

EEL 510460 - Tópicos Especiais em Sistemas de Energia Elétrica II:
Controle de Frequência em Microrredes de C.A. com
Fontes Renováveis e Armazenamento de Energia
– *Plano de Ensino* –

Prof. Antonio Simões Costa

UFSC - EEL - LABSPOT

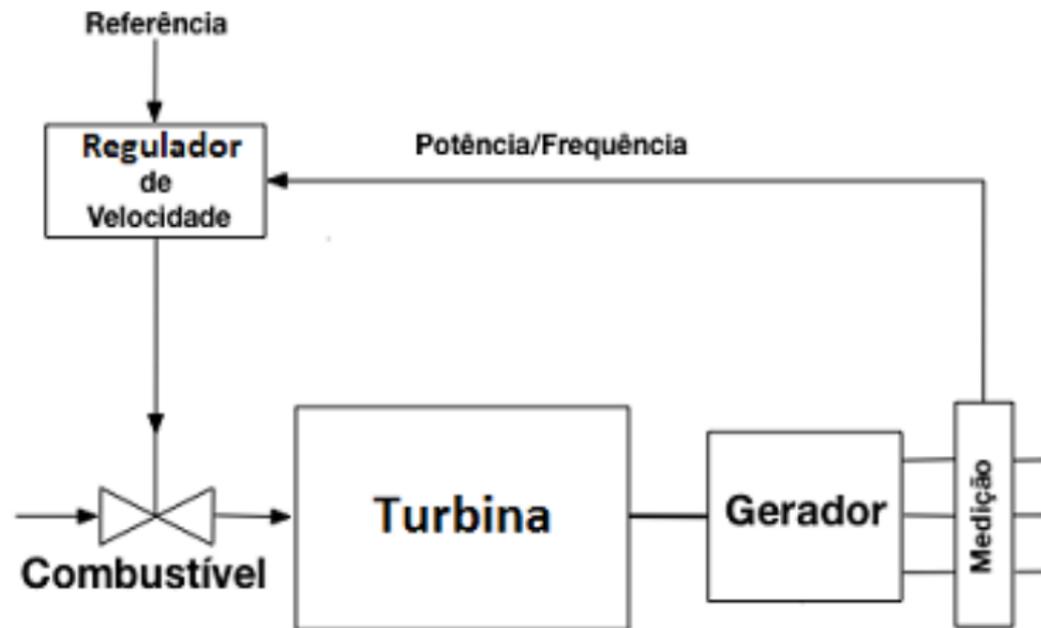
I. Introdução



I. Introdução

- Microrredes de corrente alternada: definição, estrutura, modos de operação;
- Componentes controláveis de microrredes: fontes convencionais, fontes renováveis, sistemas armazenadores de energia, cargas;
- Estratégias de controle: controle hierárquico, controle em modo interligado, controle em modo isolado;
- Controle de frequência de microrredes em modo isolado.

II. Controle de frequência de geração convencional



II. Controle de frequência de geração convencional

- Modelagem de máquinas síncronas para controle de frequência;
- Modelos de turbinas térmicas;
- Modelos de turbinas de pequenas centrais hidrelétricas;
- Reguladores de velocidade para unidades térmicas; estatismo permanente (*droop*); efeito amortecedor da carga;
- Reguladores de velocidade para unidades hidrelétricas; estatismo transitório;
- controle primário de velocidade de unidades térmicas e hidráulicas;
- Controle secundário de frequência via ação integral.

III. Geração Eólica



III. Geração Eólica

- Tipos de turbinas eólicas: eixo vertical e eixo horizontal, componentes de aerogeradores;
- Potência eólica primária, efeitos de variações na densidade do ar, elevação e atrito com superfície terrestre;
- Eficiência do rotor de aerogeradores: lei de Betz; velocidade específica (*"tip speed ratio"*);
- Conversão eletromecânica: tipos de turbinas eólicas: geradores de indução, DFIG e *full converter*;
- Parques eólicos; configuração de parques eólicos;
- Controle da velocidade de aerogeradores.

IV. Geração Fotovoltaica



IV. Geração Fotovoltaica

- Radiação solar; insolação e seus componentes; intermitência fotovoltaica;
- Visão geral de sistemas fotovoltaicos; células fotovoltaicas; perdas de potência em células fotovoltaicas; célula fotovoltaica vista como um diodo; curvas I-V;
- Modelos de circuito equivalente para células fotovoltaicas; fator de enchimento e eficiência das células; módulos e arranjos de células fotovoltaicas;
- Impacto de sombreamento sobre a tensão de saída; diodos de *bypass* para mitigar efeitos de sombreamento;
- Rastreamento do ponto de máxima eficiência (MPPT).

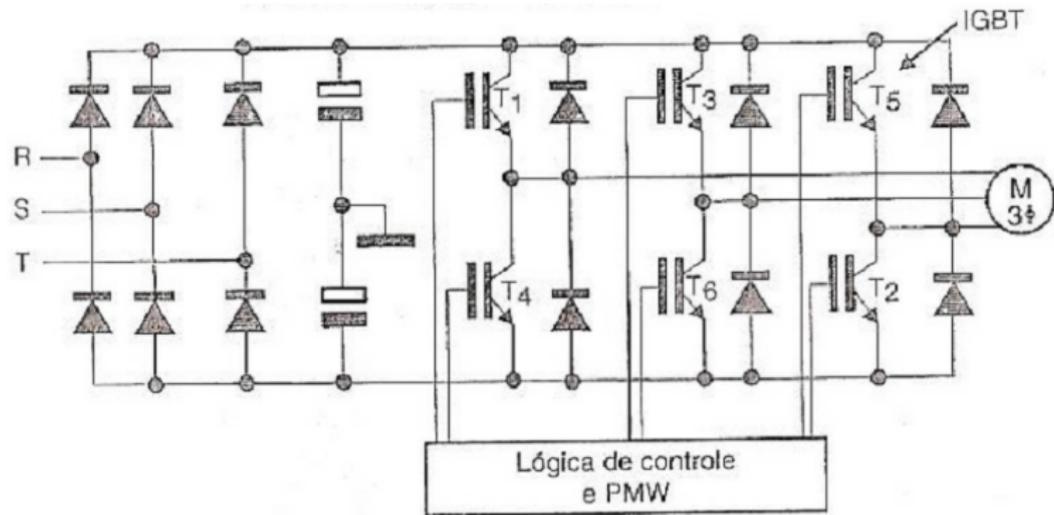
V. Sistemas de armazenamento de energia em baterias



V. Sistemas de armazenamento de energia em baterias

- Princípios físico-químicos do 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;
- Modelos matemáticos relacionando SoC e potências de carregamento e descarga da bateria;
- Aplicações ao controle de frequência em microrredes.

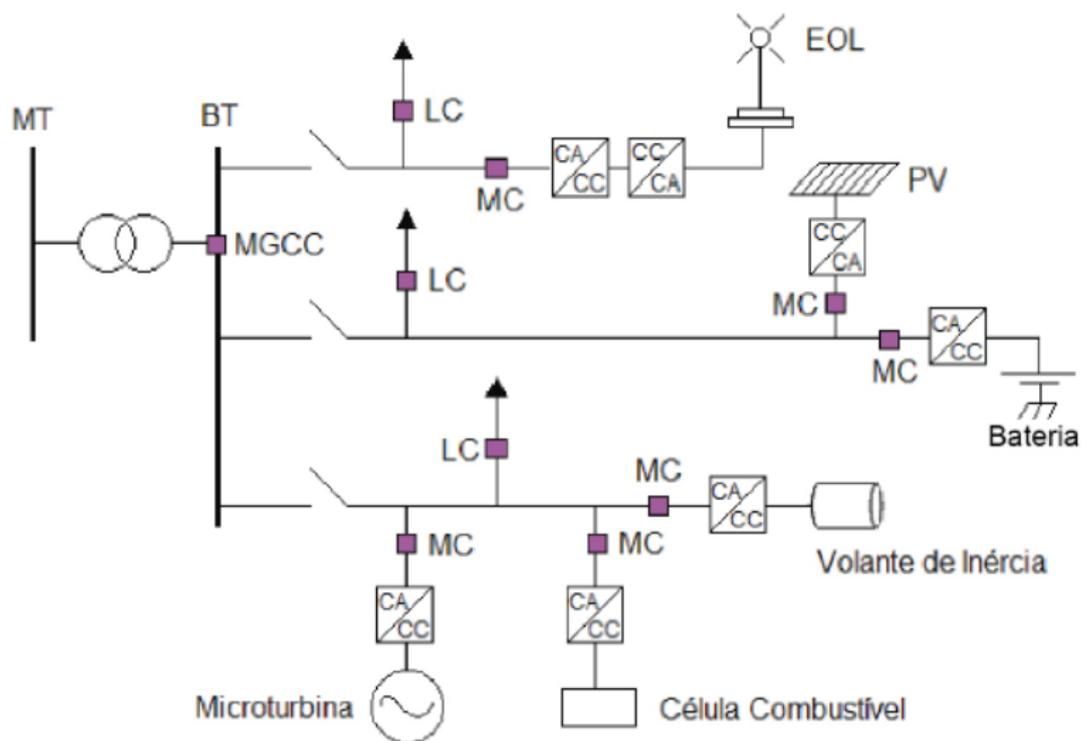
VI. Interfaces de Eletrônica de Potência para conexão de fontes de energia não-convencionais



VI. Interfaces de Eletrônica de Potência para conexão de fontes de energia não-convencionais

- Inversores do tipo fontes de tensão (VSIs): topologia típica, filtros de saída;
- Modelo médio da função de comutação de inversores; modelagem dinâmica de inversor conectado à rede via filtro LCL;
- Representação do modelo linearizado no espaço de estados para estudos de controle;
- Controle de inversores: controle de potência, tensão e corrente.

VII. Estratégias de controle de frequência em microrredes



VII. Estratégias de controle de frequência em microrredes

- Controles hierárquico, local e secundário;
- Controle via estatismo (*droop control*);
- Controle via impedância virtual;
- Gestão de potência em microrredes; introdução à emulação de inércia.

Bibliografia e Referências (I)

- Página na Internet:
<http://www.labspot.ufsc.br/simoes/contrMR/index.html>
- Bevrani, Hassan; François, Bruno; ISE, Toshifumi. Microgrid dynamics and control. John Wiley & Sons, 2017.
- Masters, Gilbert M. Renewable and efficient electric power systems. John Wiley & Sons, 2013.
- Vittal, V., and R. Ayyanar. "Grid integration and dynamic impact of wind energy", Kluwer, 2012.
- Chowdhury, S., Chowdhury, S. P., & Crossley, P. (2009). Microgrids and Active Distribution. IET, London, UK.
- Gil, Nuno. Identificação de Condições de Operação em Modo Isolado e Procedimentos de Controlo de Emergência para Multi-Micro Redes. Tese Dout., Univ. do Porto, 2009.

Bibliografia e Referências (II)

- Vicentim, César. Análise estática de microrredes: modelagem de sistemas armazenadores de energia e monitoração em tempo real via estimação de estados, Dissert. Mestr., PPGEEL UFSC, 2015.
- 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 Trans. on Energy Conv., v. 10, n. 3, p. 555-561, 1995.
- 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.

Bibliografia e Referências (III)

- 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.
- Nau, Mariana. Análise quantitativa dos benefícios de sistemas de armazenamento de energia em baterias para o controle de frequência em microrredes de corrente alternada, Diss. Mestr., PPGEEL UFSC, 2017.
- Bevrani, Hassan, and J. Raisch. On virtual inertia application in power grid frequency control. Energy Procedia 141 (2017): 681-688.