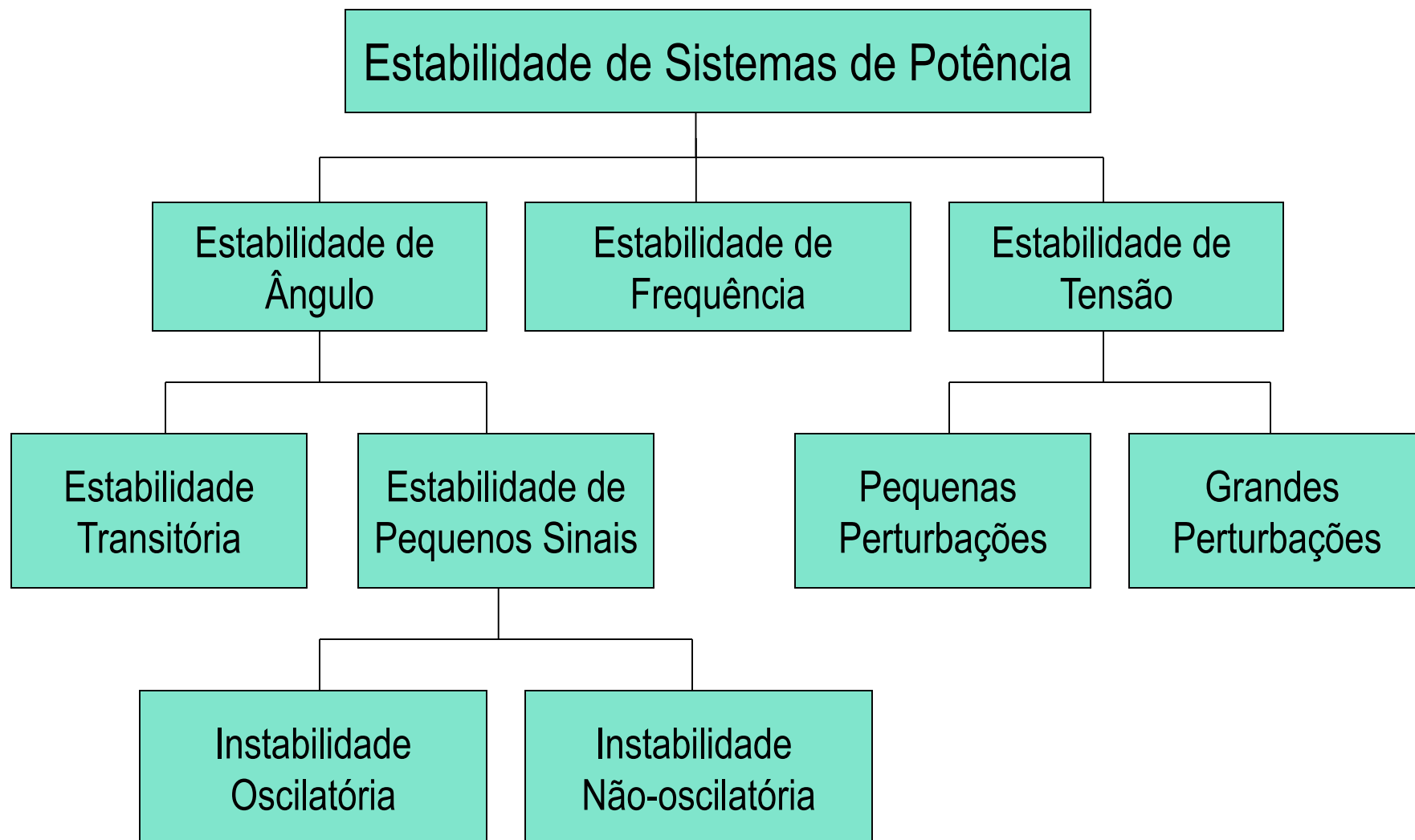


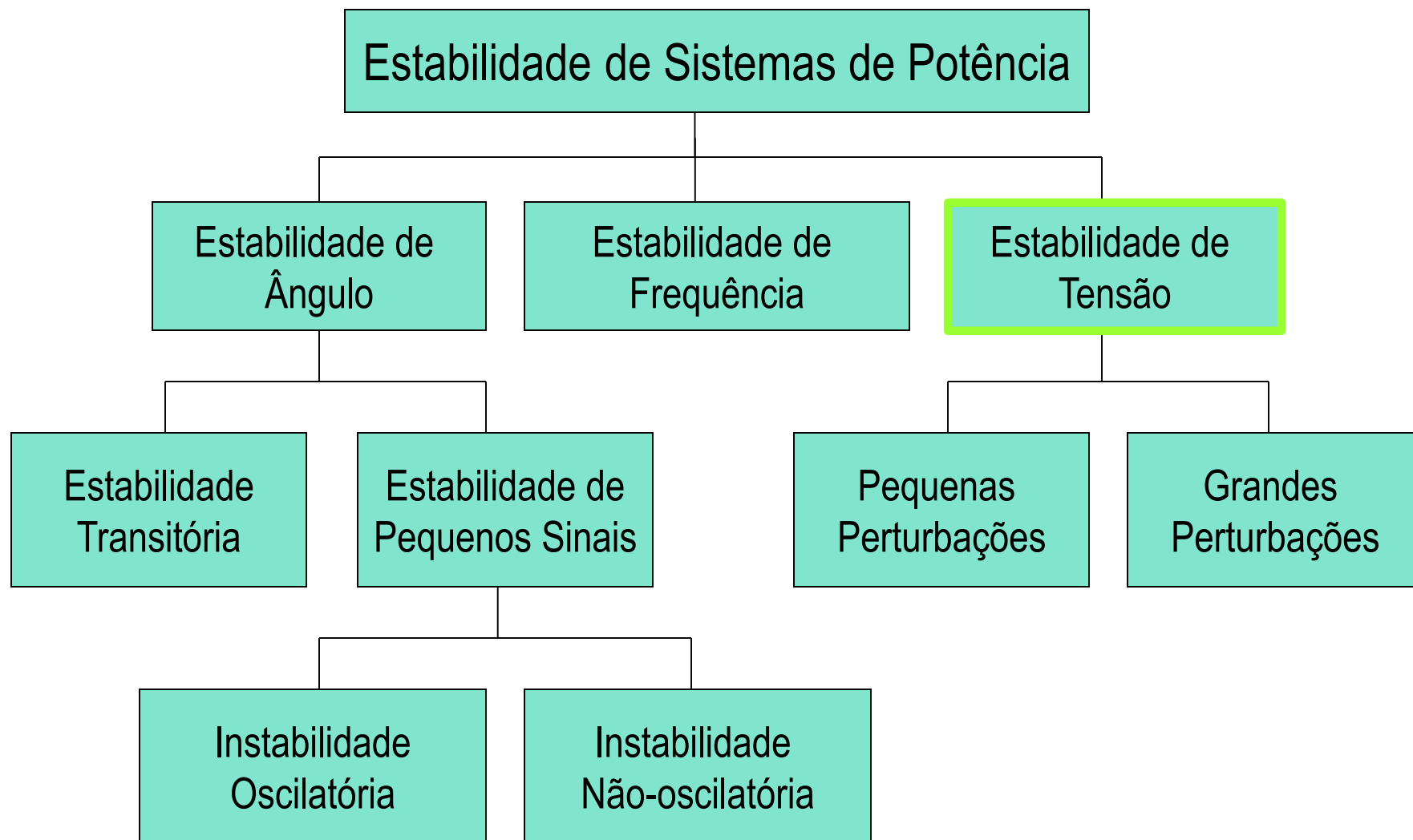
Estabilidade em Sistemas de Potência

Estabilidade de sistemas de potência



P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, G. Andersson, A. Bose, C. Canizares, N. Hatziargyriou, D. Hill, A. Stankovic, C. Taylor, T. Van Cutsem and V. Vittal, "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions," IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401, Aug. 2004.

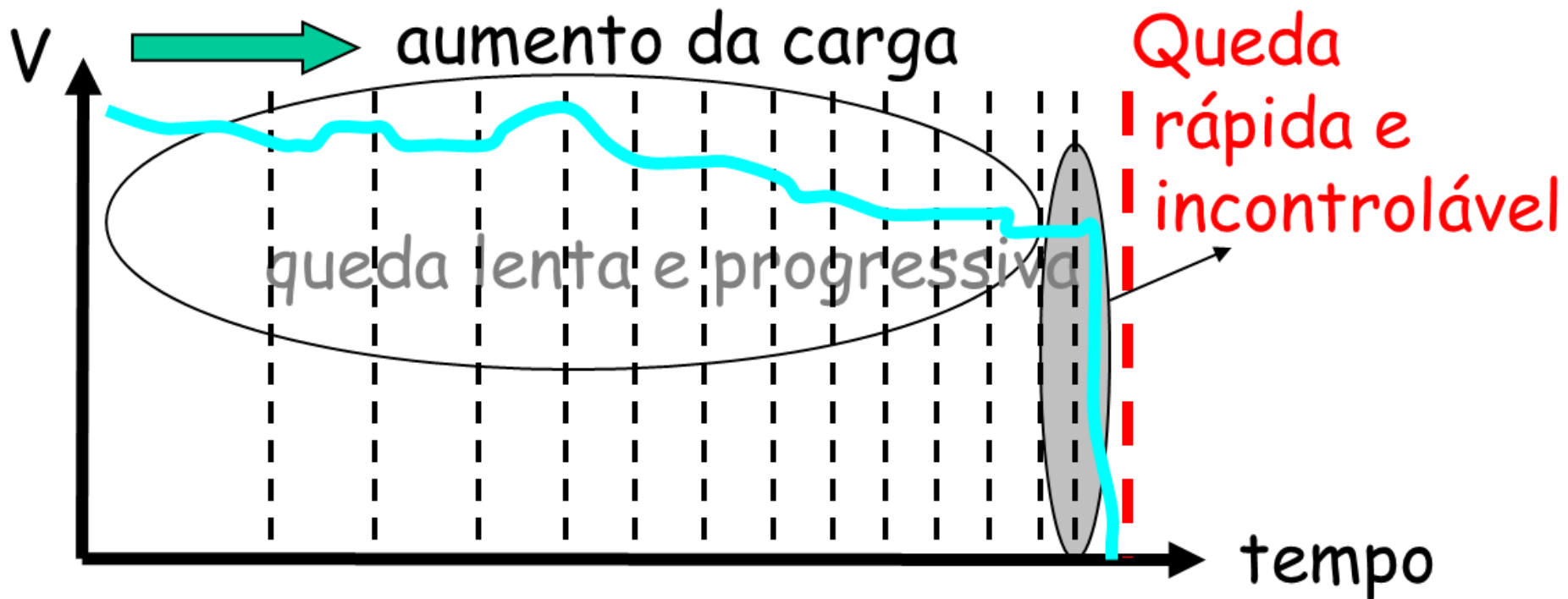
Estabilidade de sistemas de potência



P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, G. Andersson, A. Bose, C. Canizares, N. Hatziargyriou, D. Hill, A. Stankovic, C. Taylor, T. Van Cutsem and V. Vittal, "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions," IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401, Aug. 2004.

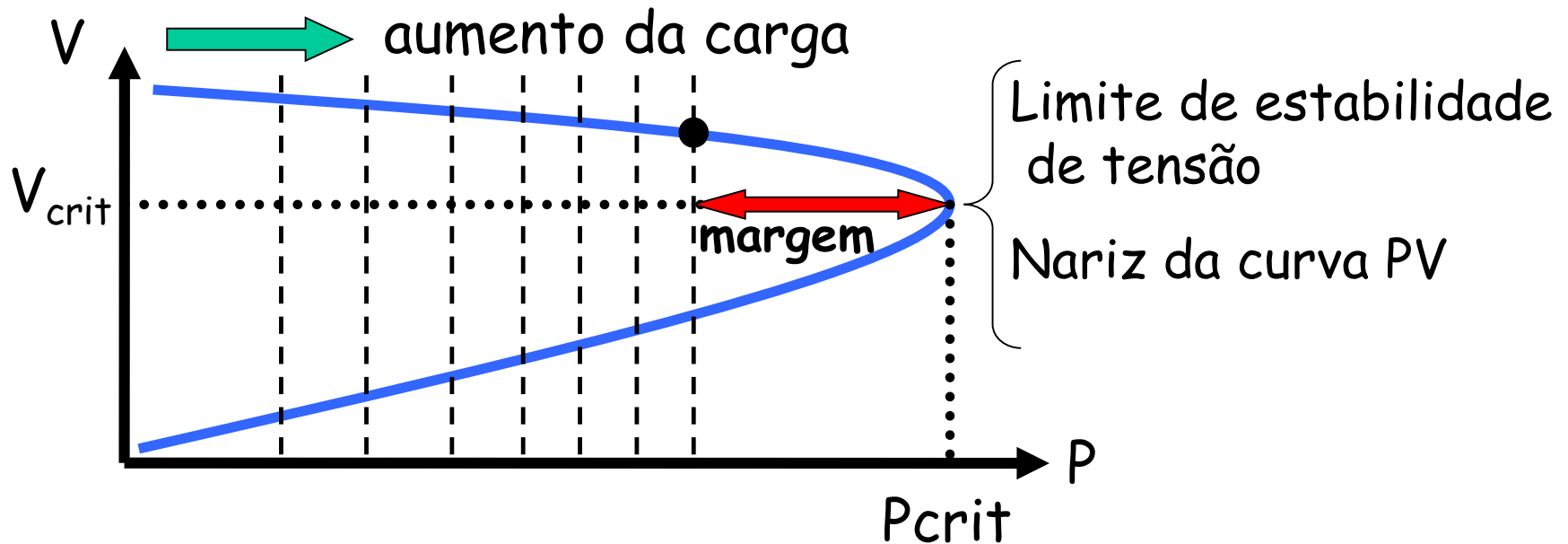
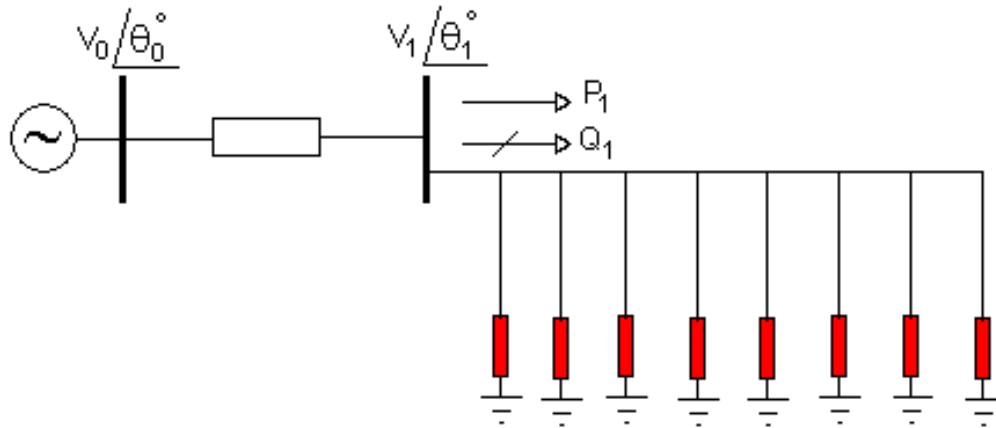
Estabilidade de tensão

- Um sistema entra em estado de instabilidade de tensão quando uma perturbação, seja aumento de carga ou alguma modificação na configuração do sistema, causa um progressivo e incontrolável declínio nas tensões;



Estabilidade de tensão: curvas PV

- As curvas PV fornecem uma medida da margem de estabilidade de tensão



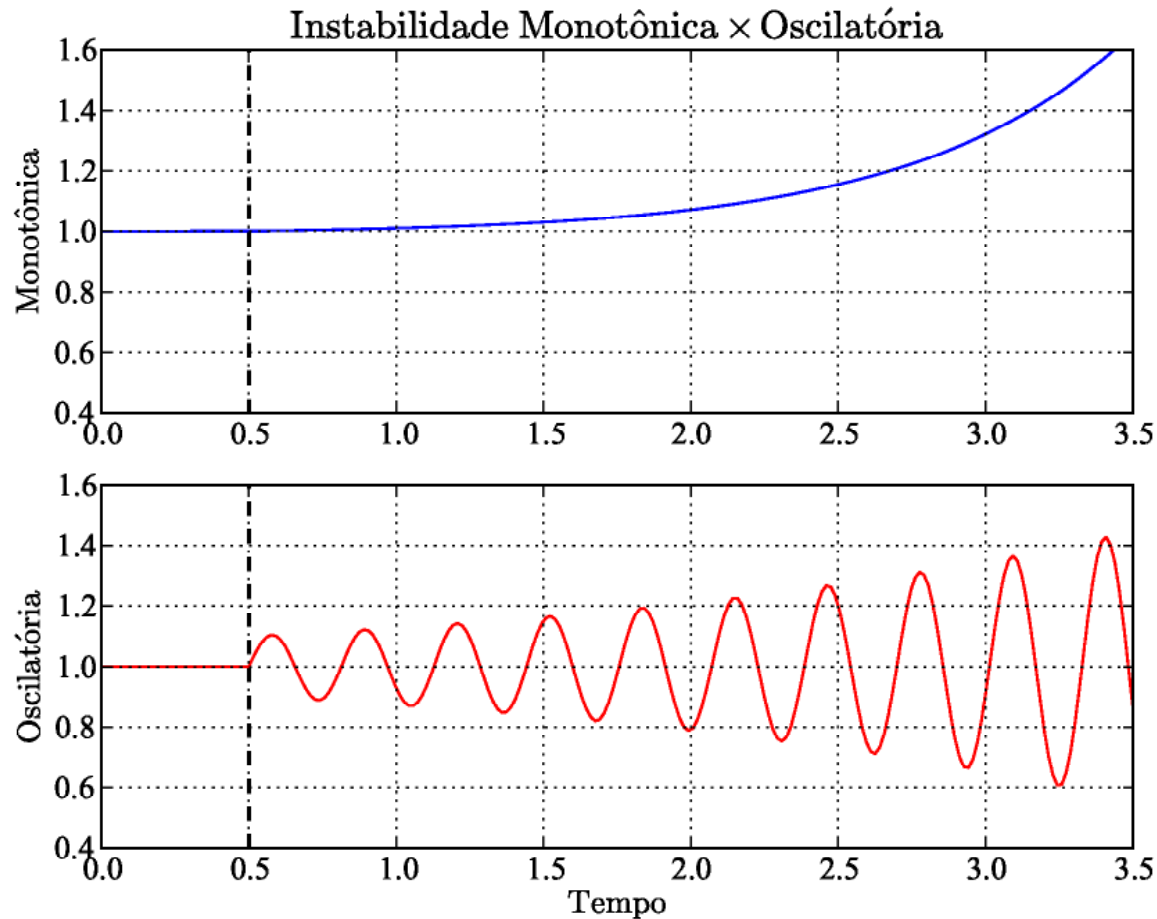
Estabilidade transitória

Estabilidade transitória refere-se a capacidade dos geradores continuarem operando adequadamente após a ocorrência de uma grande perturbação (curto-circuito, desligamento de linhas, perda de uma grande unidade de geração, etc).

No caso dos **geradores síncronos**, estabilidade transitória refere-se a capacidade dos geradores continuarem operando em sincronismo após uma grande perturbação (estabilidade de ângulo).

No caso dos **geradores de indução**, refere-se a capacidade dos geradores continuarem operando dentro da região de velocidade estável da curva de torque.

Estabilidade de ângulo frente a pequenas perturbações



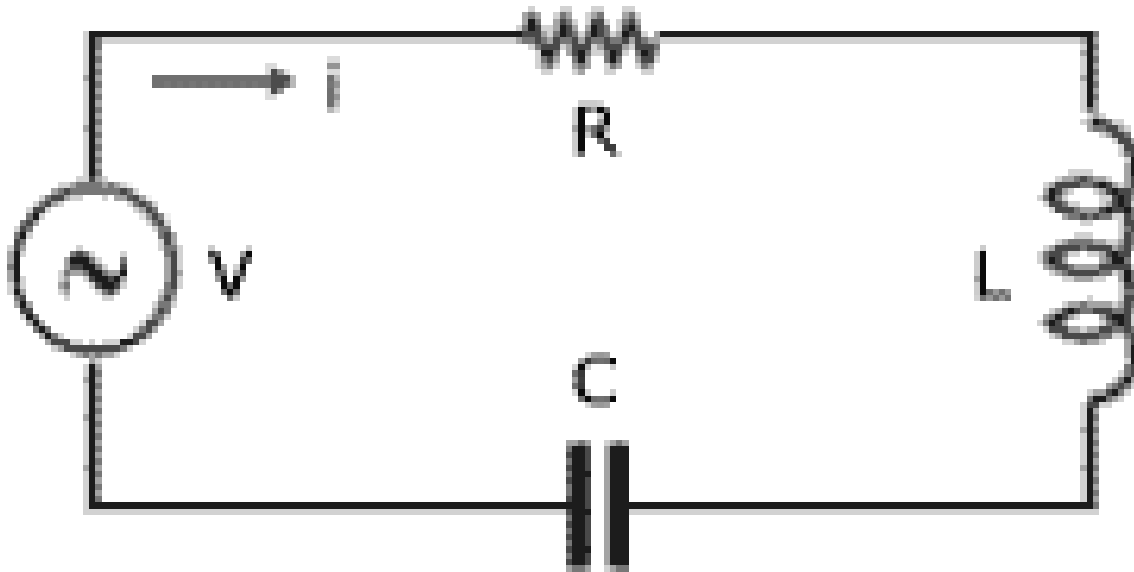
Monotônica: está associada a máxima transferência possível de potência em regime permanente;

Oscilatória: associada à falta de amortecimento natural no sistema, que pode ser induzida por controles mal sintonizados.

Análise de transitórios eletromagnéticos (EMTP)

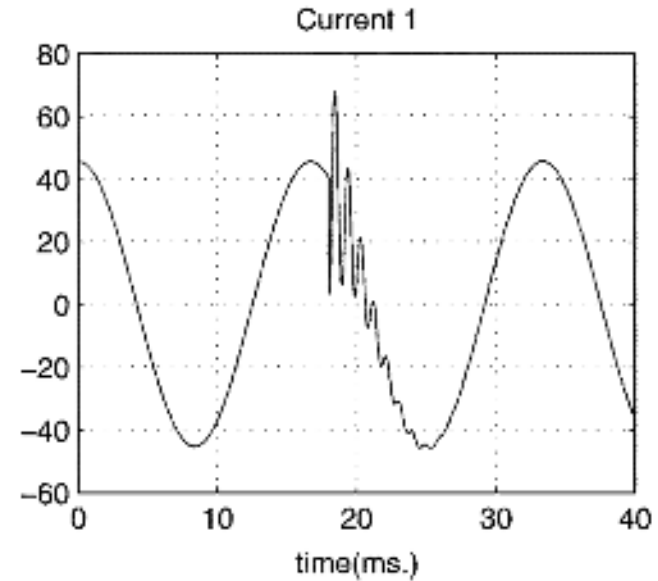
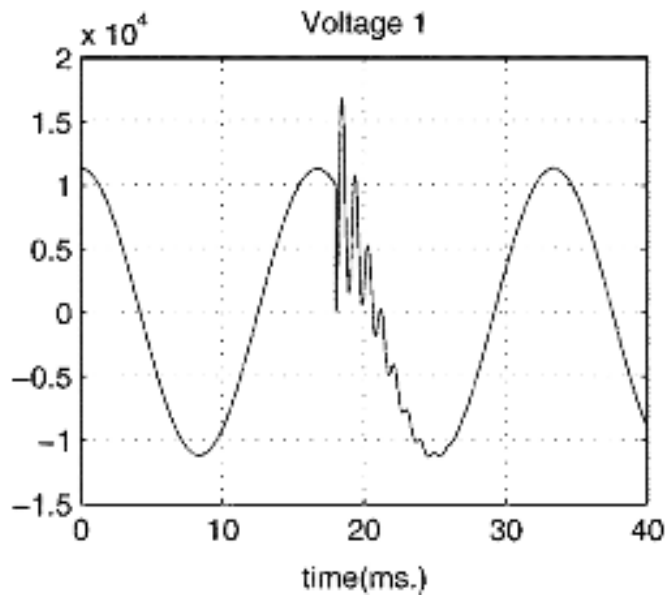
A modelagem da rede e dos componentes deve ser feita do domínio do tempo através de equações diferenciais. Vários métodos numéricos, como a técnica de integração trapezoidal, podem ser usados para a solução dessas equações.

$$v(t) = R \times i(t) + L \times \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

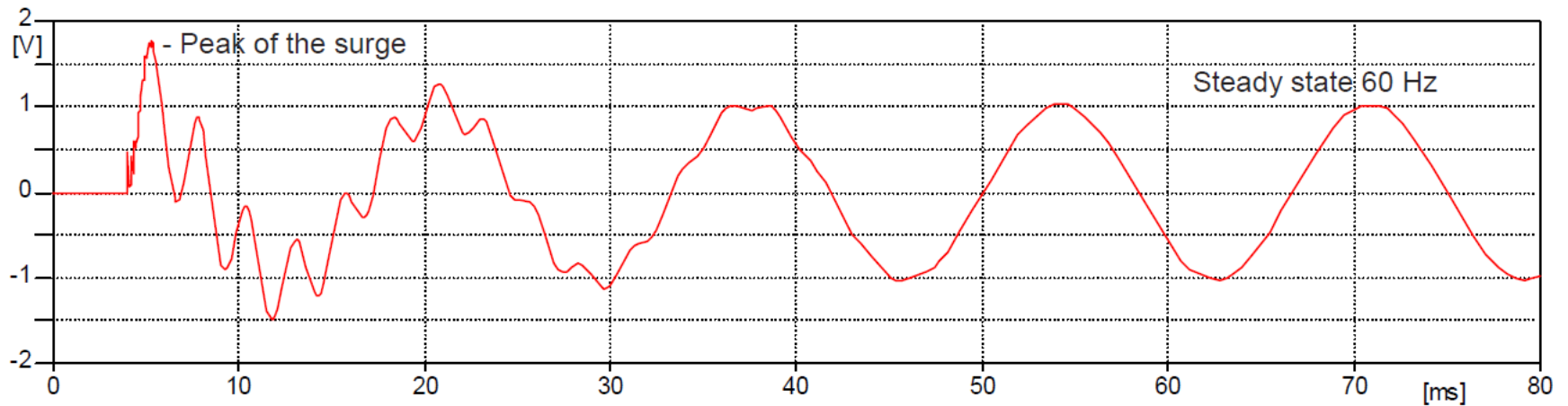


Análise de transitórios eletromagnéticos (EMTP)

Chaveamento de capacitor:



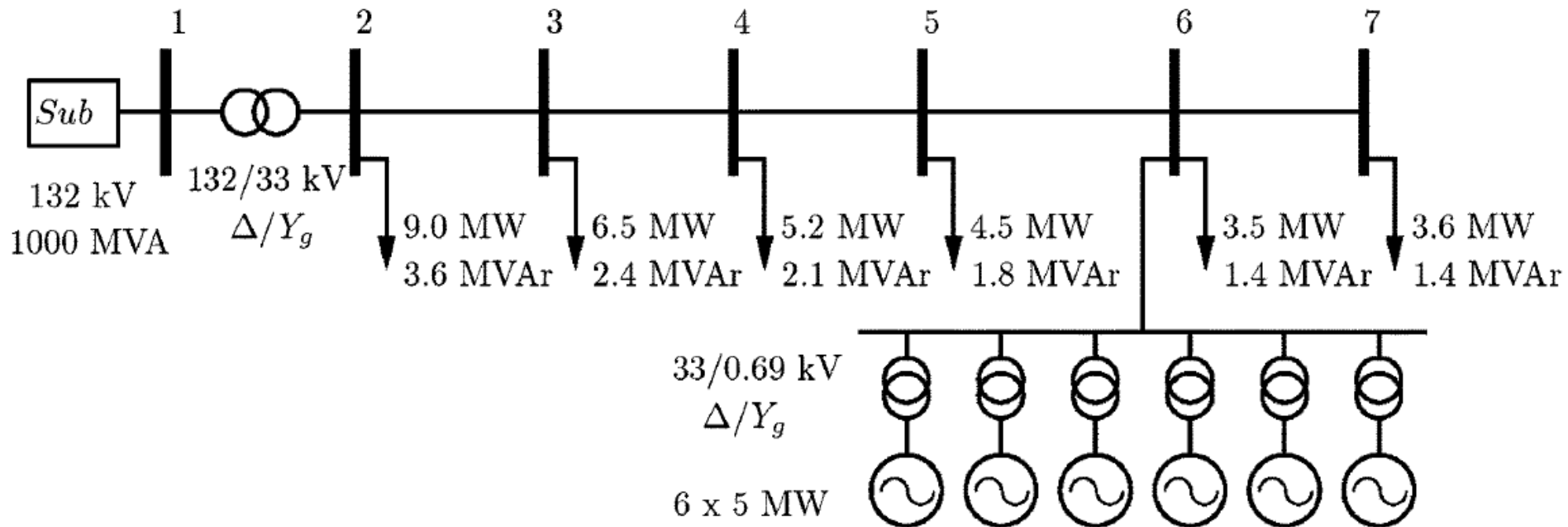
Energização de linha:



Comentários:

FREITAS, Walmir et al. Comparative analysis between synchronous and induction machines for distributed generation applications. IEEE transactions on power systems, v. 21, n. 1, p. 301-311, 2006.

FREITAS, Walmir et al. Comparative analysis between synchronous and induction machines for distributed generation applications. IEEE transactions on power systems, v. 21, n. 1, p. 301-311, 2006.



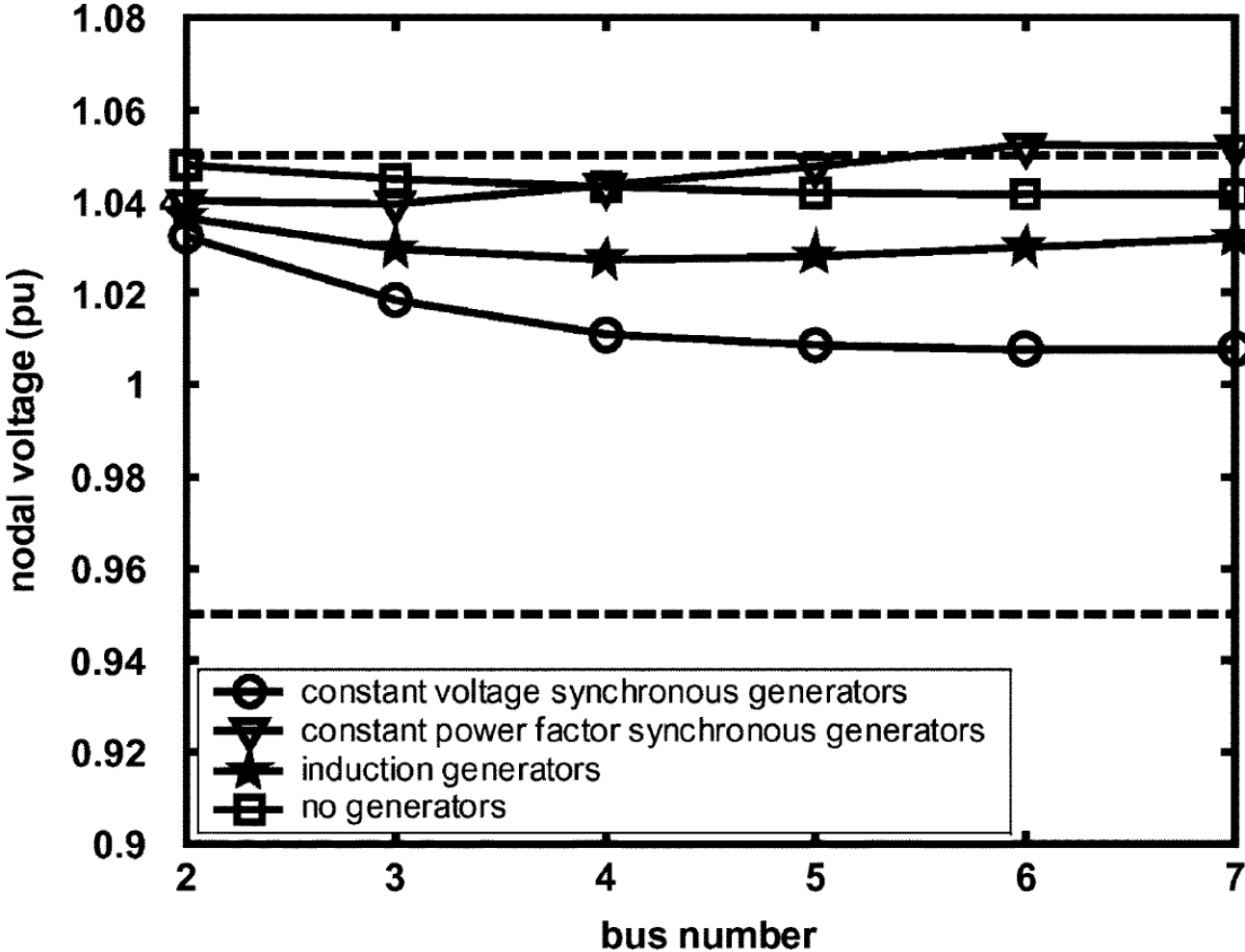


Fig. 2. Steady-state voltage profile for different generators. (a) Minimum demand (10%). (b) Maximum demand (100%).

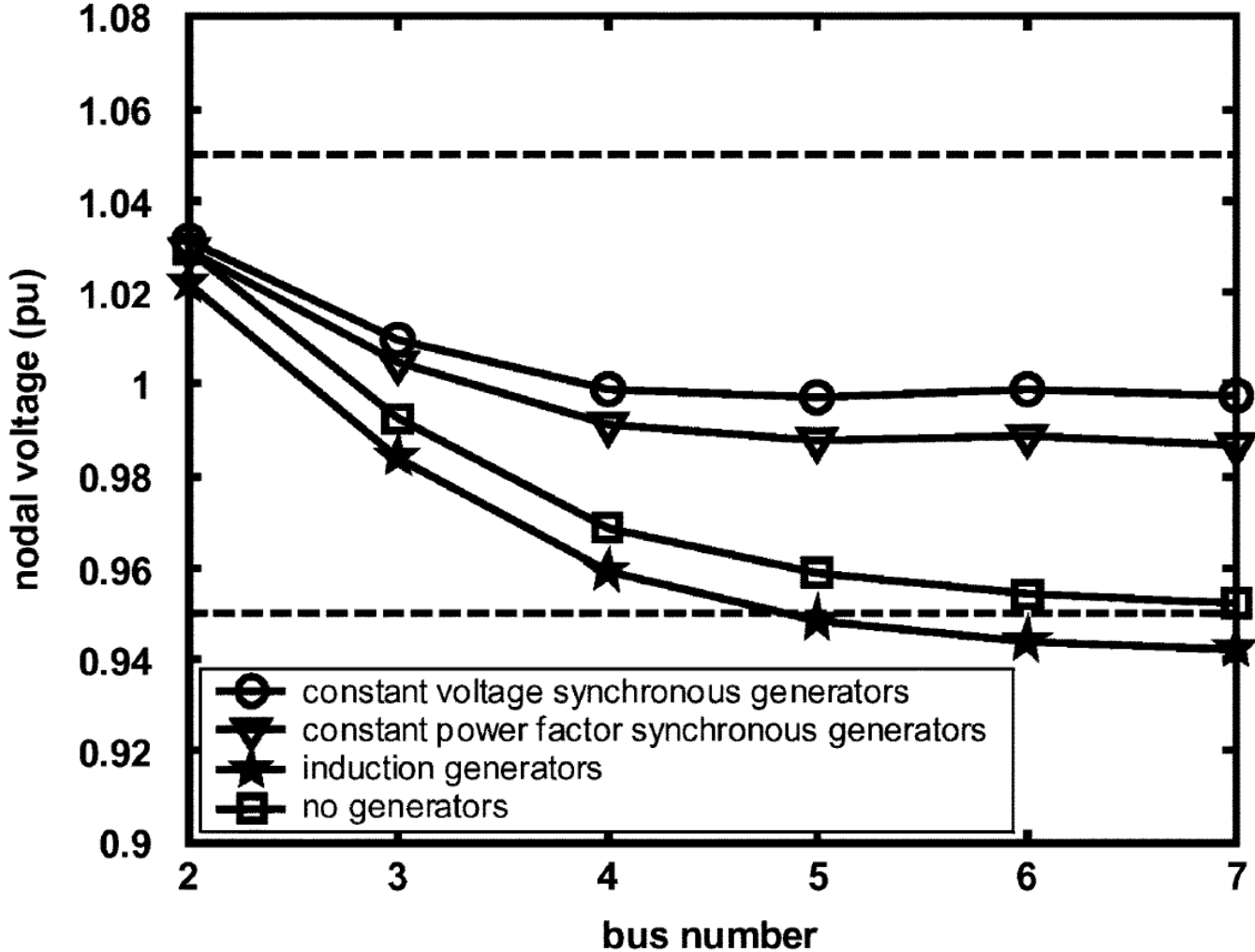


Fig. 2. Steady-state voltage profile for different generators. (a) Minimum demand (10%). (b) Maximum demand (100%).

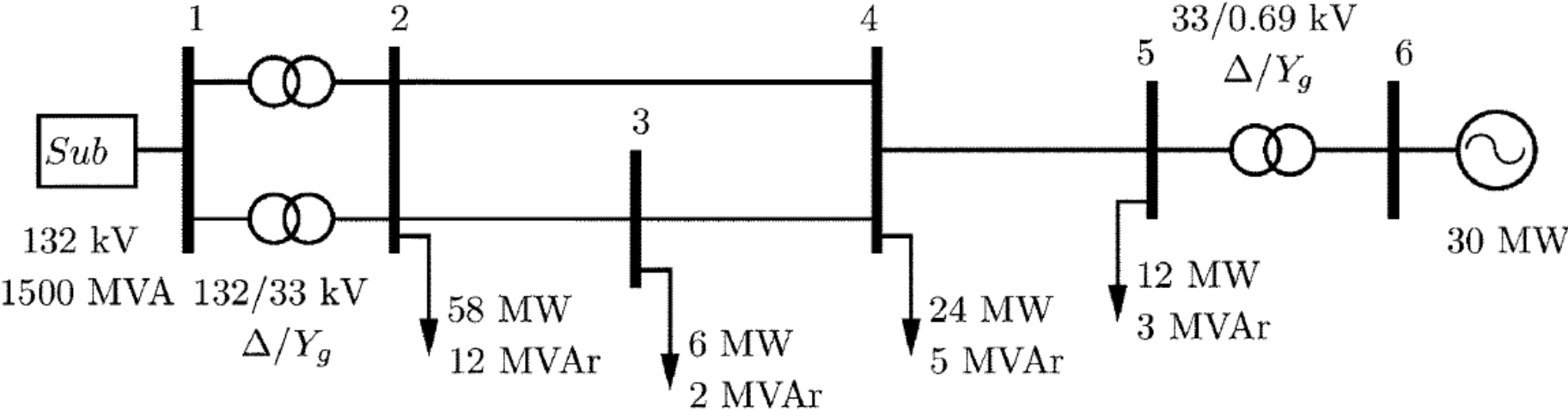


Fig. 3. Single-line diagram of system 2.

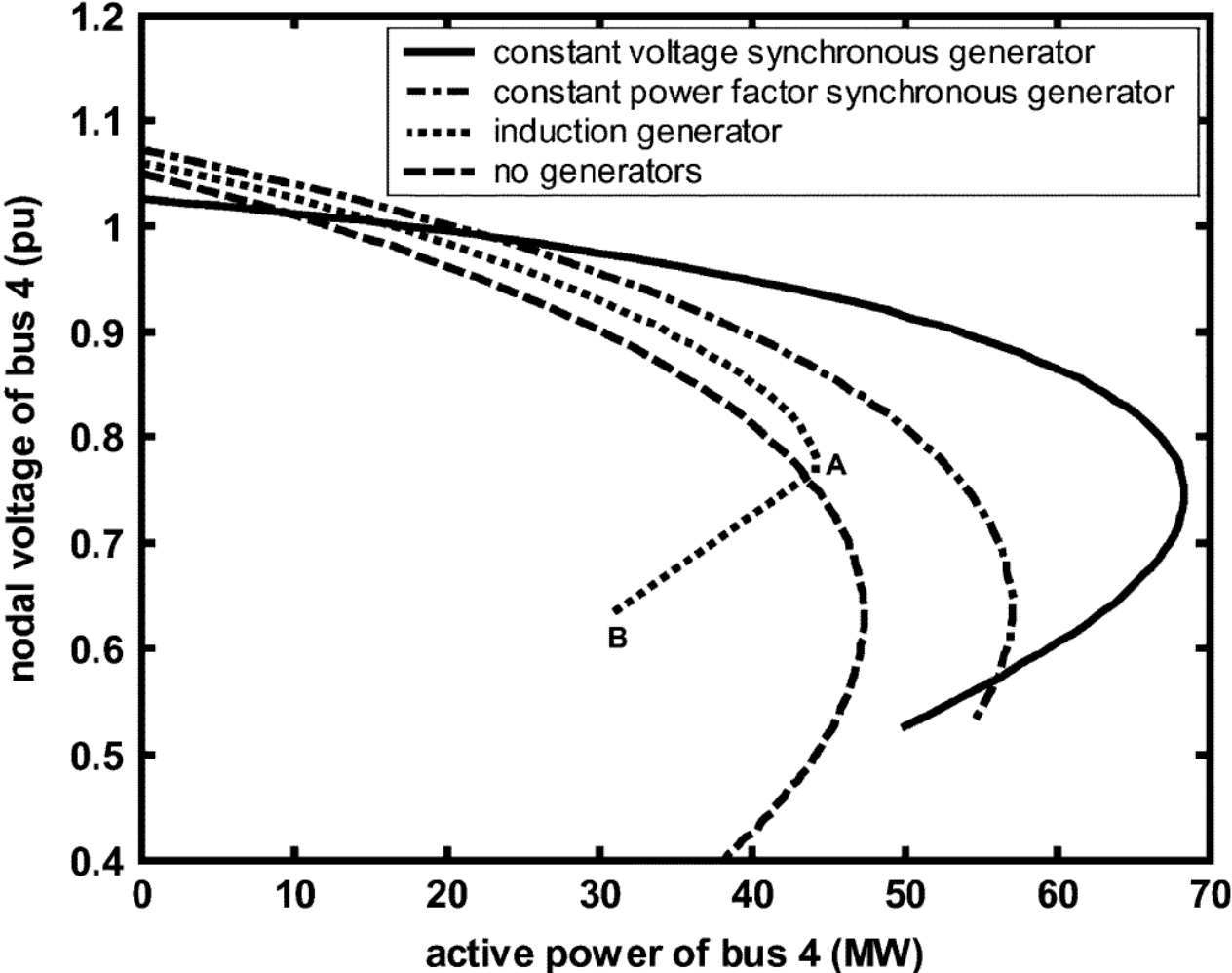


Fig. 4. PV curves of bus 4.

Voltage Sag

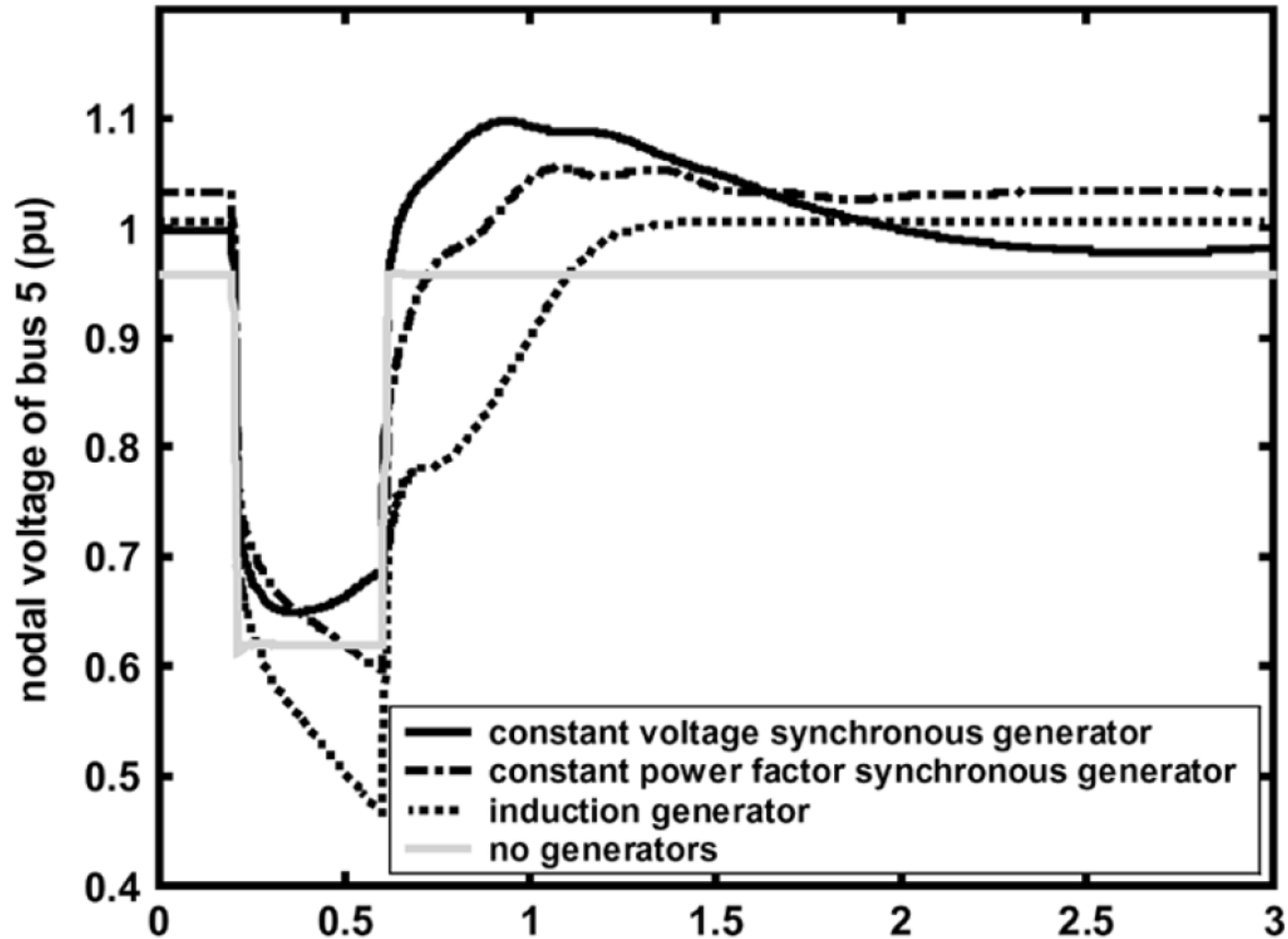


Fig. 7. Response of the nodal voltage of buses 4 and 5 for a phase-A-to-ground short circuit applied at bus 4. (a) Nodal voltage of bus 4. (b) Nodal voltage of bus 5.

Voltage Sag

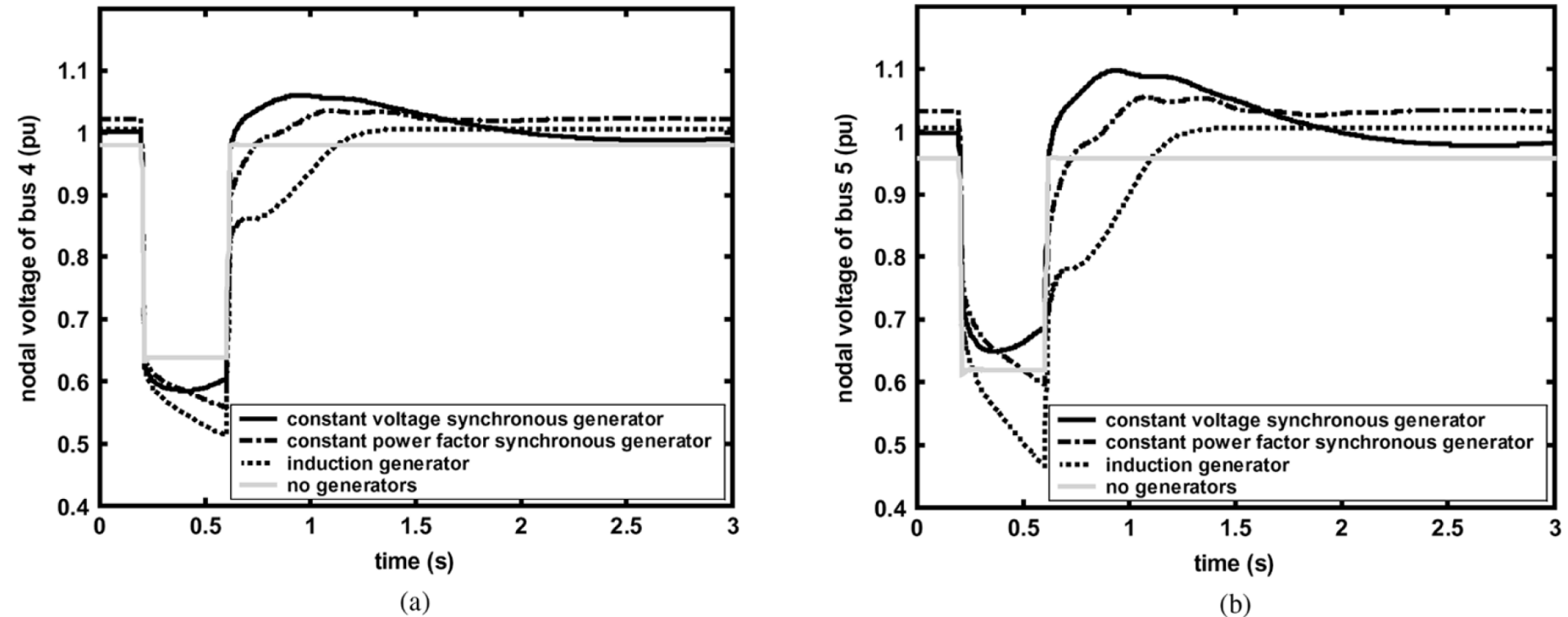


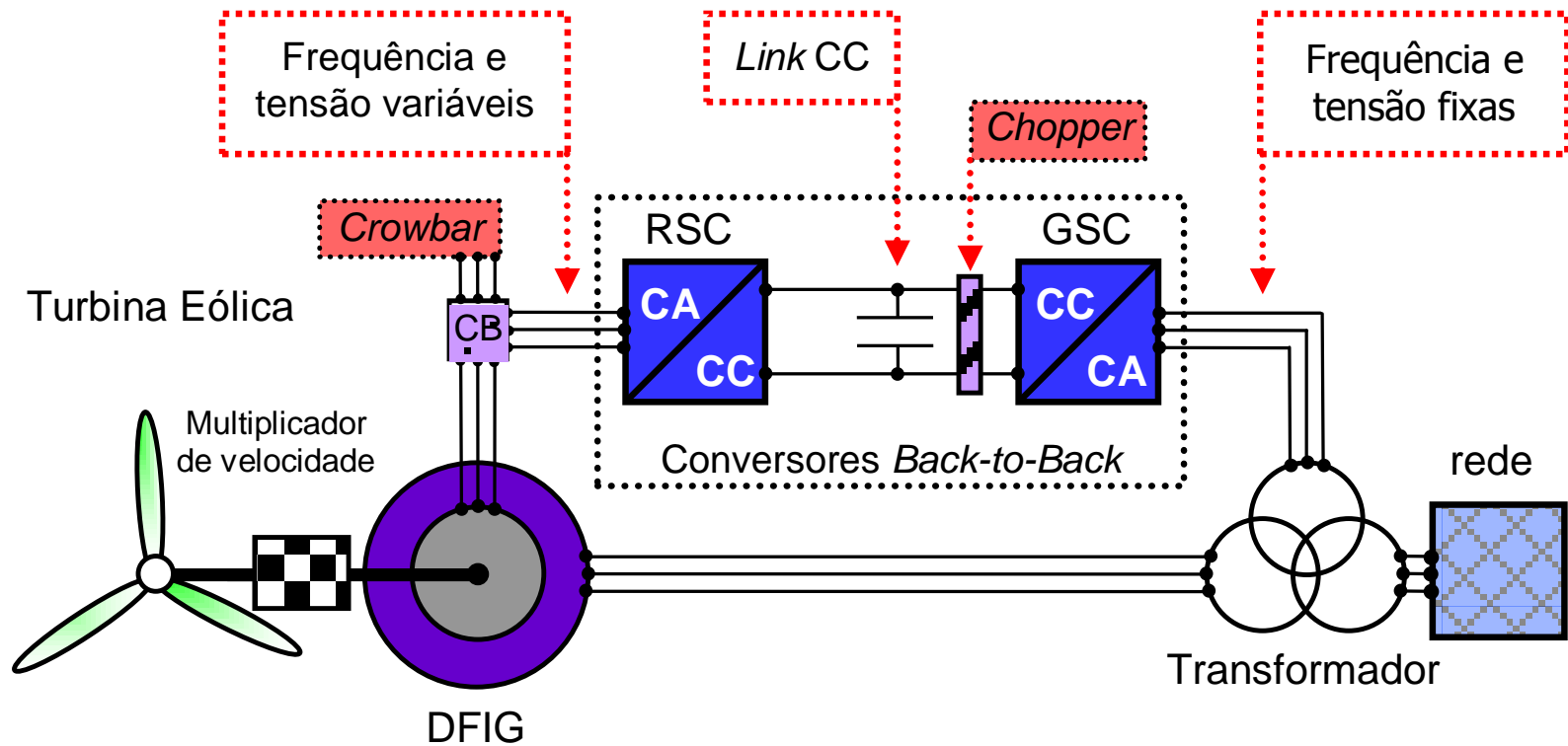
Fig. 7. Response of the nodal voltage of buses 4 and 5 for a phase-A-to-ground short circuit applied at bus 4. (a) Nodal voltage of bus 4. (b) Nodal voltage of bus 5.

Operação do Gerador de indução com dupla alimentação (DFIG)

Tipos de Conversores Eletrônicos de Potência

Conversor na potência parcial

Vestas, Gamesa, Suslon, Furlander



De forma simplificada, negligenciando as perdas em regime permanente, as relações entre potência elétrica e mecânica podem ser calculadas por:

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot V^3 \cdot C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot R / \lambda \quad (2)$$

$$P_s = \frac{P_m}{(1 - s)}$$

sendo:

P_m = potência mecânica (pu).

P_s = potência elétrica injetada pelo estator (pu).

$$P_r = -s \cdot P_s$$

P_r = potência elétrica injetada/consumida pelo rotor (pu).

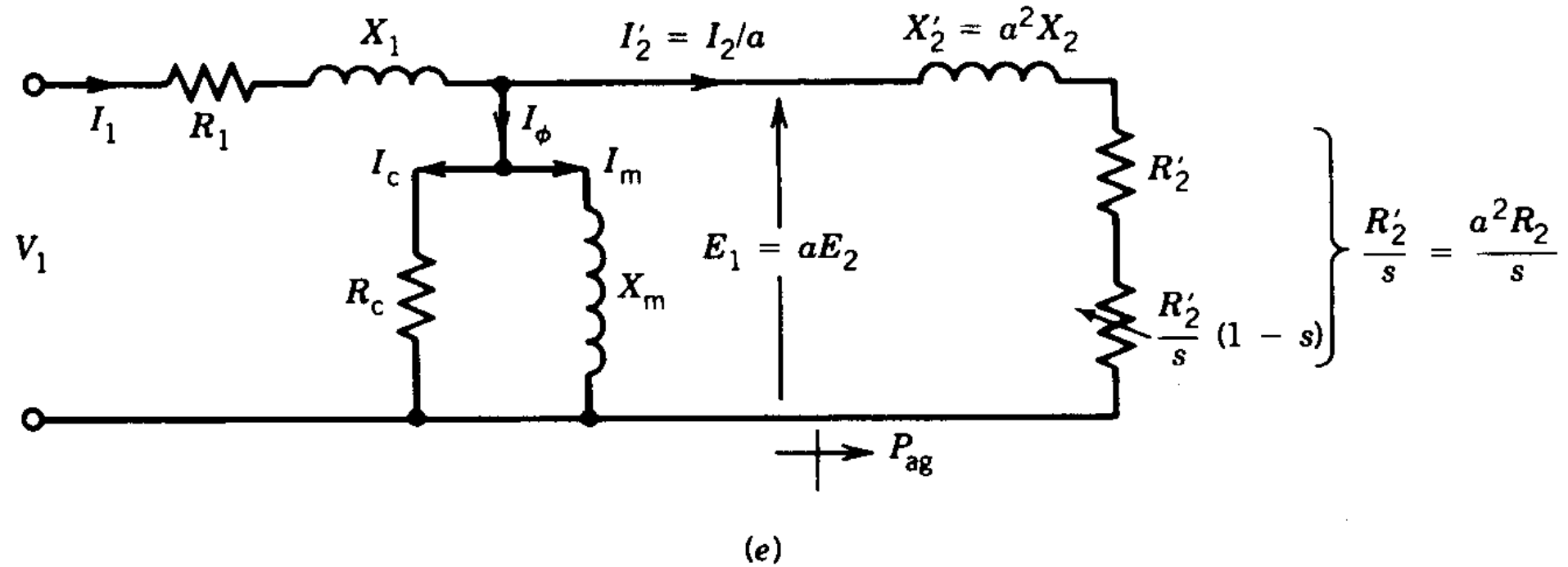
P_T = potência elétrica total fornecida pelo gerador (pu).

$$P_T = P_s + P_r$$

s = escorregamento.

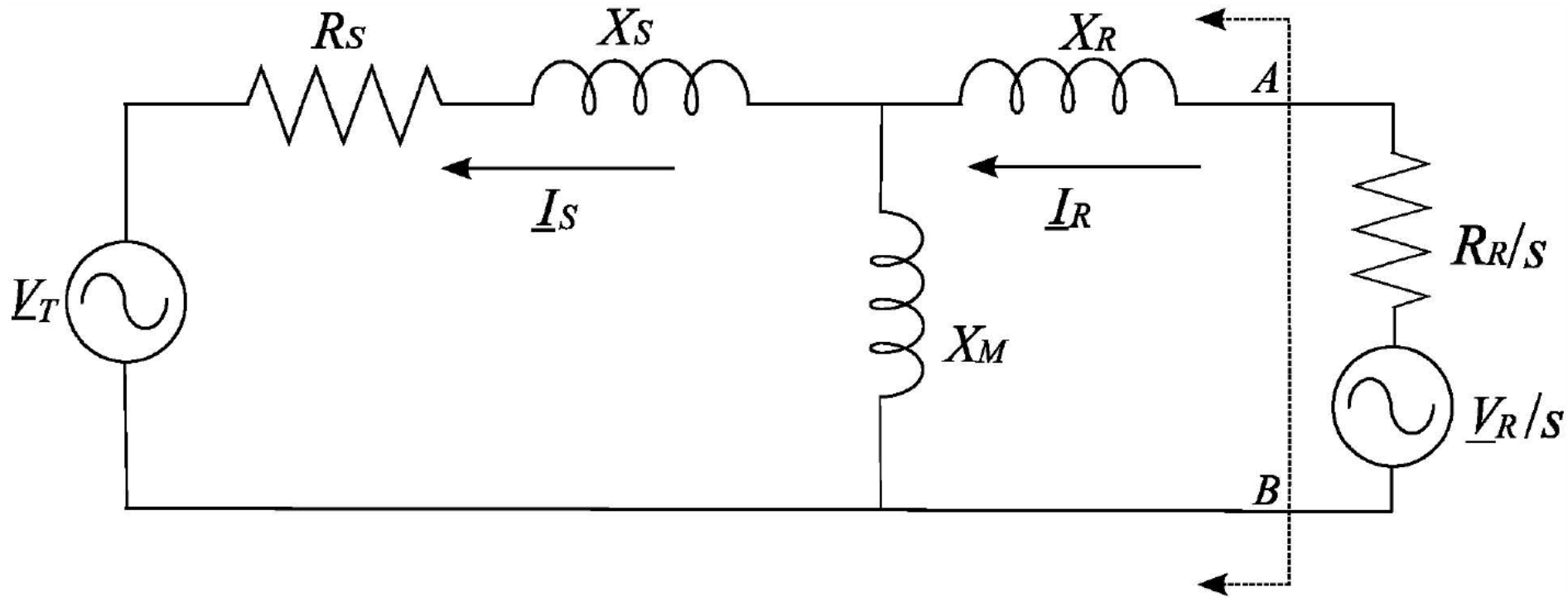
Circuito equivalente da máquina de indução de rotor de gaiola

Representação do Rotor



Circuito equivalente da máquina de indução de rotor bobinado

Representação do Rotor



Salles, Maurício BC et al. The influence of the applied rotor voltage on ride-through capability of doubly fed induction generator. In: **Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues & Prospects for Asia (ICUE), 2011 International Conference and. IEEE, 2011. p. 1-4.**

Variação da tensão de eixo direto no rotor

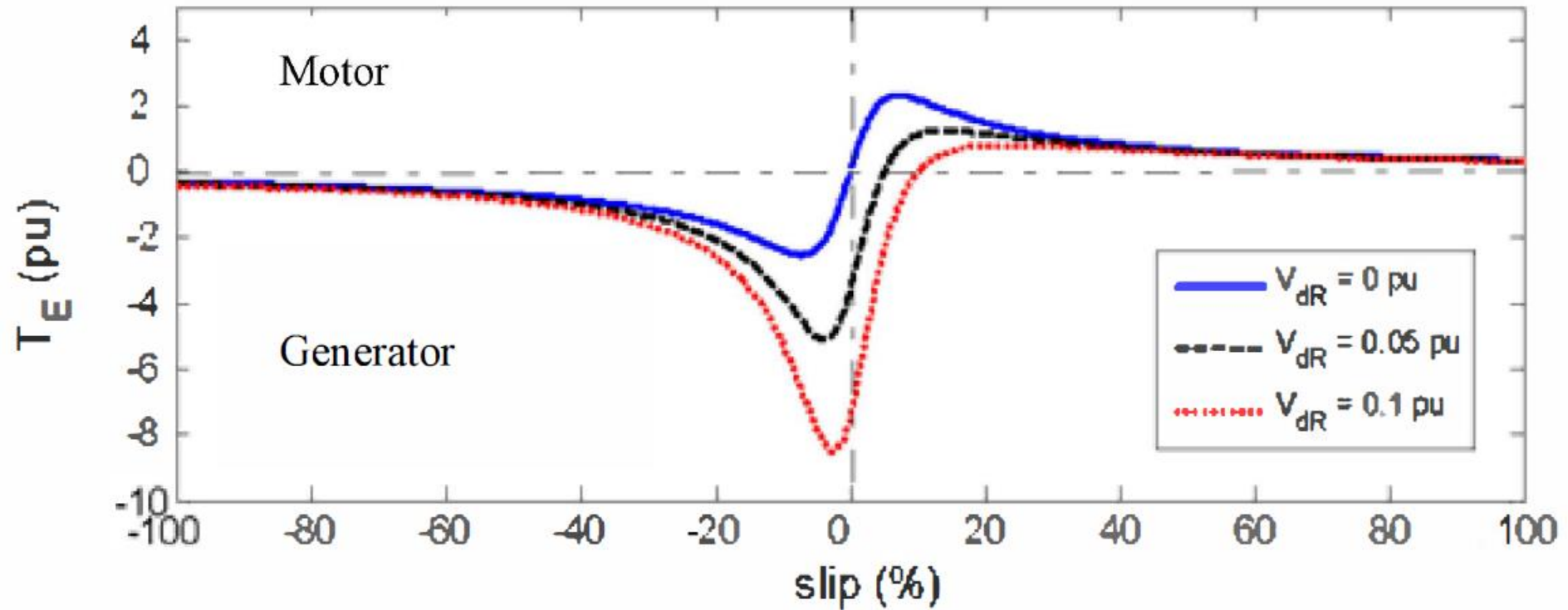


Fig. 5. Electrical torque curve vs. slip of WRIG varying the V_{Rd} .

Variação da tensão de eixo em quadratura no rotor

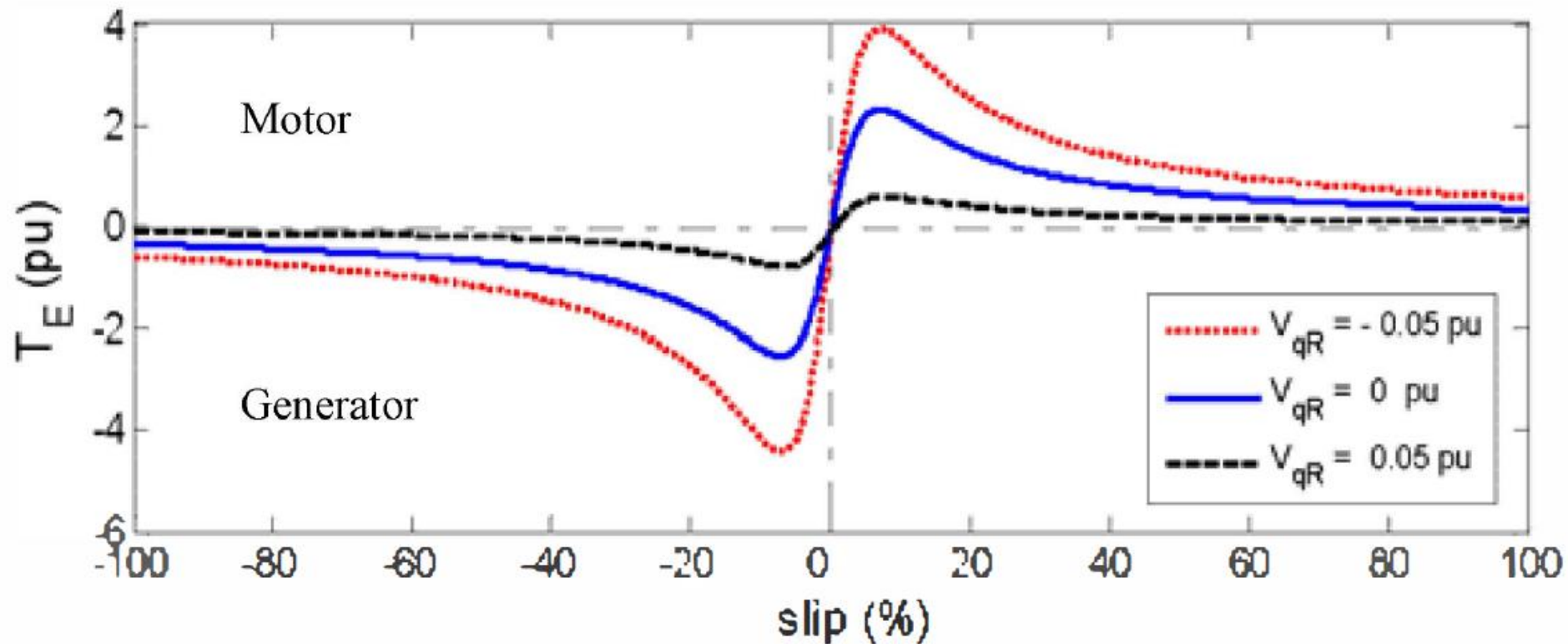


Fig. 6. Electrical torque curve vs. slip of WRIG varying the V_{Rq} .

Análise do tempo crítico de eliminação de falta



Fig. 8. Test systems for the dynamic analysis.

Análise do tempo crítico de eliminação de falta

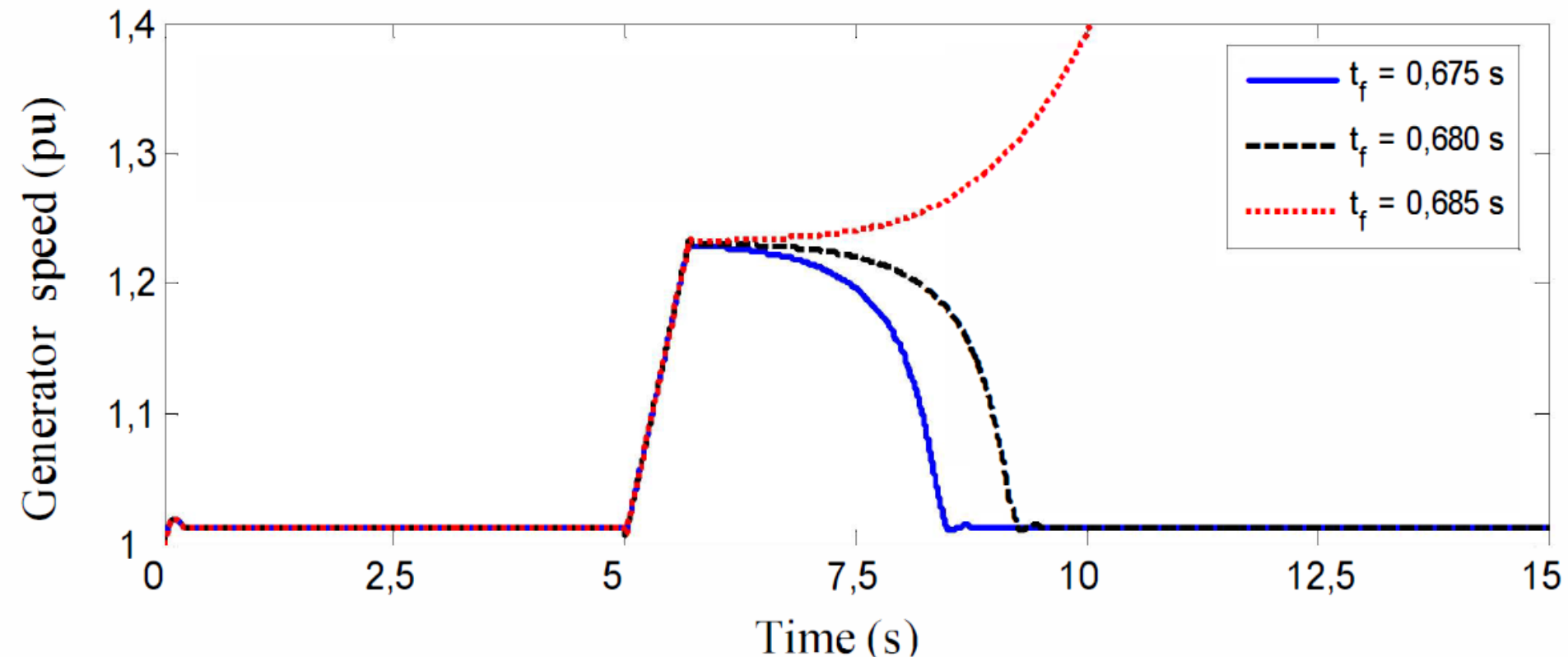


Fig. 9. Illustrative curves to show the relation between stability and speed.

Análise do tempo crítico de eliminação de falta (V_{Rd})

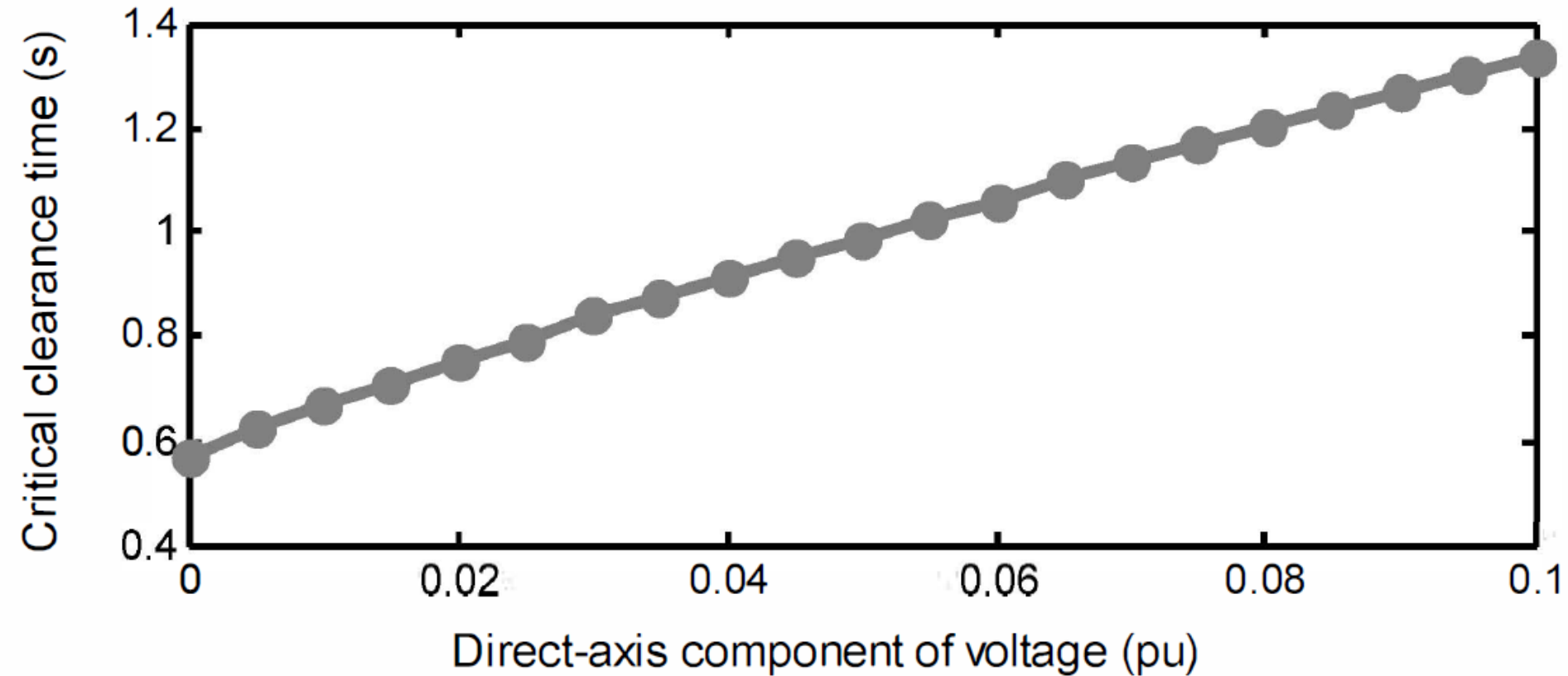


Fig. 10. Critical fault clearance time for different values of the V_{Rd} .

Análise do tempo crítico de eliminação de falta (V_{Rd})

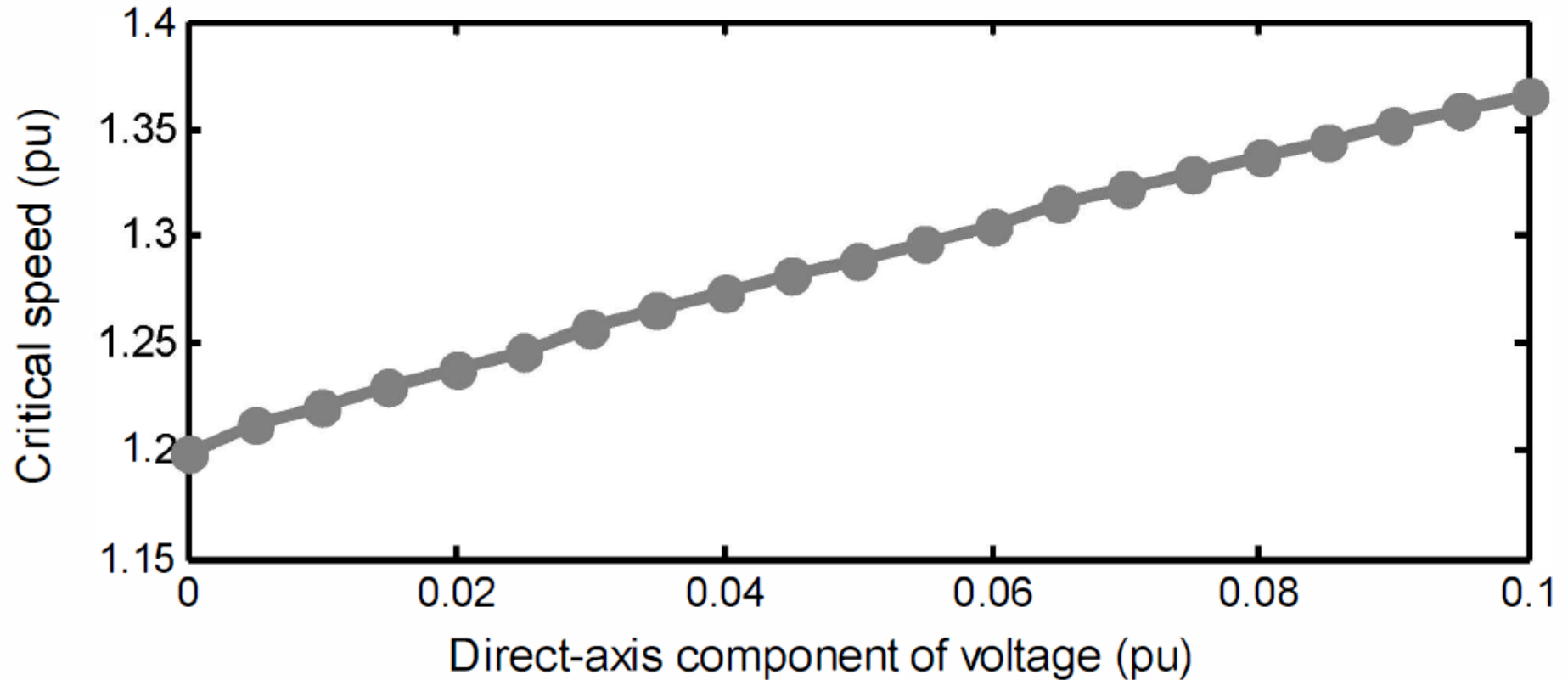


Fig. 11. Critical generator speed for different values of the V_{Rd} .

Análise do tempo crítico de eliminação de falta (V_{Rq})

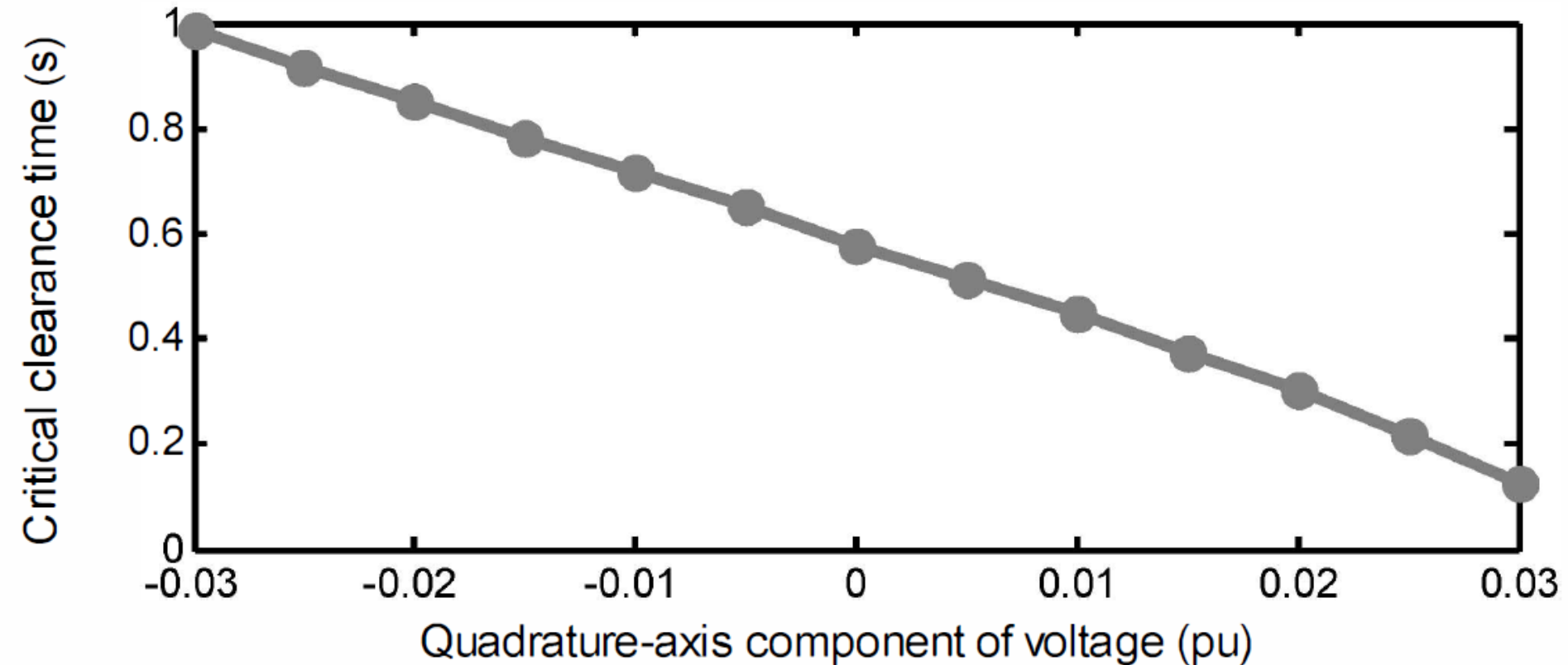
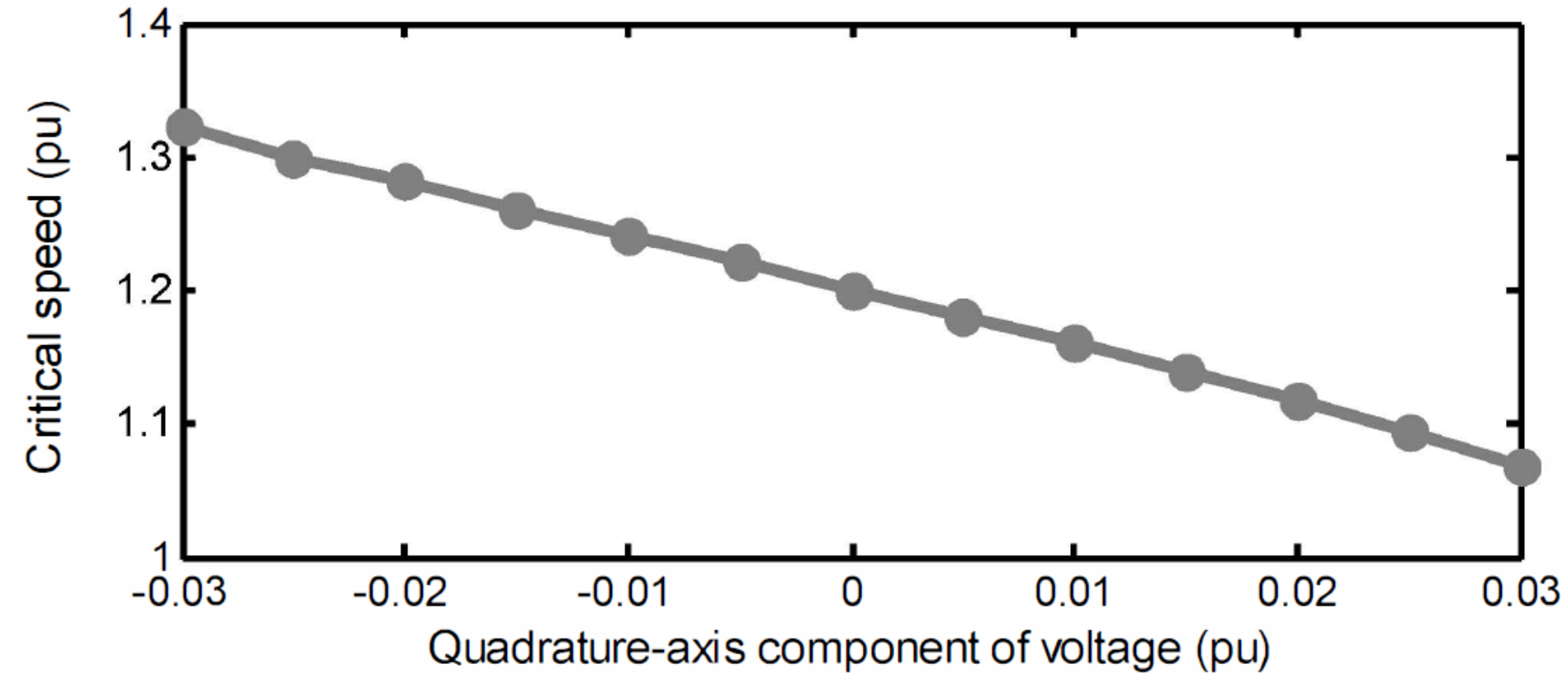


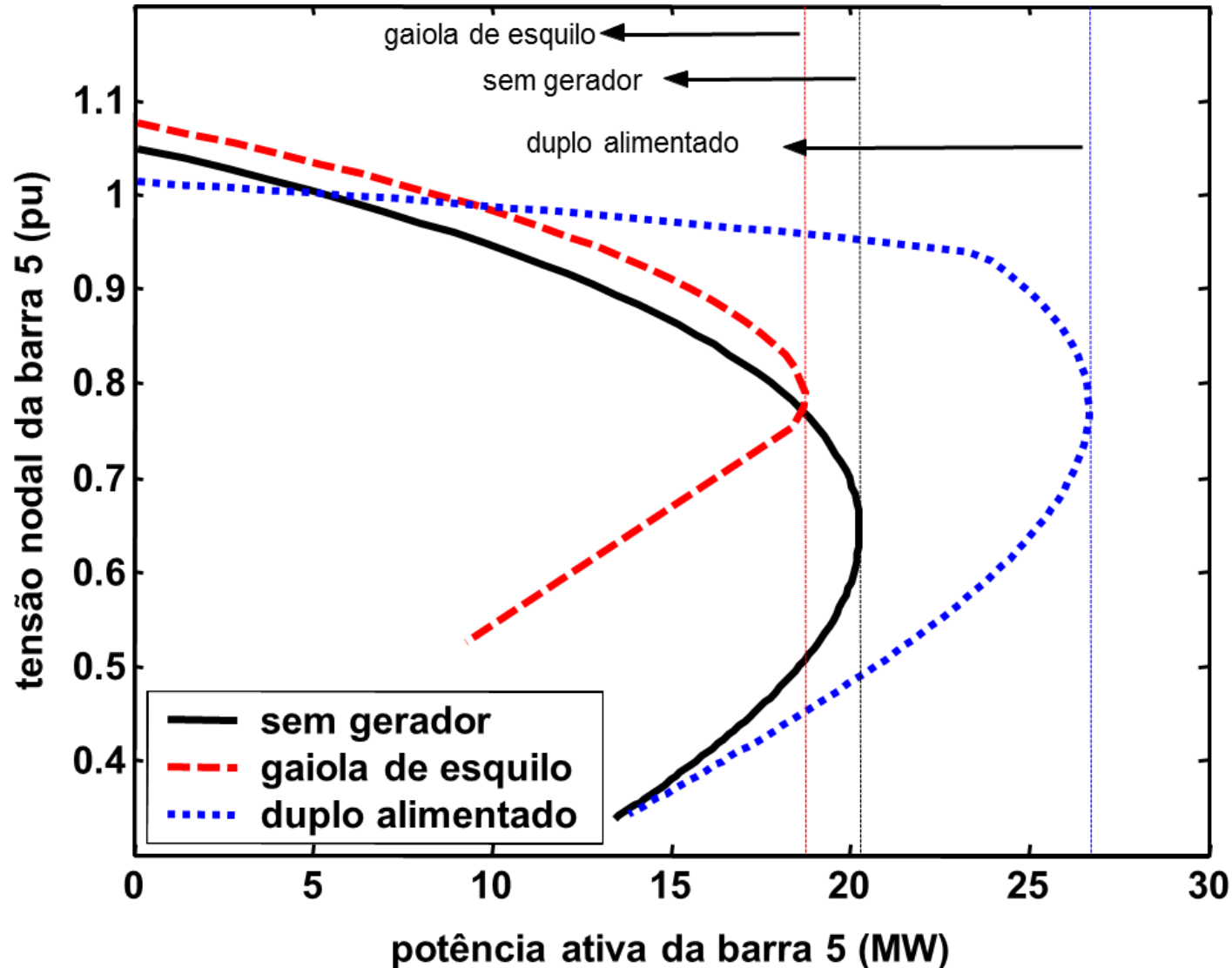
Fig. 12. Critical fault clearance time for varying V_{Rq} .

Análise do tempo crítico de eliminação de falta (V_{Rq})



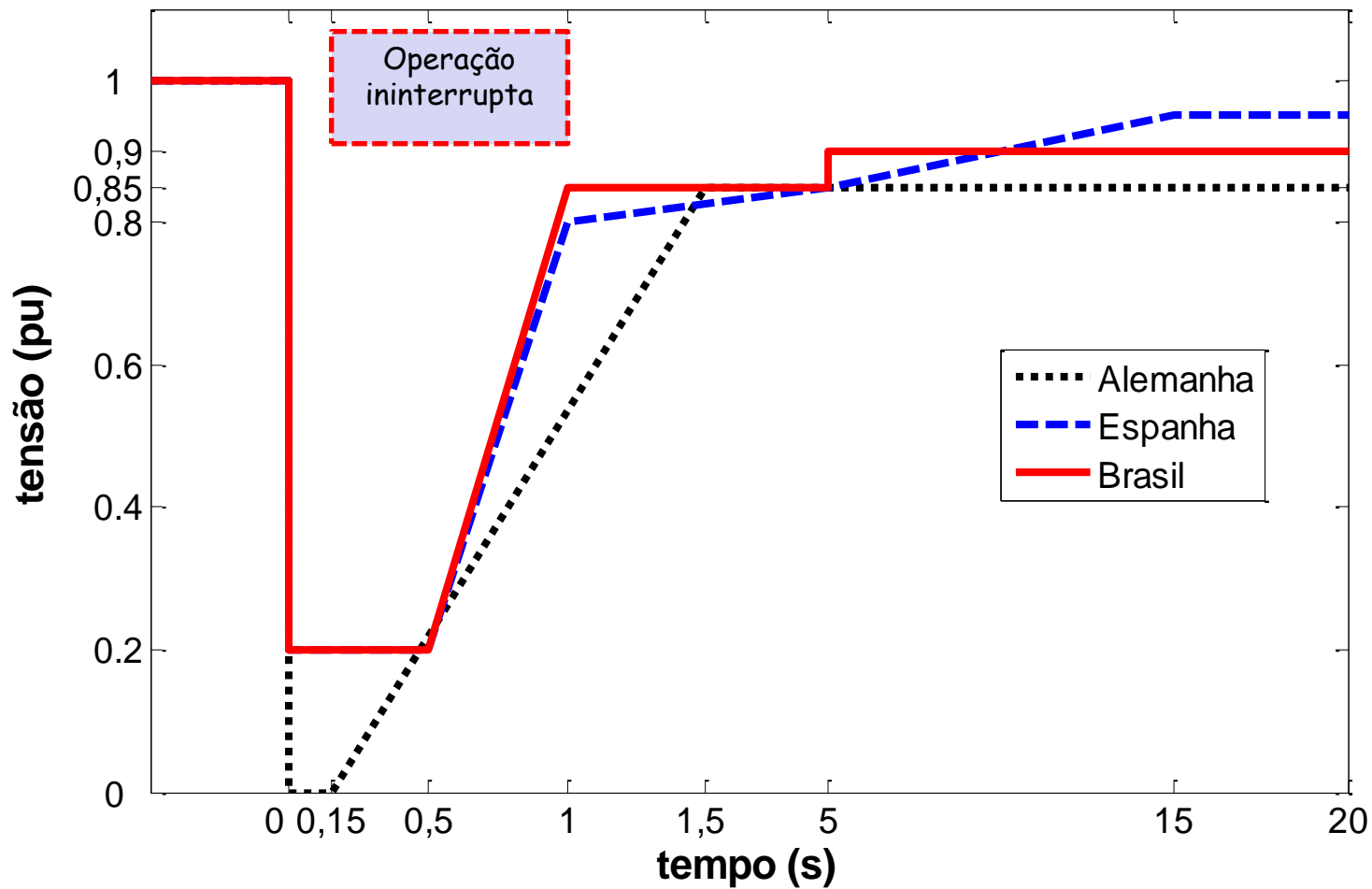
Estabilidade de tensão – Geradores de indução duplamente alimentados (DFIG)

- Devido à capacidade de injeção de potência reativa, usualmente o gerador de indução duplamente alimentado aumenta a margem de estabilidade de tensão.

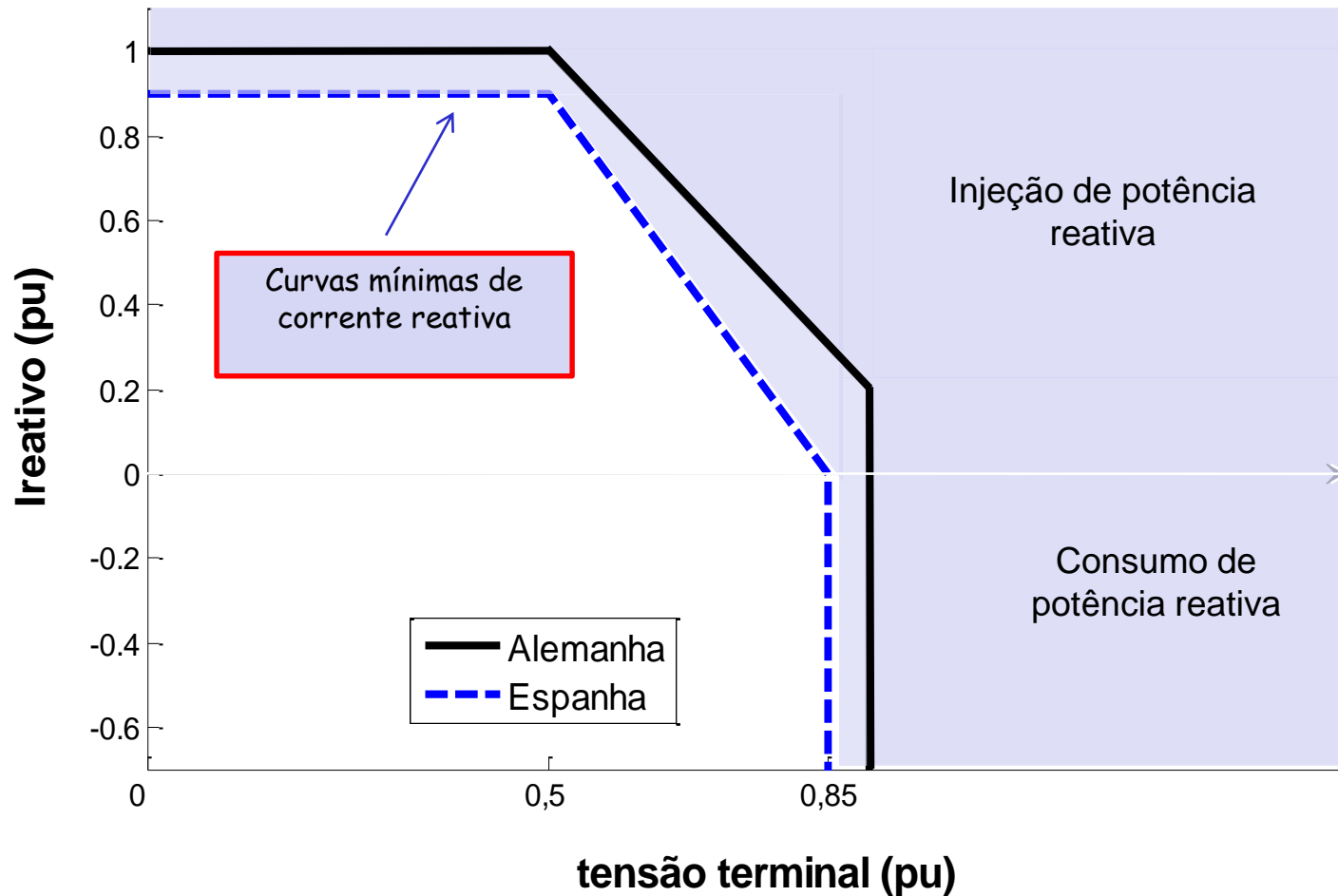


Sistemas de proteção do DFIG

Requisitos do operador do sistema de transmissão para operação durante curto-circuitos (*fault-ride through capability*).



Requisitos do operador do sistema de transmissão para regulação de tensão terminal durante curto-circuitos (injeção de corrente reativa)



Este requisito ainda não existe no Brasil.

Crowbar

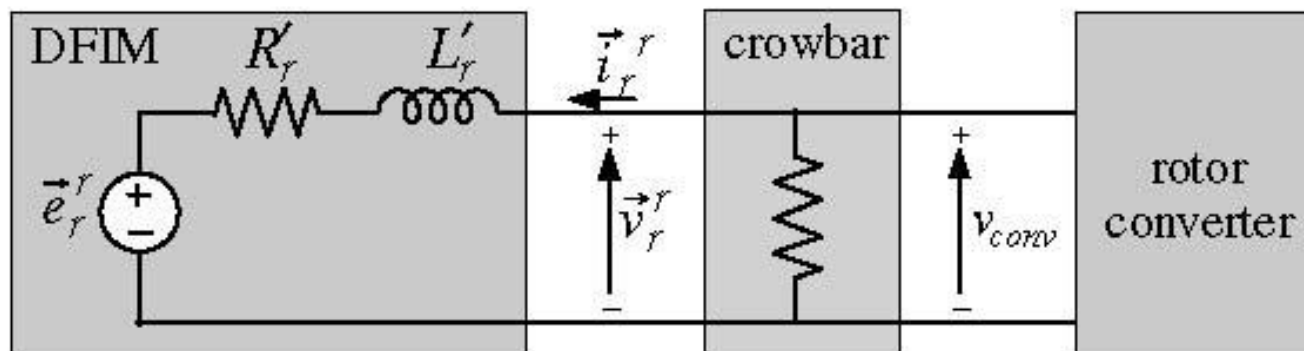
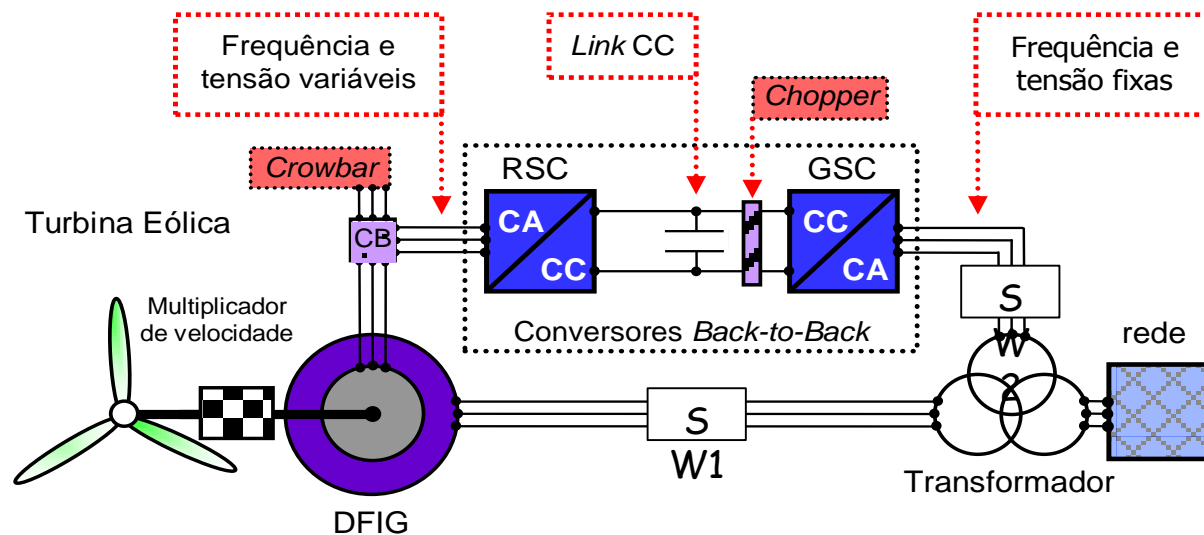


Figure 9.4 Equivalent circuit of the system when the crowbar is activated.

Crowbar Ativo

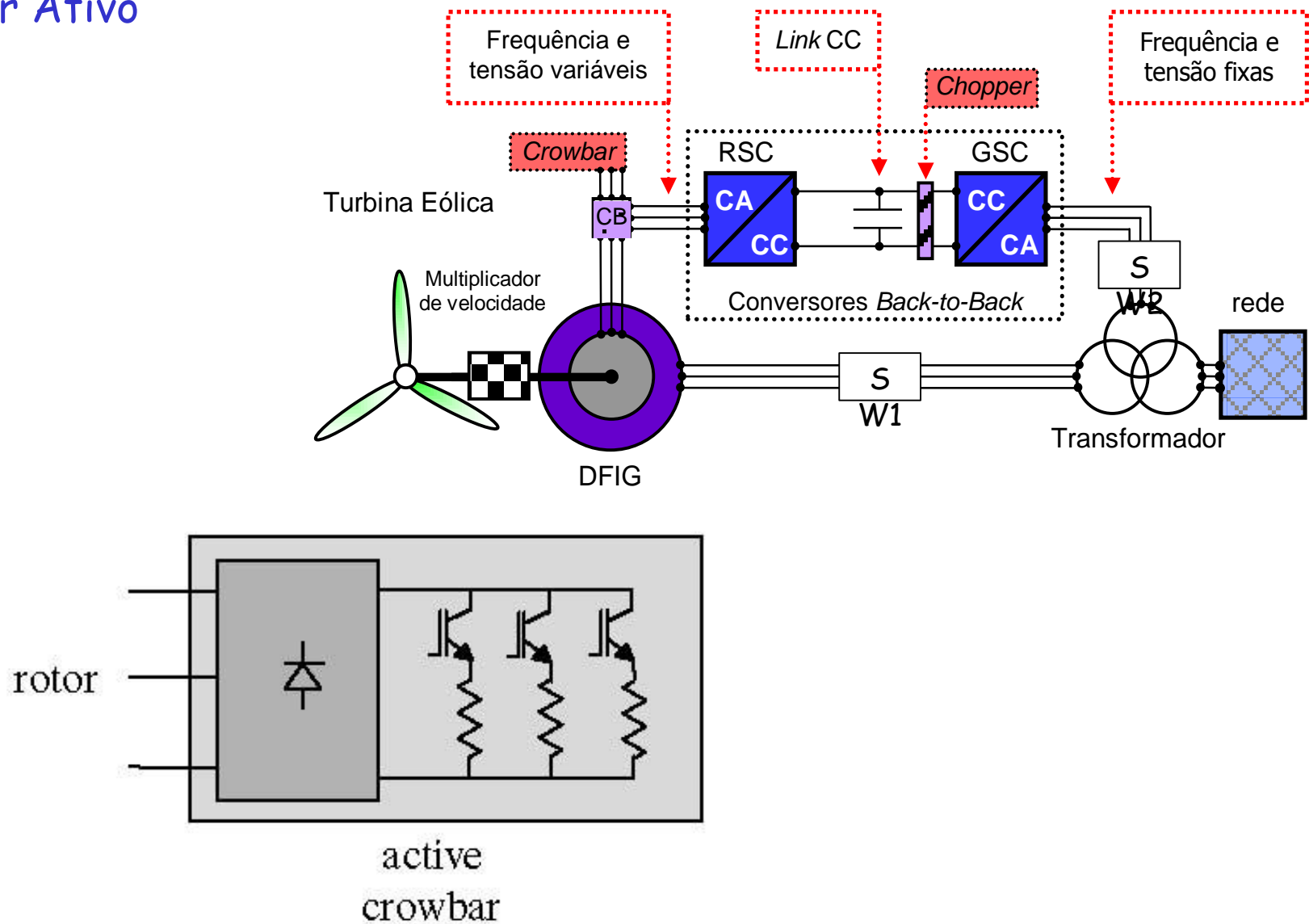


Figure 9.6 Active crowbar with a set of various resistors.

Crowbar Ativo

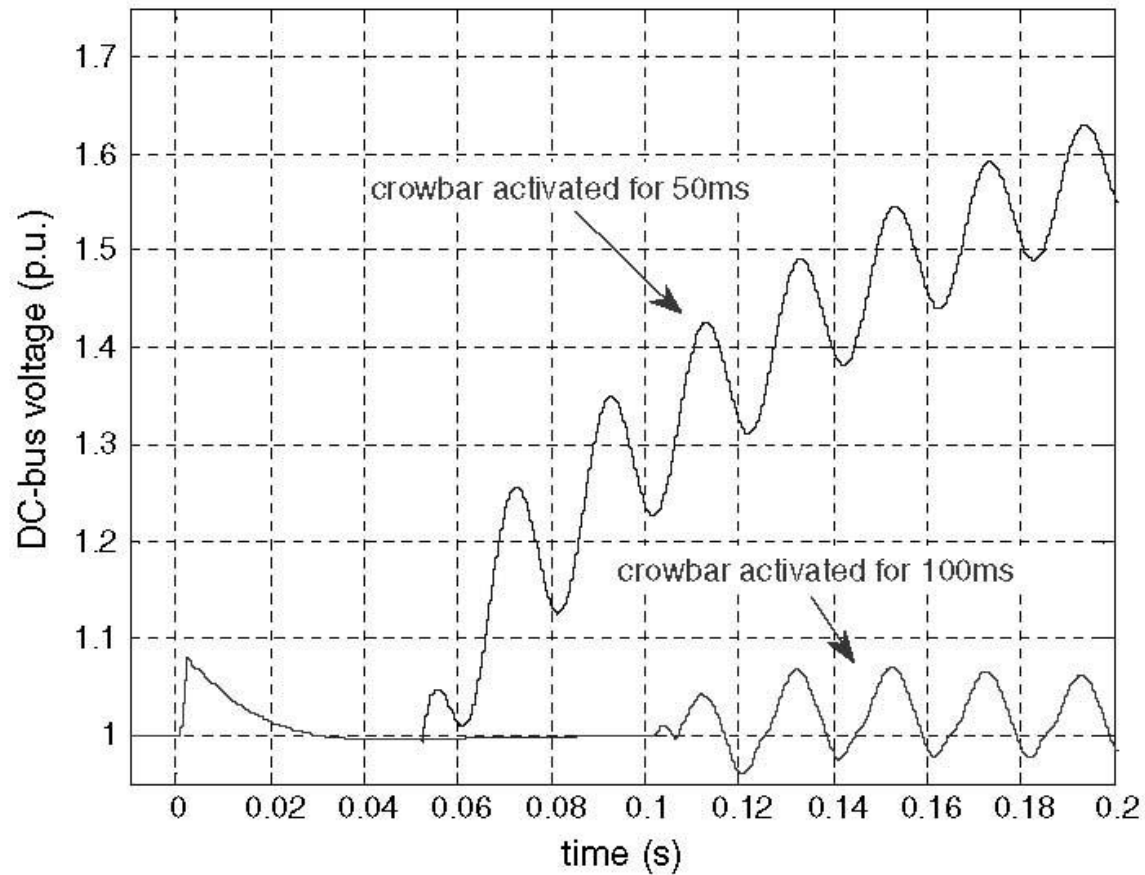


Figure 9.8 DC-link bus voltage connecting the crowbar for 50 and 100ms.

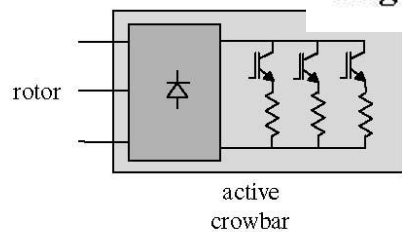


Figure 9.6 Active crowbar with a set of various resistors.

Crowbar Ativo

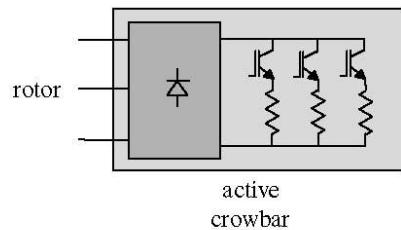
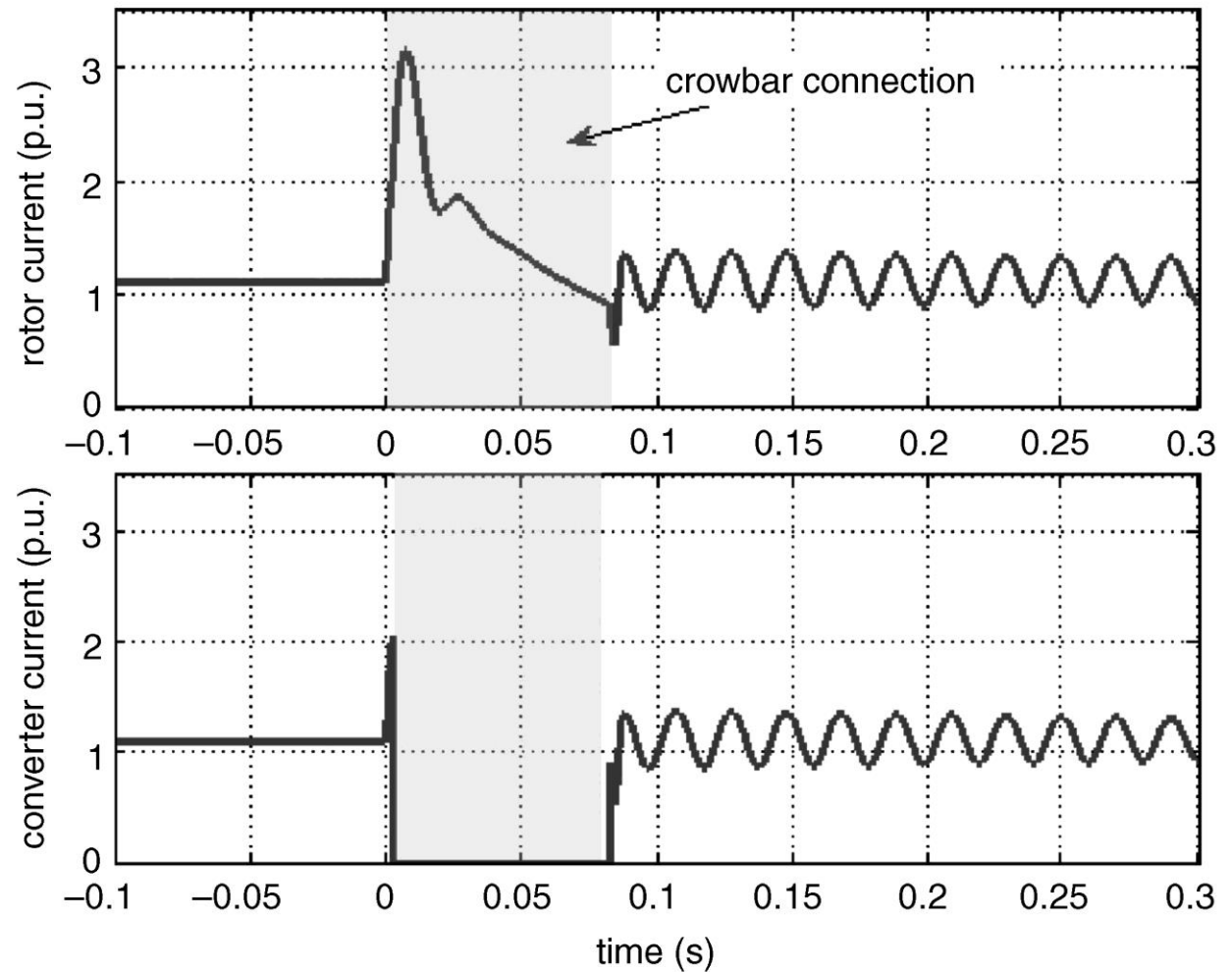


Figure 9.10 Rotor and converter currents using a crowbar during a three-phase dip.

Crowbar Ativo

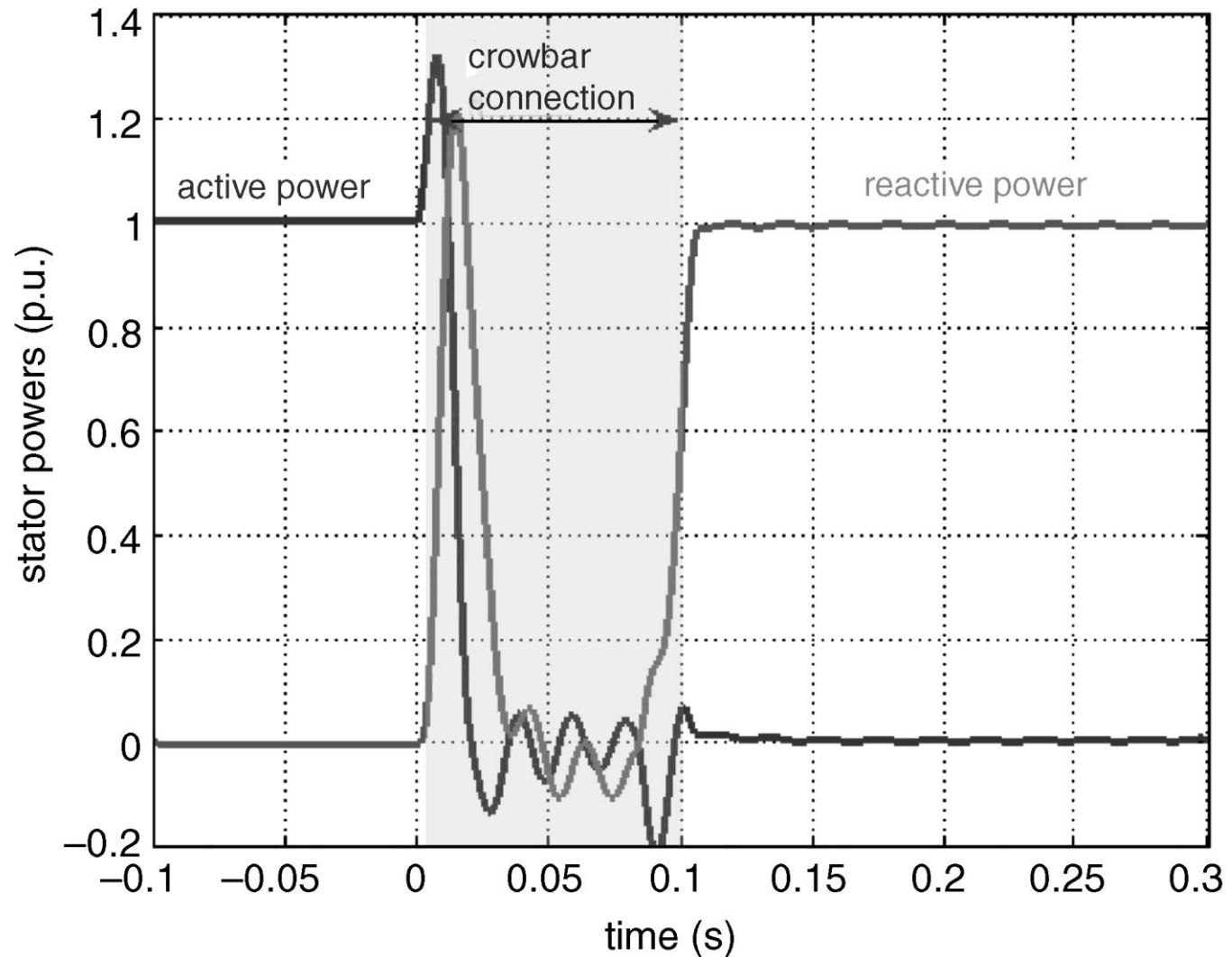
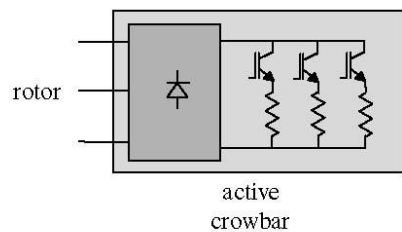


Figure 9.12 Active and reactive currents using a crowbar.

Crowbar Ativo

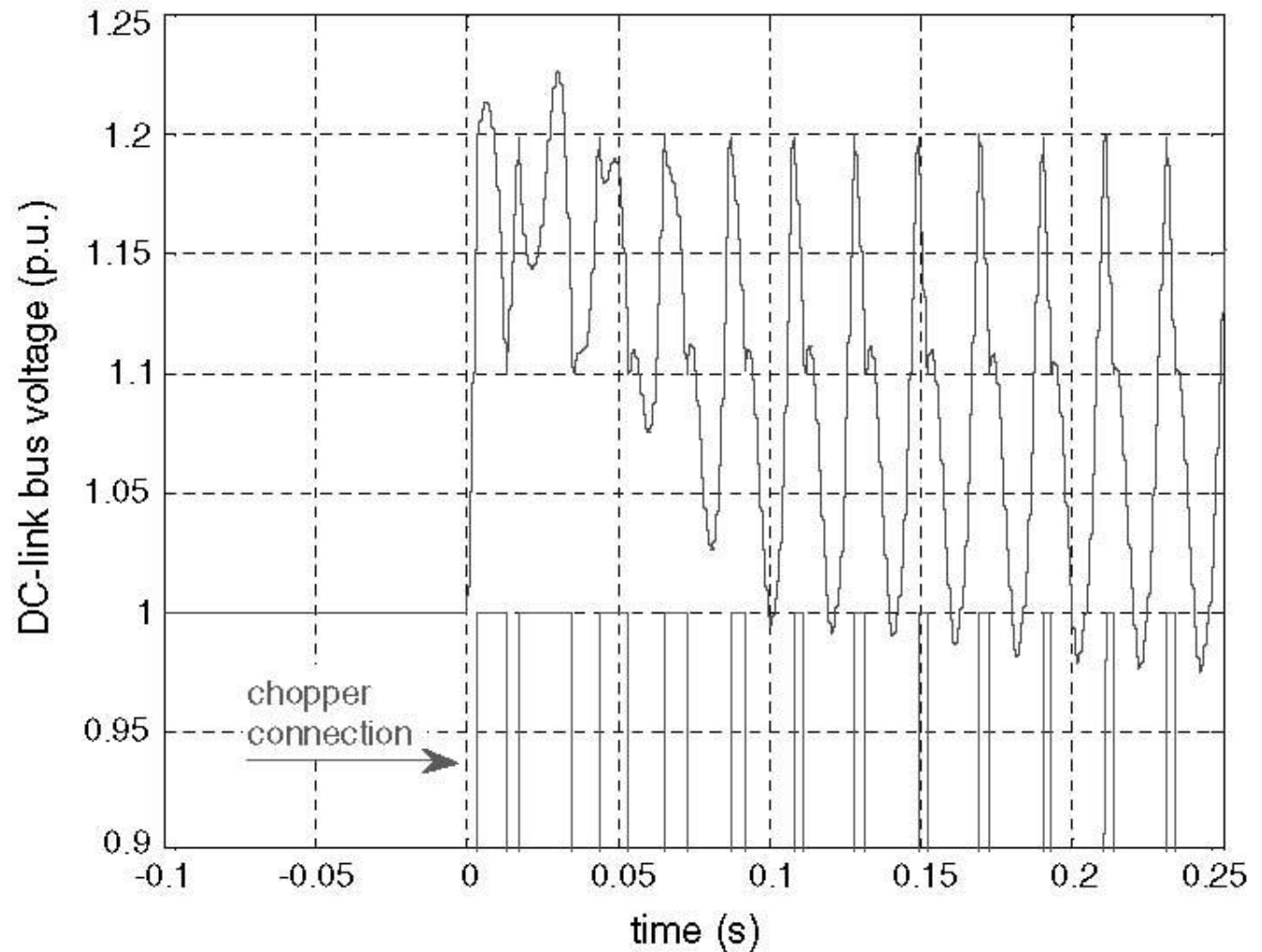
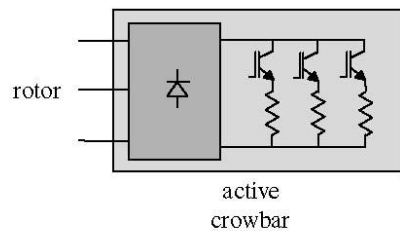


Figure 9.18 DC-link bus voltage using a braking chopper.