

CONVERSORES MULTICELULARES DE ALTA BANDA PASSANTE PARA INTEGRAÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Geraldo A. C. Neto¹ (IC), Clodualdo V. Sousa (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira

Palavras-chave: Microrredes híbridas, Controle droop, PLECS.

Introdução

Sabe-se que, devido à alta dependência do sistema energético brasileiro em fontes hidráulicas, o país enfrenta desafios para atender à demanda em períodos de escassez hídrica. Para diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de fontes intermitentes, como a solar e a eólica, surgem as topologias de gerenciamento de consumo e geração de energia, denominadas de microrredes, que proporcionam maior flexibilidade e confiabilidade ao sistema elétrico. Essas redes são capazes de operar tanto conectadas ao sistema elétrico interligado quanto de forma isolada, garantindo a continuidade do fornecimento de energia em casos de falhas na rede principal.

Nos dias atuais, com a crescente eletrificação em diversas aplicações, a demanda por maior eficiência energética e a expansão das fontes de geração de energias renováveis, os conversores de energia assumem um papel fundamental para sustentar os sistemas elétricos modernos. Com isso, é perceptível o desenvolvimento da eletrônica de potência com a crescente demanda por elementos tecnológicos de conforto e bem-estar para a população em geral. Em seu livro “Eletrônica de Potência”, (AHMED, 2000) ressalta que a eletrônica de potência progrediu com rapidez nos últimos anos com o desenvolvimento dos dispositivos semicondutores de potência que chaveiam em alta potência, formando os conversores.

As microrredes híbridas combinam barramentos de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC) para integrar diferentes tipos de fontes de energia e cargas. O barramento de corrente alternada é comumente utilizado para conectar fontes convencionais de geração, como turbinas eólicas e geradores a diesel, e se adapta facilmente à rede elétrica tradicional. Por outro lado, o barramento de corrente contínua é adequado para fontes renováveis como a solar fotovoltaica, sistemas de armazenamento em baterias e veículos elétricos, uma vez que essas tecnologias operam naturalmente em CC. A integração de ambos os barramentos em uma única microrrede permite maior flexibilidade no gerenciamento de energia, otimizando a

eficiência e a confiabilidade do sistema.

Nesse contexto, o uso de controles avançados é essencial para gerenciar o fluxo de potência e manter a estabilidade da microrrede. Uma das estratégias utilizadas é o controle droop, que permite a distribuição de carga entre os geradores conectados à microrrede de maneira descentralizada, sem a necessidade de uma comunicação direta entre eles. Essa técnica assegura o compartilhamento de potência ativa e reativa entre as diferentes fontes de energia, ajustando a frequência e a tensão da rede de acordo com as variações na demanda. Além disso, o controle droop contribui para o balanceamento da carga, tornando o sistema mais eficiente e resiliente.

Dessa forma, este estudo tem o objetivo de apresentar a implementação do controle droop em uma microrrede híbrida instalada no Laboratório de Geração de Energia da UNIFEI. O sistema foi modelado e simulado no PLECS e, posteriormente, implementado fisicamente utilizando DSPs. A introdução do controle droop visa otimizar o desempenho da microrrede, permitindo a integração eficiente de diversas fontes de energia, bem como a operação em regime isolado e conectado à rede.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho envolveu duas etapas principais: a simulação e a implementação experimental de uma microrrede híbrida, com foco na aplicação do controle droop. A primeira fase consistiu no desenvolvimento do modelo da microrrede utilizando o software PLECS, que permitiu a análise e simulação do comportamento dinâmico do sistema sob diferentes condições operacionais, como variações de carga e transição entre os modos isolado e conectado à rede elétrica.

A Figura 1 apresenta a topologia do conversor utilizado na simulação, onde foram modelados os componentes da microrrede, incluindo os barramentos CA e CC, os conversores bidirecionais de interface e os conversores buck-boost, que regulam a tensão no

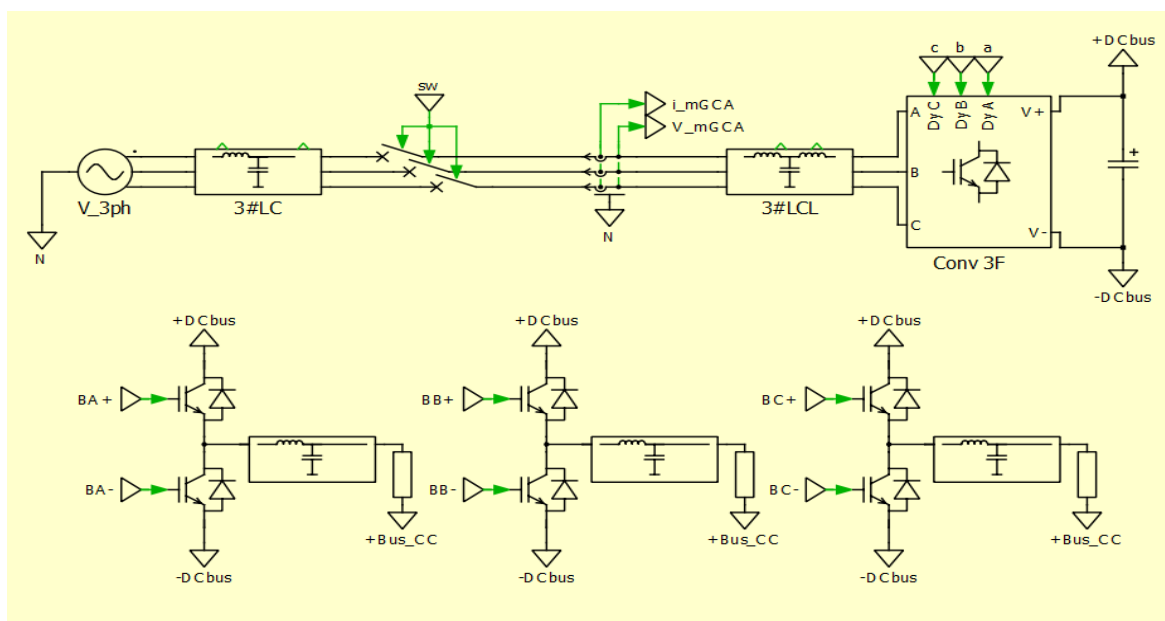


Figura 1 – Topologia do conversor utilizado.

barramento CC. O controle droop foi implementado no modelo para gerenciar o fluxo de potência, ajustando automaticamente as variáveis de tensão e frequência em função da demanda de potência ativa e reativa.

A segunda fase envolveu a implementação prática do sistema no laboratório. Utilizando um DSP (Digital Signal Processor) para controle em tempo real, o sistema foi montado em bancada com conversores de potência baseados em IGBTs, indutores de filtros e sensores para medição de corrente e tensão. O DSP foi responsável por processar os sinais adquiridos, executar o código de controle, e comandar as ações nos conversores, garantindo que o sistema operasse conforme a lógica do controle droop. A implementação física do sistema está realizada na bancada da Figura 2, e encontra-se em fase de comissionamento.

Ao longo do processo, foram realizados testes experimentais para validar o comportamento da microrrede e o desempenho do controle droop. Os dados obtidos permitiram observar a estabilidade do sistema durante variações de carga e a capacidade da microrrede de operar de forma eficiente tanto em modo isolado quanto conectado à rede.

Resultados e discussão

Após a modelagem e elaboração do controle, por meio de programação em linguagem C, foi simulado o sistema e obtido os resultados que constam nesta seção por meio de gráficos. Em primeira análise é apresentado a resposta do barramento CA durante um evento de

isolamento da microrrede, em seguida é apresentada a resposta do barramento CC para o mesmo caso.

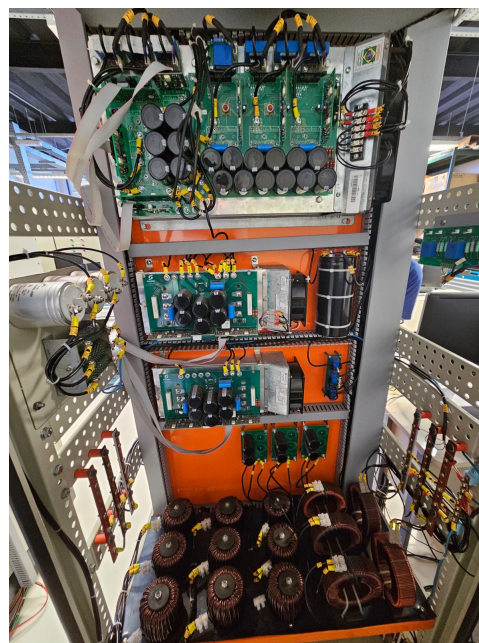


Figura 2 – Bancada com a microrrede implementada.

A Figura 3 apresenta o momento em que a SRFPLL (*Synchronous Reference Frame Phase locked loop*) do controle sincroniza com a rede, conseguindo atracar com a referência de controle em cerca de 2 ciclos de rede após o início do seu funcionamento, uma etapa importante para garantir confiabilidade do controle

desenvolvido e embarcado no sistema.

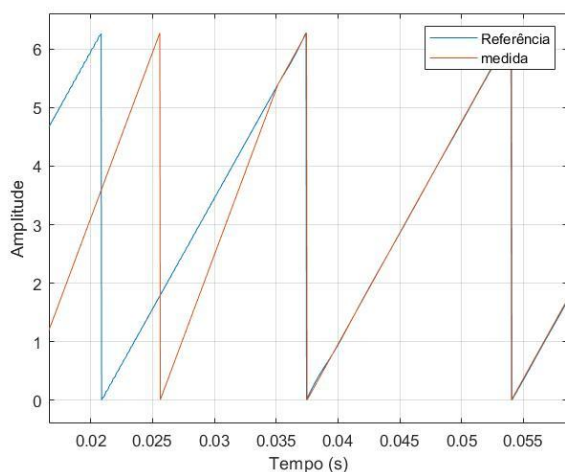


Figura 3 – Sincronização da PLL.

Na Figura 4, pode se observar o momento em que a microrrede se isola da rede de alimentação da concessionária e utiliza apenas de suas fontes de geradoras de energia, ou armazenada em baterias internas a microrrede. A corrente sofre uma oscilação, característica da atuação e atualizações do controle durante o transitório causado, porém, rapidamente estabiliza para continuar atendendo as cargas conectadas aos seus barramentos, de forma rápida suficiente para manter sem prejuízos de faltas, como o da rede principal em cargas comuns da microrrede.

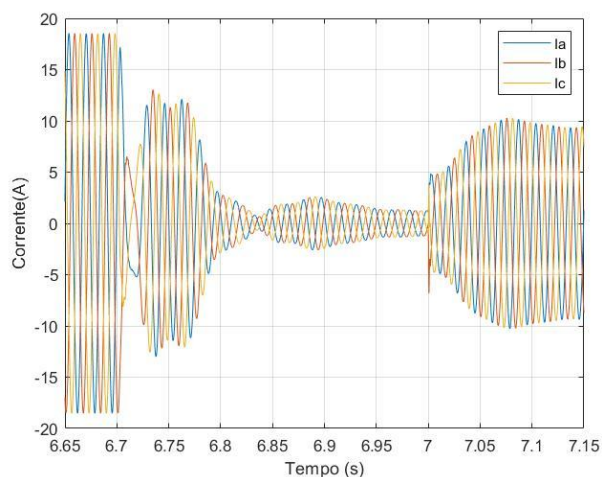


Figura 4 – Corrente do barramento CA isolando da rede.

A Figura 5, bem como a anterior, apresenta o instante em que a microrrede é isolada da rede, porém desta vez é apresentado o comportamento da tensão frente a troca de fonte supridora de potência. Observa-se que a tensão sofre um pequeno aumento durante o

período do trânsito da corrente já apresentado, de forma a tentar compensar a queda de corrente mantendo a potência, porém em nenhum instante houve queda da tensão durante a manobra.

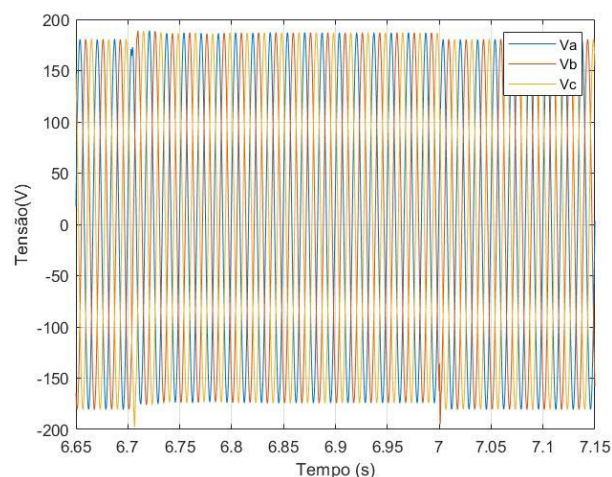


Figura 5 – Tensão do barramento CA isolando da rede.

A Figura 6 apresenta a tensão também durante o isolamento da microrrede e da rede da concessionária, porém no barramento CC do sistema. Diferente do barramento CA, que não apresentou transitórios, a tensão CC apresenta um transitório mais lento até a estabilização do seu valor nominal inicial.

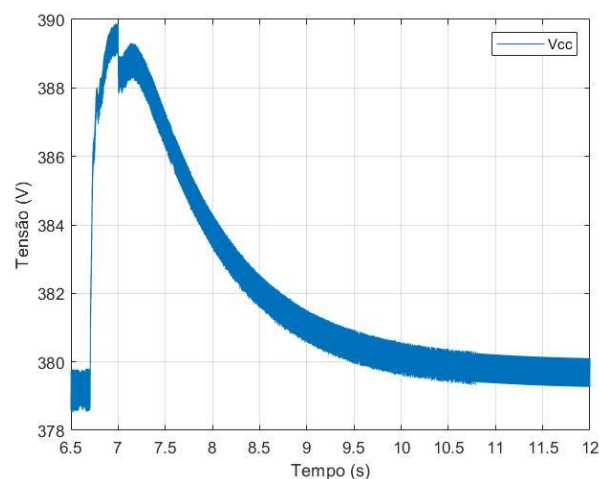


Figura 6 – Tensão do barramento CC isolando da rede.

Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma microrrede híbrida com barramentos CC e CA, destacando as topologias de conversores utilizadas e a implementação do controle droop para o compartilhamento descentralizado de carga. A

simulação foi realizada no software PLECS, e os resultados mostraram que o controle droop contribui significativamente para a estabilidade e flexibilidade do sistema, facilitando a integração de múltiplas fontes de energia e o gerenciamento eficiente da potência. Embora os testes experimentais ainda estejam em andamento, os resultados indicam que há potencial para futuras otimizações com técnicas avançadas de controle.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador Clodualdo Venício de Sousa, ao Waner Wodson Aparecido Gonçalves Silva e Jhonathan Peowany Silveira por toda orientação e apoio. Agradeço também a UNIFEI e ao CNPq por todo apoio financeiro concedido para a realização desta pesquisa.

Referências

A. Chatterjee, S. Khatua and A. Panda, "Solar PV based Hybrid AC/DC Microgrid Design and Transient Analysis for a University Campus," 2023 IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON), Silchar, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/SILCON59133.2023.10404823.

AHMED, A. Eletrônica de Potência. 1. ed. [s.l.]: Pearson, 2000. ISBN 978-8587918031.

ALMADA, Janaina Barbosa; ALMEIDA, Rosana Guimarães; LEÃO, Ruth Pastora Saraiva; RIBEIRO, José Cleison Cassiano; SAMPAIO, Raimundo Furtado. Controle por inclinação aplicado a microrrede com geração renovável PV e eólica. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2019. Universidade Federal do Ceará, 2019.

GHARTEMA, Masoud Karimi. "Synchronous Reference Frame PLL, " in Enhanced Phase-Locked Loop Structures for Power and Energy Applications , IEEE, 2014, pp.133-145, doi: 10.1002/9781118795187.ch6.

S. Babu, R. Agrawal, A. Kumar and R. Mishra, "Power Management Controller for Renewable Energy based hybrid AC-DC Microgrid," 2023 3rd International Conference on Energy, Power and Electrical Engineering (EPEE), Wuhan, China, 2023, pp. 164-167, doi: 10.1109/EPEE59859.2023.10351886.

SILVA, W. W. A. G. Desenvolvimento de métodos para controle distribuído em nanorredes c.c.: compartilhamento de potência e restauração de tensão. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/34501>.

SILVA, W. W. A. G. Estudo e implementação de um conversor bidirecional como interface na regulação de tensão em barramento c.c. e carregamento de baterias em um sistema nanorrede. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9E5HD6>.

W. Dong, X. Zhang, G. Yao, J. Lei and Z. Liu, "Optimized operation method for AC-DC hybrid microgrid considering Dynamic efficiency and Maximum absorption power of battery," 2022 International Conference on Informatics, Networking and Computing (ICINC), Nanjing, China, 2022, pp. 101-105, doi: 10.1109/ICINC58035.2022.00028.