/D) de 10 bits e fundo de escala de 5V na saída de todos os sensores, além de filtro ativos de 1ª ordem, com frequência de corte de 2kHz e ganho unitário. Para implementação e análise de comportamento do sistema de controle e supervisão concebidos, foi necessário realizar a adaptação de cargas dinâmicas nas duas portas do conversor, para que fosse possível simular tanto a descarga, quanto a recarga da bateria. O circuito de simulação em questão é apresentado na figura 4.

Figura 4: Aplicação do sistema de controle e supervisão.



Fonte: Próprio autor.

A primeira análise é feita com base na figura 5, na qual são mostradas a tensão Vout e corrente no indutor IL para o carregamento das baterias. É possível observar os três estágios do método IUU e, também, verificar a corrente regulada no valor de projeto, ou seja, 10A. Nos demais estágios ocorre a regulação da tensão em 57,6V e 55,2V, respectivamente. Para testar a mudança de fluxo de potência do conversor, a fonte que está alimentando o lado de alta tensão é desligada aos 6 segundos, conforme Figura 6. Com isso, o sistema de supervisão muda de status e o conversor passa funcionar no modo boost, realizando o controle de corrente no indutor.

Figura 5: Formas de onda de tensão e corrente para o método de carga IUU.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6: Formas de onda de tensão Vout e corrente no indutor IL para a mudança de estado.



Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

A análise dos gráficos mostra que os controladores e o sistema de supervisão estão funcionando de forma correta e apresentando os resultados esperados. Os controladores estão mantendo tensão e corrente nos níveis desejados e o sistema de supervisão está aplicando o método de carga.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UNILAB que através da PROPPG viabilizou a execução deste projeto.

REFERÊNCIAS

COSTA, Gilmar Nunes dos Santos. CONVERSOR CC-CC TRIFÁSICO ISOLADO BIDIRECIONAL ALIMENTADO

EM CORRENTE COM COMUTAÇÃO SUAVE. 2018. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Acarape, 2018.

OLIVEIRA FILHO, H. M. Conversor estático de três estágios para carregamento de baterias a partir de sistemas eólicos. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 129. 2010.

K. Ogata. Engenharia de Controle Moderno. 4° edição, Prentice Hall, São Paulo, 2003. R. W. Erickson. Fundamentals of Power Electronics. 2º edição, Chapman & Hall, New York, USA, 1997.

I. Barbi. Eletrônica de Potência. 6ª edição, Florianópolis, 2006.