

Controle Ótimo de Geradores Síncronos Virtuais para Melhoria da Estabilidade Transitória em Sistemas Elétricos de Potência com Alta Penetração de Geração Eólica

Douglas de Matos Magnus, Eng.

Mestrando em Energia e Sustentabilidade | NTEEL

Luciano Lopes Pfitscher, Dr.

Orientador | NTEEL

César Cataldo Scharlau, Dr.

Coorientador | NTEEL

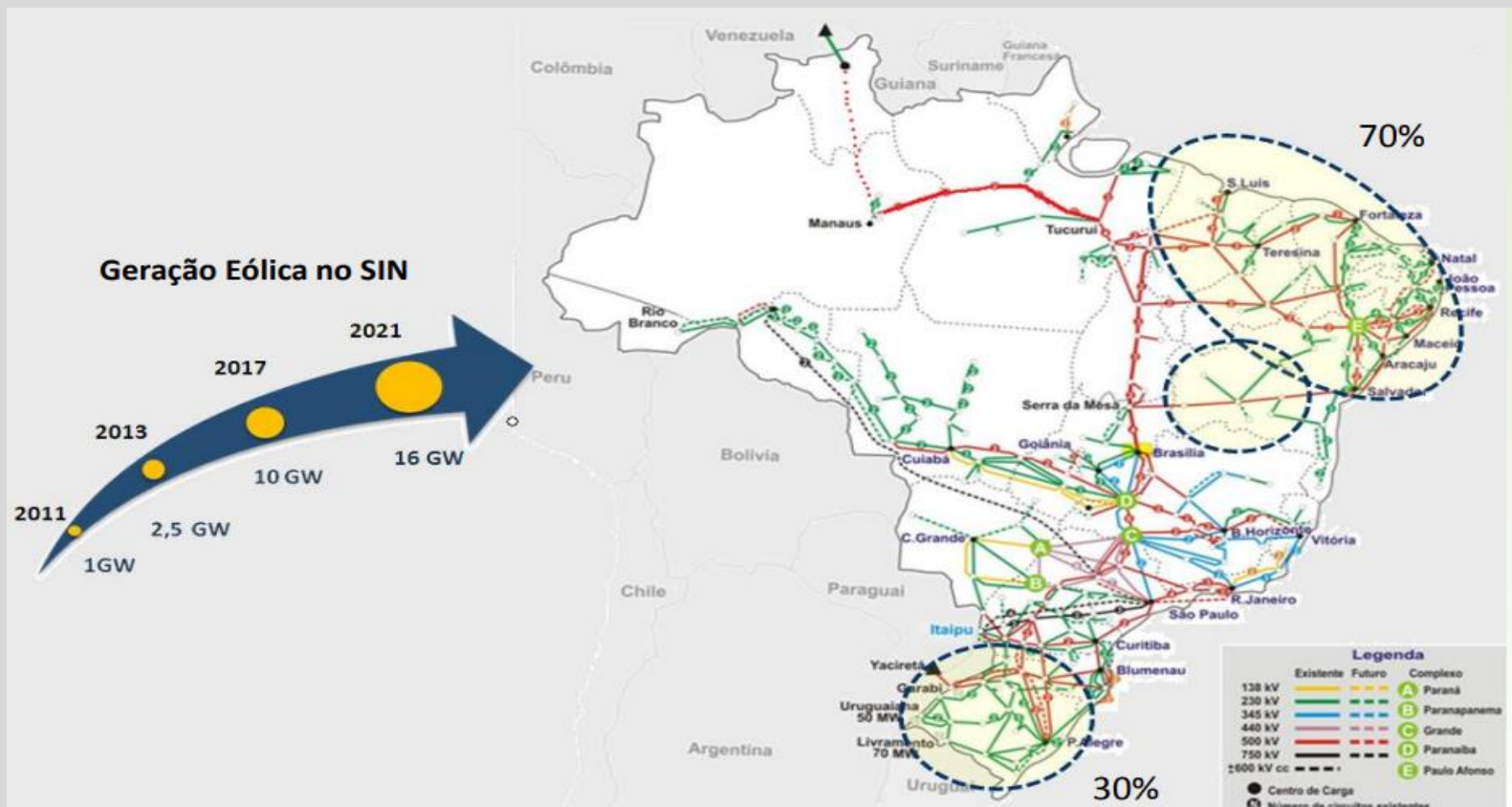


UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Sumário

- ▶ Contextualização
- ▶ Problema de Pesquisa
- ▶ Hipótese
- ▶ Objetivos
- ▶ Metodologia Proposta
- ▶ Resultados e Contribuições Previstas
- ▶ Considerações Finais
- ▶ Referências

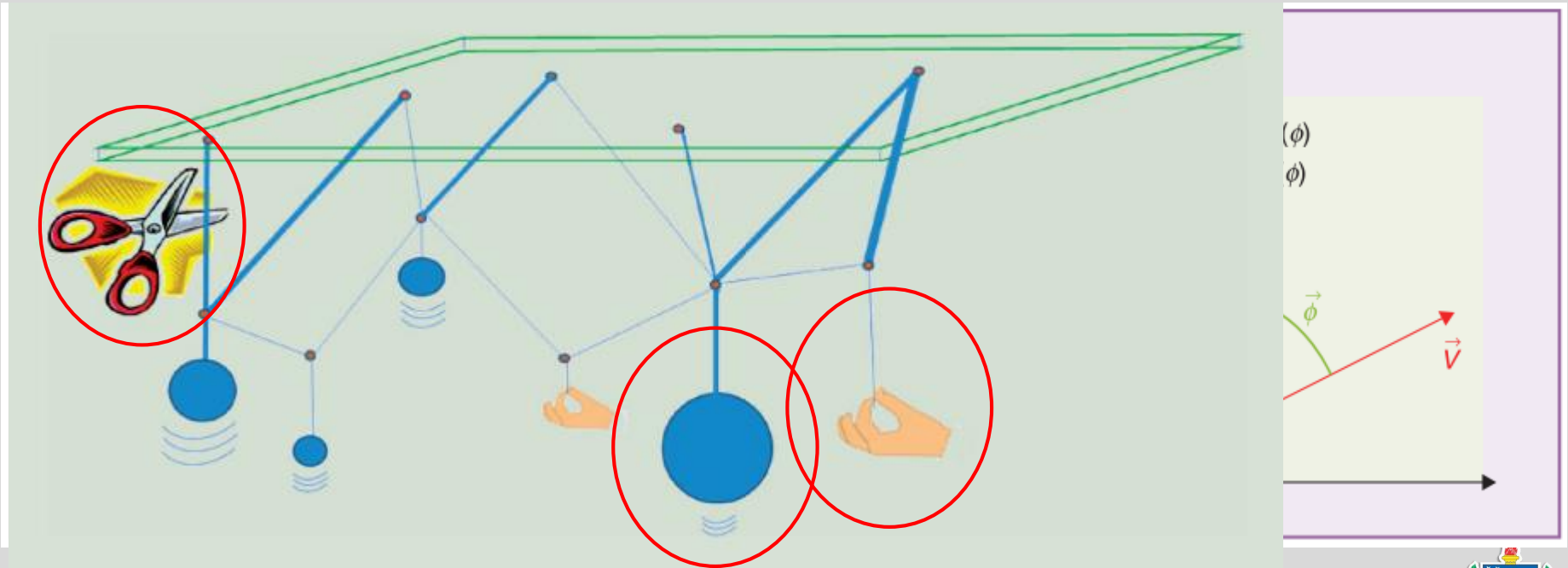
Contextualização



Contextualização

- ▶ Impactos nos Sistemas Elétricos de Potência (SEPs)
 - ▶ Operação
 - ▶ Variabilidade e incerteza da geração (KROPOSKI et al, 2017; ONS, 2017)
 - ▶ Comportamento frente a distúrbios e contingências
 - ▶ Particularidades dos geradores e controladores (ACKERMANN et al., 2017; WEISHENG et al., 2016)
 - ▶ Estabilidade transitória (MILLER, 2015)

Problema de Pesquisa



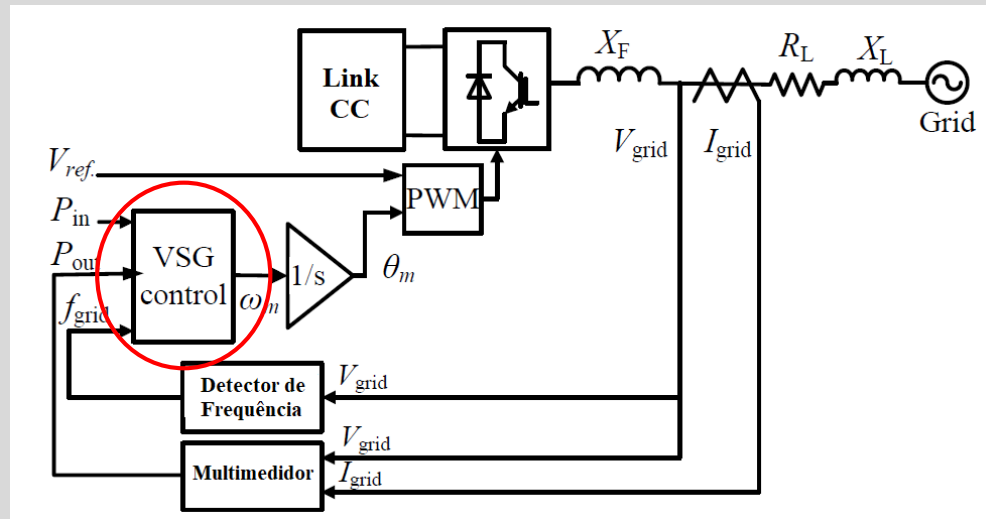
Fonte: Akin, 2018 *et al.*, 2017.

Problema de Pesquisa

- ▶ Desafios à operação do SIN (ONS, 2017)
 - ▶ Região Nordeste e Sul
 - ▶ Melhores incidências de ventos
 - ▶ Baixa inércia
- ▶ ONS, Submódulo 3.6, 01/01/2017
 - ▶ CGE > 10 MW
 - ▶ Inércia Sintética
 - ▶ 10% da potência nominal

Problema de Pesquisa

- ▶ Gerador Síncrono Virtual (VSG)
 - ▶ Controle do inversor
 - ▶ Imita o comportamento do SG
- ▶ Alipoor, Miura e Ise (2015)
 - ▶ Momento de Inércia variável
 - ▶ Rápida mitigação do transitório
- ▶ Alipoor, Miura e Ise (2018)
 - ▶ PSO em sistema multi-VSGs
 - ▶ Resposta mais suave, baixa robustez



Fonte: adaptado de Alipoor, Miura e Ise, 2015.

$$P_{out} = P_{in} - J\omega_m \frac{d\omega_m}{dt} - D\Delta\omega$$

Problema de Pesquisa

- ▶ Contexto da modelagem
 - ▶ Comportamento da tensão no link CC
 - ▶ Limites eletromecânicos de operação
 - ▶ Operação sem armazenamento de energia

Hipótese

- ▶ Mitigação da energia transitória x Suavização da resposta
- ▶ Método direto de Lyapunov
 - ▶ Função energética transitória do VSG
 - ▶ Função objetivo para otimização
- ▶ Parâmetros de otimização
 - ▶ Momento de Inércia (**J**)
 - ▶ Constante de Amortecimento (**D**)

$$V = E_k + E_p = \frac{1}{2} \omega_0 J \Delta \omega^2 - [P_{in} (\delta - \delta_1) + b(\cos \delta - \cos \delta_1)]$$

$$P_{out} = P_{in} - J \frac{d\omega_m}{dt} - D \Delta \omega$$

Objetivos

- ▶ Avaliar a repercussão da alta penetração de sistemas de conversão eólica na estabilidade transitória de sistemas elétricos de potência.
 - ▶ Implementar a modelagem dinâmica dos aerogeradores e de um sistema elétrico de potência teste em simulações.
 - ▶ Apurar os fatores críticos à estabilidade transitória nos pontos de conexão da fonte alternativa e nas barras adjacentes.
 - ▶ Propor e avaliar os impactos do método proposto para controle ótimo de VSGs na estabilidade transitória.

Metodologia

- ▶ Implementação
 - ▶ Toolbox Matlab *Simulink*TM
- ▶ Cenários
 - ▶ Modo PQ
 - ▶ Modo VSG
 - ▶ Modo VSG otimizado
 - ▶ Barra infinita
 - ▶ Multi-máquinas

Metodologia

- ▶ Análise
 - ▶ Variações de carga e geração
 - ▶ Simulação de faltas
 - ▶ Estabilidade transitória
 - ▶ No ponto de conexão da fonte alternativa
 - ▶ De forma global no SEP teste
 - ▶ Impacto das topologias de geração e controle
 - ▶ Validação da estratégia de controle ótimo proposta

Resultados e Contribuições Previstas

- ▶ Estudo comparativo
 - ▶ Topologias de **controle**
 - ▶ Topologias de **aerogeradores**
- ▶ Sistema considerando a **fonte geradora**
- ▶ **Nova técnica** de controle ótimo para VSGs

Cronograma da Pesquisa

1. Revisão da literatura acerca dos modelos dinâmicos de unidades eólicas e elementos dos SEPs.

2. Escolha dos softwares para implementação da modelagem.

3. Definição dos cenários a serem analisados.

4. Implementação da modelagem dinâmica em ambiente de simulação e parametrização dos sistemas sob estudo.

5. Simulação dos cenários definidos e coleta de dados referentes ao comportamento transitório no ponto de conexão das unidades eólicas.

| Atividades | 2018 | | | 2019 | | | 2020 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1º Tri. | 2º Tri. | 3º Tri. | 1º Tri. | 2º Tri. | 3º Tri. | 1º Tri. |
| 1 | x | x | | | x | | |
| 2 | | x | | | | | |
| 3 | | | x | | | | |
| 4 | | | x | x | x | | |
| 5 | | | x | x | x | | |
| 6 | | | | x | x | | |
| 7 | | | | x | x | | |
| 8 | x | x | x | x | x | x | x |
| 9 | | | | | | | x |

Cronograma da Pesquisa

6. Avaliação qualitativa-quantitativa das repercussões da penetração de unidades eólicas na estabilidade transitória do SEP teste.

7. Implementação das ações de melhoria e

análise dos impactos das mesmas no problema da estabilidade transitória.

8. Elaboração da dissertação e produção de artigos científicos.

9. Defesa de dissertação.

| Atividades | 2018 | | | 2019 | | | 2020 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1º Tri. | 2º Tri. | 3º Tri. | 1º Tri. | 2º Tri. | 3º Tri. | 1º Tri. |
| 1 | X | X | | | X | | |
| 2 | | X | | | | | |
| 3 | | | X | | | | |
| 4 | | | X | X | X | | |
| 5 | | | X | X | X | | |
| 6 | | | | X | X | | |
| 7 | | | | X | X | | |
| 8 | X | X | X | X | X | X | X |
| 9 | | | | | | | X |

Considerações Finais



Referências

- ▶ ACKERMANN, T. et al. Paving the Way: A Future Without Inertia Is Closer Than You Think. IEEE Power and Energy Magazine, v. 15, n. 6, p. 61-69, 2017.
- ▶ ALIPOOR, J.; MIURA, Y.; ISE, T. Power System Stabilization Using Virtual Synchronous Generator With Alternating Moment of Inertia. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, v. 03, n. 2, p. 451-458, 2015.
- ▶ ALIPOOR, J.; MIURA, Y.; ISE, T. Stability assessment and optimization methods for microgrid with multiple VSG units. IEEE Transactions on Smart Grid, v. 9, n. 2, p. 1462-1471, 2018.
- ▶ BEVRANI, H.; ISE, T.; MIURA, Y. Virtual synchronous generators: A survey and new perspectives. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, v. 54, p. 244-254, 2014.
- ▶ BLOOM, A. et al. It's Indisputable: Five Facts about Planning and Operating Modern Power Systems. IEEE Power and Energy Magazine, v. 15, n. 6, p. 22-30, 2017.
- ▶ CAO-KHANG, N.; HAK-MAN, K. Improving Transient Response of Power Converter in a Stand-Alone Microgrid Using Virtual Synchronous Generator. Energies, v. 11, n. 1, 2018.

Referências

- ▶ EPE. Balanço Energético Nacional 2017: Ano Base 2016, Relatório Síntese. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2017.
- ▶ HOSSAIN, M. et al. Overview of AC Microgrid Controls with Inverter-Interfaced Generations. *Energies*, v. 10, n. 9, p. 1300, 2017.
- ▶ IEA. Key World Energy Statistics. Paris: IEA, 2017.
- ▶ KROPOSKI, B. et al. Achieving a 100% Renewable Grid: Operating Electric Power Systems with Extremely High Levels of Variable Renewable Energy. *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 15, n. 2, p. 61-73, 2017.
- ▶ KUNDUR, P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill, 1994.
- ▶ MILLER, N. W. Keeping It Together: Transient Stability in a World of Wind and Solar Generation. *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 13, n. 6, p. 31-39, 2015.
- ▶ NOSRATABADI, S. M.; HOOSHMAND, R. A.; GHOLIPOUR, E. A comprehensive review on microgrid and virtual power plant concepts employed for distributed energy resources scheduling in power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 67, p. 341-363, 2017.

Referências

- ▶ ONS. Plano da Operação Energética 2017/2021 - PEN 2017. Rio de Janeiro: ONS, 2017.
- ▶ ROKROK, E.; SHAFIE-KHAH, M.; CATALÃO, J. P. S. Review of primary voltage and frequency control methods for inverter-based islanded microgrids with distributed generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 3225-3235, 2018.
- ▶ SEN, S.; KUMAR, V. Microgrid control : A comprehensive survey. *Annual Reviews in Control*, v. 45, p. 118-151, 2018.
- ▶ TIELENS, P.; VAN HERTEM, D. The relevance of inertia in power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 999-1009, 2016.
- ▶ WANG, Y. et al. Control of PMSG-Based Wind Turbines for System Inertial Response and Power Oscillation Damping. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 6, n. 2, p. 565-574, 2015.
- ▶ WEISHENG, W. et al. On the Road to Wind Power. *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 14, n. 6, p. 24-34, 2016.
- ▶ YAN, R. et al. The combined effects of high penetration of wind and PV on power system frequency response. *Applied Energy*, v. 145, p. 320-330, 2015.

Controle Ótimo de Geradores Síncronos Virtuais para Melhoria da Estabilidade Transitória em Sistemas Elétricos de Potência com Alta Penetração de Geração Eólica

Douglas de Matos Magnus, Eng.

Mestrando em Energia e Sustentabilidade | NTEEL

Luciano Lopes Pfitscher, Dr.

Orientador | NTEEL

César Cataldo Scharlau, Dr.

Coorientador | NTEEL

