

EEL 510460 - Tópicos Especiais em Sistemas de Energia Elétrica II: Controle de Frequência em Microrredes de Corrente Alternada com Fontes Renováveis e Armazenamento de Energia

1. Dados da Disciplina

- Ministrante: Prof. Antonio Simões Costa
- Número de Créditos: 02
- Página na Internet: <http://www.labspot.ufsc.br/~simoies/contrMR/index.html>
- Pré-requisitos:
 - EEL 510249 - Sistemas Elétricos de Potência I
 - EEL 510252 - Sistemas Elétricos de Potência II
 - EEL 510248 - Teoria de Sistemas Lineares

2. Programa

1. **Introdução:** Microrredes de corrente alternada: definição, estrutura, modos de operação; componentes controláveis: fontes convencionais, fontes renováveis, sistemas armazenadores de energia, cargas; estratégias de controle: controle hierárquico, controle em modo interligado e em modo isolado.
2. **Controle de frequência de geração convencional:** modelo de máquinas síncronas para controle de frequência; modelos de turbina e reguladores de velocidade de gerações térmica e hidráulica; controle primário de velocidade: estatismo (*droop*), efeito amortecedor da carga; controle secundário de frequência via ação integral.
3. **Geração Eólica:** tipos de turbinas eólicas: eixo vertical e eixo horizontal; configurações de aerogeradores; potência eólica, efeitos de variações na densidade do ar, elevação e atrito com superfície terrestre; eficiência do rotor: lei de Betz; velocidade específica (*tip speed ratio*); conversão eletromecânica: tipos de turbinas eólicas, DFIG e *full converter*; parques eólicos; controle da velocidade de aerogeradores.
4. **Geração Fotovoltaica:** radiação solar; insolação e seus componentes; intermitência fotovoltaica; modelos de circuito equivalente para células FV; rastreamento do ponto de máxima eficiência (MPPT); módulos e arranjos de células fotovoltaicas.

5. **Sistemas de armazenamento de energia por baterias:** princípios físico-químicos de armazenamento de energia em baterias; principais tipos de baterias; baterias de íons de lítio; modelagem via circuitos equivalentes, modelo para estudos de controle de frequência; estado de carga (*state of charge, SoC*); *curvas de carga e descarga*; relação entre SoC e potência da bateria.
6. **Interfaces de Eletrônica de Potência para conexão de fontes de energia não convencionais:** inversores do tipo fontes de tensão (VSI); estrutura típica de um VSI, filtros de saída; modelos de um VSI; controladores de VSI
7. **Estratégias de controle de frequência em microrredes:** controles hierárquico, local e secundário; controle via estatismos (*droop control*); controle via impedância virtual; gestão de potência em microrredes; introdução à emulação de inércia.

3. Avaliação de Desempenho

O conceito final na disciplina será baseado nos resultados de trabalhos computacionais e de avaliação da literatura pertinente.

4. Bibliografia

1. Bevrani, Hassan; François, Bruno; ISE, Toshifumi. Microgrid dynamics and control. John Wiley & Sons, 2017.
2. Masters, Gilbert M. Renewable and efficient electric power systems. John Wiley & Sons, 2013.
3. Vittal, V., and R. Ayyanar. "Grid integration and dynamic impact of wind energy", Kluwer international series in engineering and computer science: Power electronics & power systems (2012).
4. Chowdhury, S., Chowdhury, S. P., & Crossley, P. (2009). Microgrids and Active Distribution. IET, London, UK.
5. Gil, Nuno José. Identificação de Condições de Operação em Modo Isolado e Procedimentos de Controlo de Emergência para Multi-Micro Redes. Diss. Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
6. Vicentim, César. "Análise estática de microrredes: modelagem de sistemas armazenadores de energia e monitoração em tempo real via estimação de estados", Dissertação de Mestrado, PPGEEL UFSC, 2015.
7. Lu, Chun-Feng; Liu, Chun-Chang; Wu, Chi-Jui. Effect of battery energy storage system on load frequency control considering governor deadband and generation rate constraint. IEEE Transactions on Energy Conversion, v. 10, n. 3, p. 555-561, 1995.
8. Aditya, S. K.; Das, D. Application of battery energy storage system to load frequency control of an isolated power system. International journal of energy research, v. 23, n. 3, p. 247-258, 1999.

9. Mégel, Olivier, Johanna L. Mathieu, and Göran Andersson. "Maximizing the potential of energy storage to provide fast frequency control." IEEE PES ISGT Europe 2013. IEEE, 2013.
10. Nau, Mariana, "Análise quantitativa dos benefícios de sistemas de armazenamento de energia em baterias para o controle de frequência em microrredes de corrente alternada", Dissertação de Mestrado, PPGEEL UFSC, 2017.
11. Mercier, Pascal; Cherkaoui, Rachid; Oudalov, Alexandre. Optimizing a battery energy storage system for frequency control application in an isolated power system. IEEE Transactions on Power Systems, v. 24, n. 3, p. 1469-1477, 2009.
12. Bevrani, Hassan, and J. Raisch. "On virtual inertia application in power grid frequency control." Energy Procedia 141 (2017): 681-688.