
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE MODELOS DINÂMICOS NO TEMPO DE DURAÇÃO DE CORRENTES DE CURTO CIRCUITO¹

Renan Souza Moura ²
Rayane Raine Leal ³
Vinícius Augusto Dantas ⁴
André Roger Rodrigues ⁵

RESUMO

O objetivo principal de um sistema elétrico de potência é atender a potência requerida pelo consumidor com valores pré-estabelecidos de tensão e frequência. Para manter esses valores nominais, a utilização de reguladores dinâmicos é fundamental, pois as suas atuações, frente a distúrbios, visam manter a estabilidade dinâmica do sistema. Existem vários modelos dinâmicos para reguladores de tensão e velocidade, e quais modelos devem ser escolhidos de forma que a estabilidade seja mantida na ocorrência de curto circuito, é a preocupação deste artigo. Os resultados apresentados demonstram que existe um tempo máximo de duração dessas correntes em função do modelo dinâmico adotado e caso esse tempo seja extrapolado, instabilidades dinâmicas ocorrem. Em todas as simulações, os limites operacionais serão considerados.

Palavras-chave: Estabilidade dinâmica. Corrente de curto circuito. Modelos dinâmicos.

1 INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico de potência está susceptível a distúrbios que venham a alterar o ponto de operação, tais como atuações de disjuntores, chaves seccionadoras, taps de transformadores, entre outros eventos. Como tais ações podem resultar em uma condição operativa pós-distúrbio indesejável, o operador do sistema elétrico deve prever ações de controle que venham a manter o sistema estável após tais ocorrências e, para isso, estudos de estabilidade têm desempenhado um papel fundamental.

¹ MOURA, R. S. et al. Análise de influência de modelos dinâmicos no tempo de duração de correntes de curto circuito. **ForScience**: revista científica do IFMG, Formiga, v. 5, n. 1, e00256, jan./jun. 2017.

² Doutor em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e professor do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), *campus* Formiga. (<http://lattes.cnpq.br/6981517353494441>). E-mail: renan.moura@ifmg.edu.br.

³ Engenheira Eletricista pelo IFMG, *campus* Formiga. (<http://lattes.cnpq.br/9884319149810225>). E-mail: rayanerayner@gmail.com.

⁴ Engenheiro Eletricista pelo IFMG, *campus* Formiga. (<http://lattes.cnpq.br/8657753131106841>). E-mail: viniciusaugusto.dantas@yahoo.com.br

⁵ Doutorando no COPEL (UFU) e professor do IFMG, *campus* Formiga. (<http://lattes.cnpq.br/4886511418619147>). E-mail: andre.roger@ifmg.edu.br.

Em Lopes e Souza (2003) é demonstrado que bloquear o tap de transformadores no momento correto pode evitar o fenômeno de colapso de tensão. De maneira análoga, Moura *et al.* (2013) consideraram o bloqueio das tensões terminais de geradores com o intuito de ampliar a máxima potência elétrica transferida para o sistema analisado ao deslocar o ponto operativo de instabilidade.

A descoberta de pontos indesejáveis de operação e ações de controle que venham a alterar esse ponto operativo também permite evitar desligamentos indevidos nos sistemas. Marujo *et al.* (2014), Mohn e Souza (2006) e Moura *et al.* (2016) sugerem uma metodologia de mudança de ponto operativo baseada na curva QV.

Assim, fica claro o quanto é importante analisar a estabilidade de sistemas elétricos de potência. Este trabalho deseja estudar se existe uma relação entre a corrente de curto de circuito e os modelos dinâmicos adotados em estudos de estabilidade. Para isso, foram aplicadas correntes de curto circuito em seus terminais e determinado o tempo máximo que essas correntes podem ser mantidas no sistema para que a estabilidade dinâmica pós-distúrbio ainda exista.

Como forma de organizar o trabalho, a primeira seção introduz a importância de estudos de estabilidade como forma de evitar condições operativas indesejáveis. A seção 2 apresenta conceitos de fluxo de potência e estabilidade dinâmica para que os testes indicados na seção 3 sejam totalmente compreendidos. Por fim, considerações finais e trabalhos futuros são apresentados na seção 4.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estudos de fluxo de potência

Antes que um estudo de estabilidade dinâmica possa ser desenvolvido, é necessário determinar o ponto operativo inicial do sistema analisado. Esse ponto operativo inicial é obtido através de estudos de fluxo de potência, em que os valores de tensão em cada barramento são determinados, assim como os fluxos de potência transmitidos.

O método de fluxo de potência utiliza o processo iterativo de Newton Raphson em sua resolução, pois as equações envolvidas são do tipo não linear (MONTICELLI, 1983). A explicação da utilização desse método pode ser entendida no Quadro 1.

Matemático	Físico
$f(x)=0$	$\sum P=0$ $\sum Q=0$
x (variável de estado)	V e θ (variáveis de estado)
$x \Rightarrow$ solução. Interrompe-se o processo quando a diferença entre duas soluções for menor que uma tolerância ϵ	Aceitar uma tolerância, neste caso, equivale a aceitar uma pequena violação na lei de Kirchoff

Quadro 1 - Analogia matemática elétrica do processo de fluxo de potência
Fonte: MOURA; ETO (2007)

Neste trabalho, o cálculo de fluxo de potência foi desenvolvido utilizando-se o software ANAREDE - Análise de Redes Elétricas, versão estudantil, de propriedade intelectual do grupo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL, 2015).

É importante ressaltar que todos os programas desenvolvidos pelo grupo CEPEL são confiáveis ao ponto de serem utilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS, 2017).

2.2 Estudos de estabilidade dinâmica de sistemas elétricos de potência

Estudos de estabilidade dinâmica buscam conhecer o comportamento de um sistema elétrico de potência na ocorrência de um distúrbio. Um distúrbio pode ser qualquer ocorrência que altere o ponto operativo do sistema analisado como, por exemplo, variação de carga, mudança de taps de transformadores, ativação/desligamento de disjuntores, curto circuitos, entre outros fenômenos.

Esses distúrbios são classificados quanto a sua severidade (KUNDUR *et al.*, 2004) e tal diferenciação influencia no tipo de modelagem utilizada para representar o sistema elétrico. Neste trabalho, foi analisado o distúrbio de curto circuito nos terminais dos geradores, no qual exige-se uma modelagem dinâmica, por apresentar uma grande excursão das variáveis de estado.

Instabilidade, por sua vez, é quando o sistema não consegue manter o ponto operativo dentro dos padrões aceitos de níveis de tensão e frequência. Existem vários tipos de instabilidade e em muitas situações os seus efeitos estão interligados. (KUNDUR, 1994; KUNDUR *et al.*, 2004).

Este trabalho utilizou o software ANATEM (CEPEL, 2015), também de propriedade do grupo CEPEL, para realizar as simulações dinâmicas. Este software apresenta três modelos dinâmicos de geradores, 24 modelos dinâmicos de reguladores de tensão e 12 modelos dinâmicos de PSS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Testes preliminares

Os testes preliminares introduzem o problema para que nas próximas seções, os resultados de todos os modelos dinâmicos sejam apresentados.

Considere o sistema representado pela Figura 1, onde existe um gerador conectado em um barramento infinito por meio de uma impedância reativa.

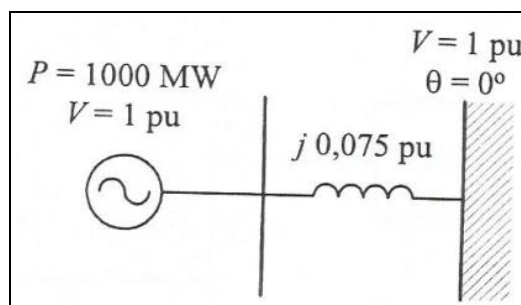


Figura 1 - Sistema gerador ligado a um barramento infinito por meio de uma impedância

Fonte: Programa ANATEM (2008)

A impedância de conexão das barras de $j0,075$ p.u. está na base de 100 MVA. A máquina está representando uma usina composta por seis unidades geradoras iguais, cujos parâmetros de cada unidade são:

Tabela 1 – Valores das constantes para os modelos dinâmicos da Figura 1

$Base = 184 \text{ MVA}$	$H = 4,938 \text{ s}$	$D = 0$	$r = 0$	$X_1 = 0,158 \text{ p.u.}$
$X_d = 1,138 \text{ p.u.}$	$X_q = 0,681 \text{ p.u.}$	$X'_d = 0,350 \text{ p.u.}$	$X''_d = X''_q = 0,288 \text{ p.u.}$	$T'_{d0} = 5,6 \text{ s}$
$T''_{d0} = 0,080 \text{ s}$	$T''_{q0} = 0,150 \text{ s}$	$A = 0,013$	$B = 7,920$	$C = 0,8$

Fonte: Programa ANATEM (2008)

Para o sistema apresentado na Figura 1, o regulador de tensão e o estabilizador de potência são os indicados pelas Figuras 2 e 3.

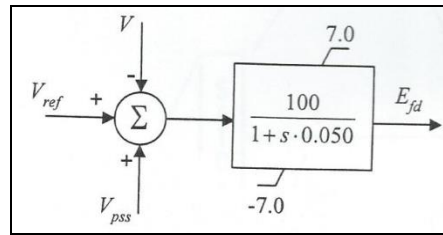


Figura 2 - Regulador de tensão
Fonte: Programa ANATEM (2008).

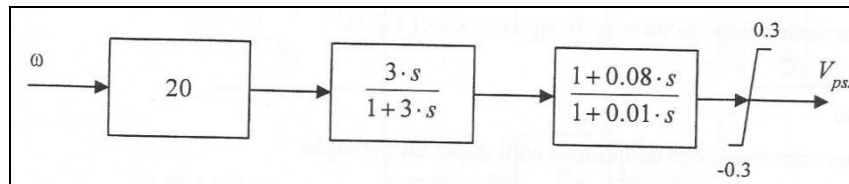


Figura 3 - Estabilizador de potência
Fonte: Programa ANATEM (2008)

Conforme afirmado anteriormente, pretende-se avaliar se existe relação entre modelos dinâmicos utilizados em sistemas elétricos de potência e o tempo de permanência de correntes de curto circuito que possam causar instabilidades dinâmicas. Dentro desse contexto, define-se tempo crítico de falta como o tempo máximo que uma corrente de curto circuito pode permanecer em um sistema e que se retirado neste instante o sistema elétrico de potência ainda apresentaria estabilidade dinâmica. Em outras palavras, caso o sistema de proteção atue com um tempo superior ao crítico, o sistema elétrico sofrerá instabilidade dinâmica pós-distúrbio. Em todas as simulações apresentadas a seguir, o sistema de proteção não será utilizado, pois se pretende evidenciar o comportamento da estabilidade dinâmica pós-distúrbio.

A metodologia de trabalho de todas as simulações deste trabalho seguiu os seguintes passos:

- a) escolheram-se os modelos dinâmicos analisados;
- b) para os modelos dinâmicos analisados, uma corrente de curto circuito com duração de 5 milissegundos foi aplicada nos terminais do gerador representado pela Figura 1;
- c) caso a estabilidade pós-distúrbio fosse encontrada, a duração da corrente de curto circuito seria aumentada de 5 milissegundos e novamente a simulação seria efetuada;

- d) o passo 3 foi repetido até que a instabilidade dinâmica para os modelos analisados fosse encontrada. O tempo de duração da corrente de curto circuito onde a instabilidade dinâmica foi encontrada correspondia ao tempo crítico de falta.

3.1.1 Exercício 1: verificação do tempo crítico de falta considerando apenas o modelo dinâmico do gerador

Considere agora o sistema apenas com a máquina equivalente, representando a usina com seis unidades geradoras contra a barra infinita.

Para o sistema modelado dinamicamente apenas pelo gerador, se o curto circuito durar 45 milissegundos, existe estabilidade dinâmica pós-distúrbio, Figura 4. Efetuando-se novamente outro teste e considerando agora que o curto circuito é mantido durante 50 milissegundos, é encontrada instabilidade dinâmica pós-distúrbio, Figura 5. As Figuras 4 e 5 foram obtidas do software ANATEM e demonstram o comportamento da frequência elétrica. O software utilizado permite visualizar várias variáveis de estado.

Assim, pode-se concluir que para o sistema representado pela Figura 1, sem reguladores, o tempo máximo de curto circuito é de 45 milissegundos, pois durante as simulações o intervalo de integração é de cinco milissegundos.

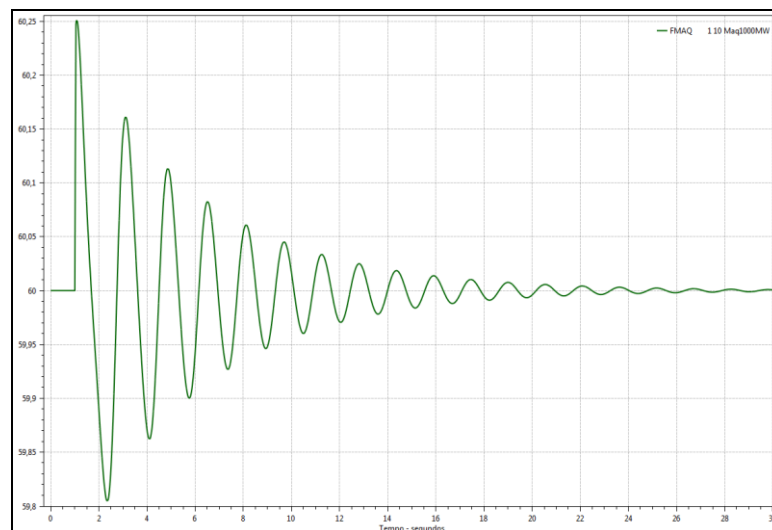


Figura 4 - Estabilidade dinâmica para sistema com apenas o modelo do gerador e tempo de curto igual a 45 milissegundos

Fonte: Próprio autor

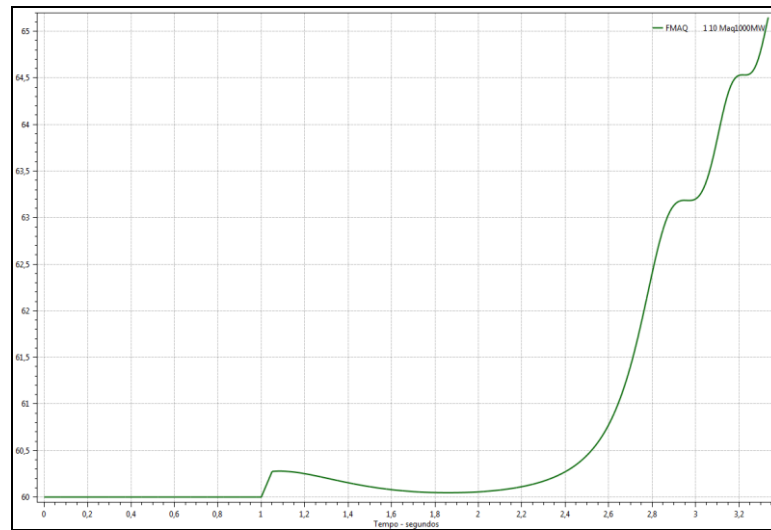


Figura 5 - Instabilidade dinâmica para sistema com apenas o modelo do gerador e tempo de curto igual a 50 milissegundos

Fonte: Próprio autor

3.1.2 Exercício 2: verificar tempo crítico de falta considerando os modelos dinâmicos do gerador e do regulador de tensão

Neste teste, o modelo de regulador de tensão, Figura 2, é incluído junto com o modelo do gerador. Para um curto circuito de duração de cinco milissegundos, o sistema não apresentou estabilidade dinâmica quando os modelos de gerador e regulador de tensão são considerados, conforme pode ser observado pela Figura 6. A Figura 6, também obtida do software ANATEM, indica o comportamento da potência reativa do gerador quando submetida a este distúrbio.

A explicação para este resultado é que no regulador de tensão existem valores mínimos e máximos de tensão, o que comparado com o caso do Exercício 1 significa uma restrição adicional para ser atendida pelo ponto operacional.

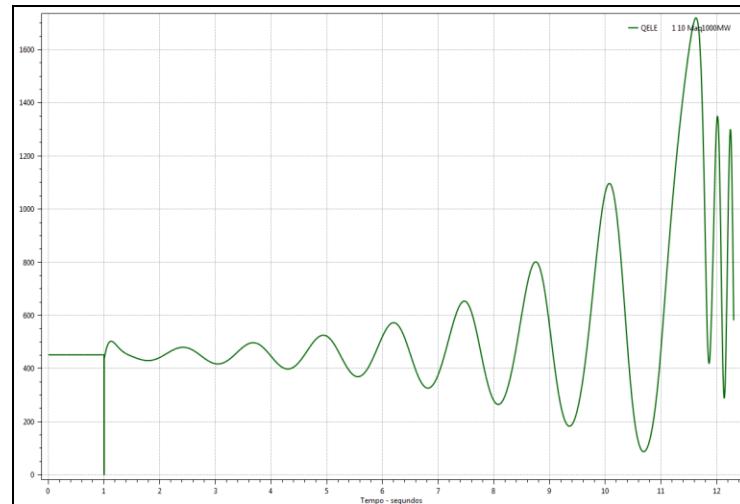


Figura 6 - Instabilidade dinâmica para sistema com os modelos do gerador e regulador de tensão para um tempo de curto igual a 5 milissegundos

Fonte: Próprio autor

3.1.3 Exercício 3: verificar o tempo crítico de falta considerando os modelos dinâmicos do gerador, regulador de tensão e sinal estabilizador

Para esses modelos dinâmicos compostos pelas Figuras 1, 2 e 3, um tempo de falta igual a 90 milissegundos apresenta estabilidade dinâmica pós-distúrbio, Figura 7. Efetuando-se novamente esse teste e ajustando a duração do tempo de curto circuito para 95 milissegundos, a instabilidade dinâmica é encontrada, Figura 8. Assim, conclui-se que o tempo crítico é igual a 90 milissegundos para esse caso. As Figuras 7 e 8 foram obtidas do software ANATEM e indicam o comportamento da potência ativa gerada pelo modelo dinâmico do gerador.

Assim, esses exercícios demonstram que o tempo de curto circuito é diferente dependendo da quantidade de modelos dinâmicos considerados. Tal constatação é a motivação para a existência do trabalho, pois se pretende estudar o valor das correntes de curto circuito para diferentes modelos dinâmicos.

Os modelos dinâmicos que foram testados estão indicados nas seções seguintes e são os contidos no manual do fabricante do programa ANATEM versão 11.1.0. Ao todo foram testados 3 modelos diferentes de geradores, 24 modelos diferentes de reguladores de tensão e 12 modelos de estabilizadores de potência sincronizante (PSS).

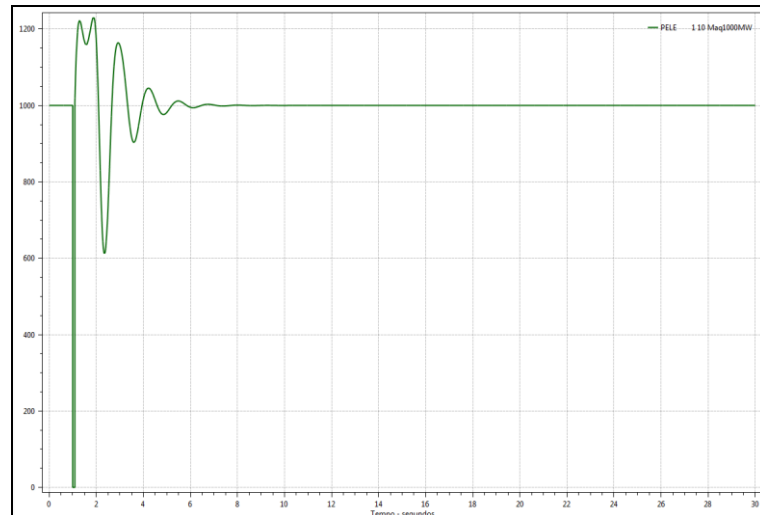


Figura 7 - Estabilidade dinâmica pós-distúrbio para os modelos de gerador, regulador de tensão e PSS com tempo de curto de circuito igual a 90 milissegundos

Fonte: Próprio autor

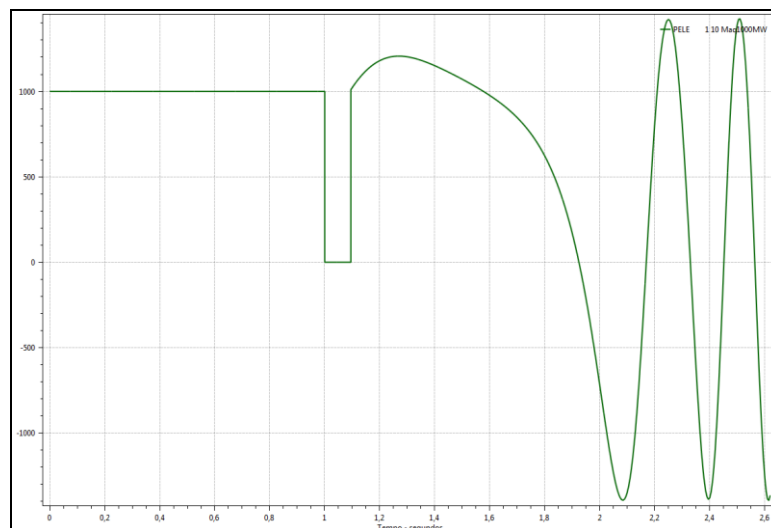


Figura 8 - Instabilidade dinâmica pós-distúrbio para os modelos de gerador, regulador de tensão e PSS com tempo de curto de circuito igual a 95 milissegundos

Fonte: Próprio autor

3.2 Testes com diferentes modelos dinâmicos

3.2.1 Relação entre os modelos de geradores e o tempo máximo da corrente de curto circuito

Neste teste, apenas os modelos dos geradores são considerados. Em outras palavras, considera-se que o sistema ilustrado pela Figura 1 não apresenta regulador de tensão nem

estabilizador. Os valores dos tempos críticos para os modelos de geradores (CEPEL, 2014) estão indicados no Quadro 2.

Modelo barramento infinito	Modelo gerador	Tempo máximo de curto circuito
MD01	MD01	Não se aplica
MD01	MD02	47 milissegundos
MD01	MD03	47 milissegundos

Quadro 2 - Valores dos tempos críticos para diferentes modelos de geradores
Fonte: Próprio autor

No Quadro 2, não foi possível obter o tempo crítico quando o gerador apresentava o modelo pré-definido do tipo MD01. A razão é que o modelo MD01 é caracterizado para barramentos onde não existe variação de tensão e frequência. Em outras palavras, o modelo MD01 é usado para modelar barramentos infinitos. Assim, a simulação com dois barramentos infinitos não encontra o tempo crítico, o que faz a busca aqui pretendida não se aplicar.

Para o modelo MD02, os valores foram introduzidos conforme ilustrado pela Figura 9. Por sua vez, a entrada de valores para o modelo MD03 está indicada na Figura 10. As Figuras 9 e 10 servem para demonstrar que em todos os testes, os valores das variáveis de entrada não sofreram alterações para que a comparação dos tempos críticos fosse válida.

```

DMDG MD02
| (No) 0 (CS) (Ld ) (Lq ) (L'd)      (L''d) (Ll ) (T'd)      (T''d) (T''q)
| (No)  (Ra ) ( H ) ( D ) (MVA) Fr
| 22      22 113.8 68.1 35.      28.8 15.8 5.6      0.08 0.15
| 22      4.938      184.
| 999999

```

Figura 9 - Entrada de valores para o modelo de gerador MD02
Fonte: Próprio autor

```

DMDG MD03
| (No)  (CS) (Ld ) (Lq ) (L'd) (L'q) (L''d) (Ll ) (T'd) (T'q) (T''d) (T''q)
| 22      22 113.8 68.1 35. 35. 28.8 15.8 5.6 5.6 0.08 0.15
| (No)  (Ra ) ( H ) ( D ) (MVA) Fr C
| 22      4.938      184.
| 999999

```

Figura 10 - Entrada de valores para o modelo de gerador MD03
Fonte: Próprio autor

3.2.2 Relação entre os modelos de reguladores de tensão e gerador com o tempo máximo da corrente de curto circuito

Nesta seção todos os modelos de reguladores de tensão são testados. Escolheu-se arbitrariamente a representação do gerador pelo modelo MD02, pois conforme observado pela seção anterior, a escolha entre os modelos de geradores MD02 e MD03 não influencia nos valores de tempo crítico.

Os tempos críticos encontrados quando os modelos de reguladores de tensão também são considerados estão indicados no Quadro 3.

Modelo barramento infinito	Modelo gerador	Modelo regulador de tensão	Tempo máximo de curto circuito
MD01	MD02	MD01	Zero
MD01	MD02	MD02	Zero
MD01	MD02	MD03	Zero
MD01	MD02	MD04	Zero
MD01	MD02	MD05	Zero
MD01	MD02	MD06	Zero
MD01	MD02	MD07	Zero
MD01	MD02	MD08	50 milissegundos
MD01	MD02	MD09	Zero
MD01	MD02	MD10	20 milissegundos
MD01	MD02	MD11	Zero
MD01	MD02	MD12	Zero
MD01	MD02	MD13	Zero
MD01	MD02	MD14	45 milissegundos
MD01	MD02	MD15	45 milissegundos
MD01	MD02	MD16	Zero
MD01	MD02	MD17	Oscilatório estável com 10 milissegundos
MD01	MD02	MD18	Zero
MD01	MD02	MD19	Zero
MD01	MD02	MD20	50 milissegundos
MD01	MD02	MD21	Zero
MD01	MD02	MD22	Zero
MD01	MD02	MD23	Zero
MD01	MD02	MD24	Zero

Quadro 3 - Valores dos tempos críticos para diferentes modelos de geradores em conjunto com reguladores de tensão

Fonte: Próprio autor

Pelo Quadro 3 é fácil perceber que diferentes modelos de reguladores de tensão apresentam diferentes tempos máximos da corrente de curto circuito. Isto deixa claro que a escolha de modelos dinâmicos não pode ser aleatória e caso ações de controle não sejam executadas antes destes tempos críticos, instabilidades dinâmicas ocorrerão.

A simulação indicada no Exercício 2 (seção 3.1.2) corresponde ao modelo de regulador de tensão MD01 e ao modelo de gerador MD02. Esse teste está indicado no Quadro 3 onde novamente é observada a inexistência da estabilidade dinâmica.

3.2.3 Relação entre os modelos de PSS, geradores e reguladores de tensão com o tempo máximo da corrente de curto circuito

Nesta seção estarão simulados diversos modelos dinâmicos de PSS junto com o modelo dinâmico MD02 do gerador e o modelo dinâmico MD014 do regulador de tensão. Escolheu-se este modelo de regulador de tensão devido a sua simplicidade, pois ele necessita de poucos valores de entrada conforme pode ser ilustrado nas Figuras 11 e 12.

Os tempos críticos encontrados nas simulações dinâmicas estão indicados no Quadro 4.

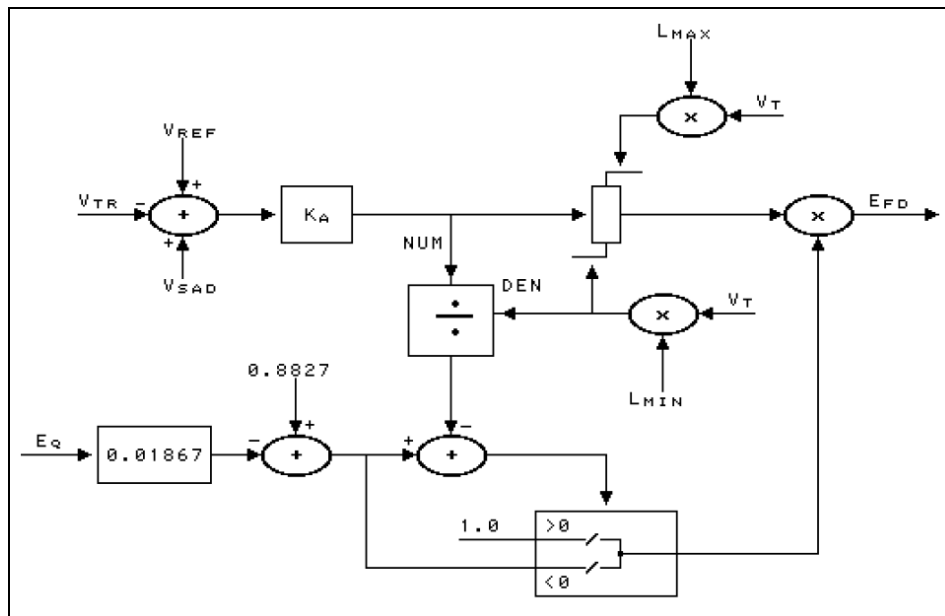


Figura 11- Diagrama de blocos do modelo de regulador de tensão MD014
Fonte: Cepel (2014)

```

( MODELO PRÉ-DEFINIDO DE REGULADOR DE TENSÃO
DRGT MD14
| (No)      (Ka ) (Lmn) (Lmx)
| 0001      1.0-9999999999
| 999999

```

Figura 12 - Entrada de valores para o modelo de regulador de tensão MD014

Fonte: Próprio autor

Modelo barramento infinito	Modelo gerador	Modelo regulador de tensão	Modelo PSS	Tempo máximo de curto circuito
MD01	MD02	MD014	MD01	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD02	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD03	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD04	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD05	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD06	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD07	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD08	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD09	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD10	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD11	45 milissegundos
MD01	MD02	MD014	MD12	45 milissegundos

Quadro 4 - Valores dos tempos críticos para diferentes modelos de geradores em conjunto com reguladores de tensão e PSS's

Fonte: Próprio autor

Pelo Quadro 4 é observado que a variação do tipo de PSS não influenciou no valor do tempo máximo de curto circuito (tempo crítico). Assim, a princípio, pode-se concluir que o modelo do regulador de tensão tem uma influência maior na variação desse tempo (Quadro 3).

No Exercício 3 (seção 3.1.3) obteve-se um tempo de 90 milissegundos. É importante ressaltar que o PSS ilustrado pela Figura 3 não é um modelo pré-definido de estabilizador encontrado no programa ANATEM. Dessa forma, a criação de modelos dinâmicos torna-se algo fundamental para a robustez do sistema elétrico em termos de estabilidade dinâmica.

4 CONCLUSÃO

4.1 Considerações Finais

Os resultados demonstraram que o tempo de curto circuito máximo depende do tipo do modelo dinâmico adotado pelo sistema elétrico de potência. Isso torna evidente que a robustez do sistema frente a esse severo distúrbio influencia no ajuste do sistema de proteção para que

se evite a ocorrência da instabilidade dinâmica. Além disso, tal constatação torna evidente que a escolha dos modelos dinâmicos não pode ser aleatória.

Além disso, foi observada uma maior influência dos modelos de regulador de tensão se comparado com os outros tipos de modelos. Assim, é demonstrado mais uma vez que existe interligação entre o suporte de potência reativa e a sincronização do gerador. É provável que em sistemas já existentes, a inserção de novas fontes reativas possa vir a aumentar o tempo máximo de corrente de curto circuito admissível.

Por fim, sugere-se que em futuras instalações, os testes aqui apresentados sejam utilizados em conjunto com outros já conhecidos nas normas técnicas para uma correta escolha dos modelos dinâmicos.

4.2 Trabalhos Futuros

A metodologia pode ser analisada em sistemas maiores como os sistemas testes do IEEE de 14, 30,57 e 118 barramentos. Além disso, pode-se testar como o fornecimento de potência reativa pode ampliar o tempo máximo de curto circuito permitido.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DYNAMIC MODELS IN THE DURATION TIME OF SHORT CIRCUIT CURRENTS.

ABSTRACT

The main purpose of an electric power system is to supply the power required by the consumer with pre-established voltage and frequency values. In this sense, the use of dynamic regulators is fundamental, since their actions against disturbances is to maintain the dynamic stability of the system where they are inserted. There are several dynamic models for voltage and speed regulators and which models should be chosen in the occurrence of short circuit at its terminals is the concern of this article. The results demonstrated that there is variation in the maximum duration time of these currents in function of the adopted dynamic model. In all simulations, operational limits will be considered.

Keywords: Dynamic stability, short circuit current, dynamic models.

REFERÊNCIAS

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANAREDE**: análise de redes elétricas. Versão 10.1.3. [S.l.]: Cepel, c2015.

MOURA, R. S. et al. Análise da influência de modelos dinâmicos no tempo de duração de correntes de curto circuito

_____. **ANATEM**: análise de transitório eletromecânicos. Versão 11.1.0. [S.l.]: Cepel, c2015.

_____. **Manual do usuário-programa ANATEM**: análise de transitórios eletromecânicos. Versão 10.04.06. [S.l.]: Cepel, 2014.

KUNDUR, P. et al. Definition and classification of power system stability. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 19, n. 3, p. 1387-1401, aug. 2004.

KUNDUR, P. **Power system stability and control**. New York: McGraw-Hill, 1994.

LOPES, B. I. L.; SOUZA. A. C. Z. On multiple tap blocking to avoid voltage collapse. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 67, n. 3, p. 225-231, dec. 2003.

MARUJO, D. *et al.* On Control Actions Effects by Using QV Curves. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 30, n. 3, may 2014.

MOHN, F. W.; SOUZA. A. C. Z. Tracing PV and QV curves with help of a CRIC continuation method. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 21, n. 3, jul. 2006.

MONTICELLI, A. J. **Fluxo de carga em redes de energia elétrica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1983.

MOURA, R. S. *et al.* Blocking reactive power generation as a voltage control measure. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 22., 2013, Estocolmo. **Anais...** Estocolmo: CIRED, 2013.

MOURA R. S. *et al.* Effects of QV curves in the dynamic behaviour of power systems. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 10, n. 12, aug. 2016.

MOURA, R. S.; ETO, T. T. **Efeito do controle de tensão em problemas de colapso de tensão**. 2007. 7 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica)– Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. c2013. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/home/>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

PROGRAMA ANATEM. **Curso de treinamento 2008**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2008.

Recebido em: 1º/06/2017

Aprovado em: 04/07/2017

Publicado em: 06/09/2017