

ESTIMAÇÃO DE FASORES DE TENSÃO EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO: UMA ABORDAGEM SOBRE A INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

PAULO V. B. OLIVEIRA*, RAPHAEL L. A. REIS†, WASHINGTON L. A. NEVES*, DAMÁSIO FERNANDES JR.*

**Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Caixa Postal 10053, 58429-900 Campina Grande-PB, Brasil*

†*Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco -
UFRPE
Cabo de Santo Agostinho-PE, Brasil*

Emails: paulo.oliveira@ee.ufcg.edu.br, raphael.reis@ufrpe.br, waneves@dee.ufcg.edu.br, damasio@dee.ufcg.edu.br

Abstract— In this work, the impact of the data acquisition system on functions of power system protection is evaluated, particularly about the estimation of voltage phasors computed with the use of the Full Cycle Discrete Fourier Transform algorithm. A Coupling Capacitor Voltage Transformer (CCVT) reported in the literature and three types of *anti-aliasing* filters are used in the analysis. The use of such filters is common in data acquisition systems to avoid the aliasing phenomenon occurrence. Therefore, two fault scenarios were simulated in the ATP - *Alternative Transients Program*, varying the fault type, location and incipient angle. From the obtained results, it is verified that the data acquisition system affects the calculation of the voltage phasors, which may affect the performance of fault location and protection functions.

Keywords— Phasor Estimation, Data Acquisition System, Transmission Systems, Faults, Power System Protection.

Resumo— Neste trabalho, o impacto do sistema de aquisição de dados sobre funções de proteção de sistemas elétricos é avaliado, mais particularmente sobre a estimação de fasores de tensão calculados utilizando o algoritmo Fourier de Ciclo Completo. Um Transformador de Potencial Capacitivo reportado na literatura e três tipos de filtros *anti-aliasing* são utilizados nas análises. A utilização desses filtros é comum em sistemas de aquisição de dados para evitar a ocorrência do fenômeno de *aliasing*. Deste modo, foram simulados dois cenários de falta no ATP - *Alternative Transients Program*, variando-se o tipo de falta, local e ângulo de incidência. A partir dos resultados obtidos, constata-se que o sistema de aquisição de dados influi no cálculo dos fasores de tensão, o que pode afetar o desempenho de algoritmos de localização de faltas e funções de proteção.

Palavras-chave— Estimação Fasorial, Sistema de Aquisição de Dados, Sistemas de Transmissão, Faltas, Proteção de Sistemas Elétricos.

1 Introdução

O consumo de energia elétrica vem apresentando um ritmo de crescimento elevado em todo o mundo. Esse aumento de consumo é inerente ao desenvolvimento da sociedade, e como consequência observa-se que os Sistemas Elétricos de Potência (SEP) estão se tornando cada vez mais robustos, extensos e complexos, fazendo assim com que o mesmo esteja mais susceptível a ocorrência de defeitos.

A maioria dos equipamentos constituintes dos sistemas elétricos, como transformadores e geradores, dentre outros, requer elevados investimentos, além de possuir uma manutenção dispendiosa. Associado a isso, há o fato de que se faz necessária a continuidade do serviço de fornecimento de energia elétrica aos consumidores, portanto, eventuais falhas que possam comprometer a operação dos equipamentos ou o fornecimento de energia elétrica devem ser resolvidas de maneira rápida e eficiente.

Nesse contexto, o sistema de proteção do SEP possui grande importância devido às suas funções inerentes de resguardar o SEP e garantir a con-

tinuidade do serviço prestada pelas empresas do setor elétrico. Um sistema de proteção pode ser definido como um conjunto de equipamentos que tem como objetivo proteger o SEP contra faltas e quaisquer outras condições anormais de operação nos componentes do sistema elétrico.

Portanto, é necessário que seja realizado um monitoramento rigoroso das grandezas elétricas, de modo a garantir medições confiáveis e consequentemente uma atuação precisa dos sistemas de proteção. Os algoritmos de estimação fasorial utilizam, como dados de entrada, os sinais de tensão ou corrente provenientes de transformadores para instrumentos (TI).

Os Transformadores de Potencial Capacitivo (TPC) são utilizados para obter medições de tensão. Esses transformadores são equipamentos projetados para reduzir os altos valores de tensão do SEP para níveis adequados à operação dos dispositivos de medição e proteção (Frontin, 2013), (Reis, 2015).

Em condições de regime permanente, a tensão secundária dos TPC é praticamente uma réplica da tensão primária na frequência fundamental (normalmente de 60 Hz), apresentando, assim,

uma exatidão aceitável à maioria das aplicações. Porém, quando da ocorrência de faltas no SEP, tais sinais podem se apresentar de forma distorcida aos elementos conectados em seus terminais secundários. Tal fato pode comprometer a atuação correta dos algoritmos de proteção e as rotinas de estimação (Reis et al., 2015).

Antes dos sinais de tensão e corrente oriundos do secundário dos TI serem processados pelo relé de proteção, eles precisam passar por um processo de filtragem. O filtro utilizado é um filtro analógico passa-baixas, denominado *anti-aliasing*, cuja função é impedir a sobreposição de espectros durante o processamento dos sinais. No entanto, é possível que o filtro utilizado torne mais nítida a distorção observada no secundário dos TI, dificultando assim os cálculos dos algoritmos de proteção (Lopes et al., 2013).

Neste contexto, várias pesquisas têm analisado o impacto da resposta transitória de TPC sobre o desempenho dos sistemas de proteção, localização de falta e estimação fasorial (Reis, 2015), (Reis et al., 2015), (Bainy et al., 2012), (Cruz, 2014). No entanto, há poucas análises na literatura a respeito da influência do conjunto TPC+filtro *anti-aliasing* sobre os métodos de estimação fasorial. Neste sentido, visando preencher essa lacuna, apresenta-se nesse trabalho o impacto de um modelo de TPC de 230 kV, reportado na literatura, e de três tipos distintos de filtros *anti-aliasing* sobre o cálculo de fasores de tensão obtidos por meio de rotinas de estimação fasorial utilizadas em aplicações de proteção. Para realizar tais análises utilizou-se o *Alternative Transients Program (ATP)* para simular dois casos diferentes de faltas em um SEP e os fasores obtidos foram comparados com as medições ideais feitas diretamente no circuito primário do sistema.

2 Sistema de Aquisição de Dados

Na Figura 1 é ilustrado um diagrama de blocos simplificado referente ao sistema de aquisição de dados usado em aplicações de proteção, composto por um TPC, um filtro *anti-aliasing* e um conversor analógico/digital (A/D). Nesse sistema, o sinal de tensão do SEP é medido pelo TPC e após passar pelo filtro *anti-aliasing* e pelo conversor A/D, tem-se o sinal digital resultante que será utilizado na estimação fasorial. Nesse trabalho, o conversor A/D foi considerado ideal, uma vez que o foco do estudo foi analisar a influência do TPC e dos filtros *anti-aliasing*. Em trabalhos futuros a influência do conversor será incluída nas análises.

2.1 Modelo de TPC Proposto em IEEE Power System Relaying Committee (2004)

Os TPC são amplamente utilizados para obter sinais de tensão do SEP para a utilização em



Figura 1: Diagrama de blocos simplificado do sistema de aquisição de dados.

dispositivos de proteção e medição (IEEE Power System Relaying Committee, 2004). A topologia do modelo de TPC avaliado está ilustrada na Figura 2 e os parâmetros dos componentes são detalhados na Tabela 1.

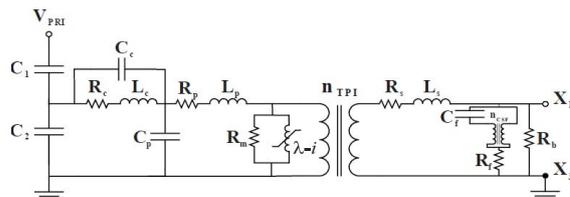


Figura 2: Topologia do TPC proposto em IEEE Power System Relaying Committee (2004).

Tabela 1: Parâmetros do TPC de 230 kV proposto em IEEE Power System Relaying Committee (2004).

| Elemento | Valor |
|--------------------|----------|
| $C_1(nF)$ | 2, 43 |
| $C_2(nF)$ | 82 |
| $C_c(pF)$ | 100 |
| $C_p(pF)$ | 150 |
| $C_f(\mu F)$ | 9, 6 |
| $L_c(H)$ | 153, 85 |
| $L_p(H)$ | 7, 95 |
| $L_s(\mu H)$ | 2, 653 |
| $R_c(\Omega)$ | 228 |
| $R_p(\Omega)$ | 400 |
| $R_s(\Omega)$ | 0, 001 |
| $R_f(\Omega)$ | 40 |
| $R_b(\Omega)$ | 100 |
| n_{CSF} | 1, 98 |
| $n_{TPI}(X_1-X_3)$ | 57, 25 |
| $\lambda(V.s)$ | 13, 7867 |
| $i(mA)$ | 1, 421 |
| $\lambda(V.s)$ | 0, 035 |
| $i(A)$ | 0, 1 |

Para obter a resposta em frequência de módulo e fase do TPC analisado, utilizou-se a rotina *Frequency Scan* do ATP. Essa rotina faz uso de repetições de solução fasorial de regime permanente da função de transferência a partir do incremento automático da frequência de fontes senoidais (Leuven EMTP Center, 1987). A faixa de frequência utilizada foi de 10 Hz a 10 kHz.

É ilustrada na Figura 3 a resposta em frequência do módulo e fase obtida para o TPC analisado. Para que fosse possível realizar comparações entre a resposta em frequência do TPC com a tensão no seu primário, a resposta foi normalizada para valores em p.u.

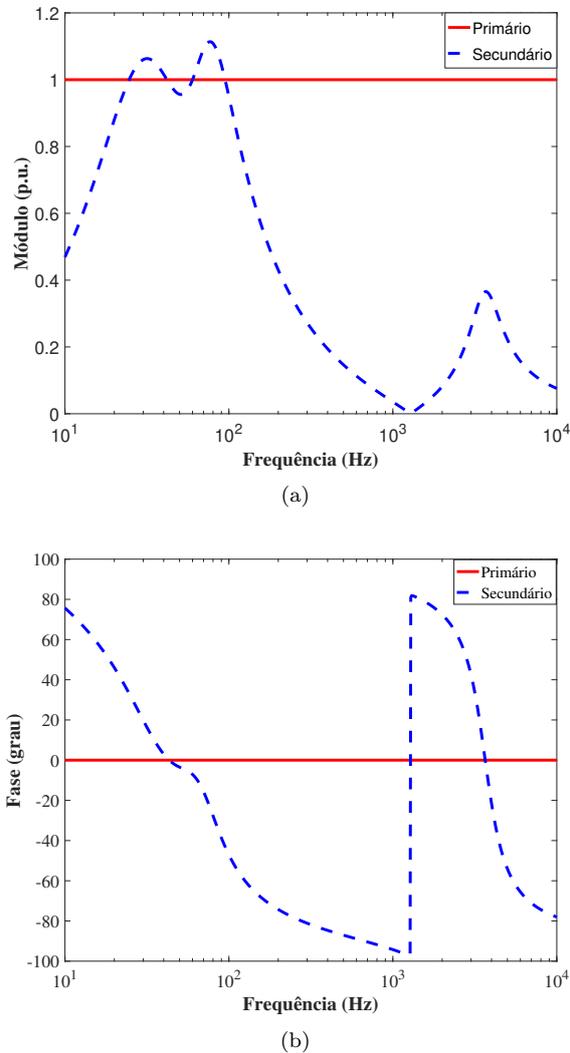


Figura 3: Resposta em frequência do TPC avaliado: (a) Módulo; (b) Fase.

Analisando a resposta obtida na Figura 3a, é possível concluir que quando operando na frequência fundamental (60 Hz), a tensão no secundário do transformador é uma reprodução fiel e bastante exata da tensão no primário. No entanto, para frequências diferentes da fundamental, não se verifica a mesma fidelidade, pois há uma grande atenuação da tensão. Consequentemente, caso ocorram desvios, mesmo que consideravelmente pequenos, na tensão do primário ocasionados por distúrbios no SEP, os mesmos podem não ser observados no secundário do transformador. Desse modo, a operação dos TPC durante o transitório pode comprometer a medição precisa realizada pelos instrumentos alimentados pelo transforma-

dor, afetando seus algoritmos e consequentemente a atuação de tais instrumentos.

A fim de representar no domínio do tempo a resposta transitória do TPC analisado durante uma falta, foram plotados os sinais de tensão do primário e do secundário na Figura 4 para o caso de uma falta monofásica (fase A para terra) ocorrida a 40 km do ponto de medição de um SEP de 230 kV. Este sistema está descrito na seção 4, considerando uma linha com 80 km de comprimento.

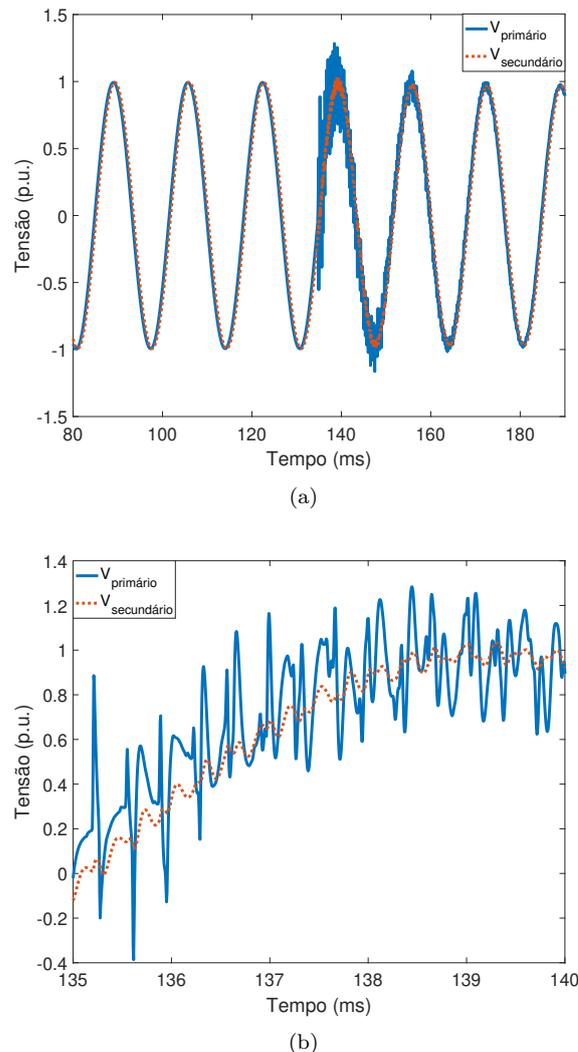


Figura 4: Sinais de tensão no primário e secundário do TPC durante uma falta monofásica: (a) Período avaliado; (b) Momento da falta.

Analisando a Figura 4, observa-se que durante a falta, a tensão no secundário do TPC não representa uma réplica fiel da tensão no seu primário. Fica evidente a atenuação que ocorre nos sinais de alta frequência da tensão. Esse fato pode ser explicado pela resposta em frequência que apresenta atenuação significativa para altas frequências, conforme ilustrado na Figura 3a. Deste modo, tal atenuação pode ocasionar desempenhos indevidos de funções de proteção.

2.2 Filtros Anti-Aliasing Avaliados

Os filtros *anti-aliasing* são filtros analógicos passa-baixa utilizados antes da conversão A/D a fim de limitar a banda de frequência do sinal e evitar o erro de *aliasing* (sobreposição do espectro do sinal). O teorema de Nyquist enuncia que caso determinado sinal tenha sido amostrado a uma taxa de amostragem superior a duas vezes o valor da maior frequência do sinal, tal sinal pode ser perfeitamente recuperado. Portanto, de acordo com o teorema de Nyquist, os filtros *anti-aliasing* devem eliminar componentes de frequência com valores superiores à metade da frequência de amostragem do conversor A/D (Phadke, 2009).

Existem diversos tipos de filtros analógicos como os filtros Bessel, Butterworth e Chebyshev. Os filtros Butterworth de segunda e terceira ordem são os mais utilizados antes da conversão A/D aplicada em relés digitais devido ao fato de não apresentarem oscilações ao longo da faixa de passagem e não promoverem desvios de fase significativos do sinal filtrado (Phadke, 2009). Três filtros são avaliados nessa pesquisa: dois filtros Butterworth (um de segunda e um de terceira ordem) e um filtro Chebyshev de terceira ordem.

Para os cálculos do algoritmo de estimação fasorial avaliado foi utilizada uma frequência de amostragem f_S de 960 Hz, portanto, a frequência de corte dos filtros *anti-aliasing* poderia assumir um valor máximo de $f_S/2$ (480 Hz), de modo a obedecer o teorema da amostragem. A frequência de corte adotada foi de 180 Hz. As respostas em frequência de módulo e fase dos filtros avaliados são apresentadas na Figura 5. Para obter as funções de transferência dos filtros, utilizou-se as funções *butter* (filtros Butterworth) e *cheby1* (filtro Chebyshev) do MATLAB. As funções de transferência dos filtros Butterworth de segunda (HB2) e terceira (HB3) ordens e de Chebyshev de terceira ordem (HC3) estão descritas em (1), (2) e (3), respectivamente.

$$HB2 = \frac{1,279 \cdot 10^6}{s^2 + 1599s + 1,279 \cdot 10^6}, \quad (1)$$

$$HB3 = \frac{1,447 \cdot 10^9}{s^3 + 2262s^2 + 2,558 \cdot 10^6s + 1,447 \cdot 10^9}, \quad (2)$$

$$HC3 = \frac{3,625 \cdot 10^8}{s^3 + 675,5s^2 + 1,187 \cdot 10^6s + 3,625 \cdot 10^8}. \quad (3)$$

3 Algoritmo de Estimação Fasorial Avaliado

Pode-se definir os algoritmos de estimação fasorial como rotinas que são implementadas em relés numéricos para a obtenção de grandezas fundamentais do SEP (Bainy et al., 2012).

O processo de estimação fasorial resulta na obtenção de um fasor composto por módulo e ângulo. A teoria dos fasores é comumente aplicada

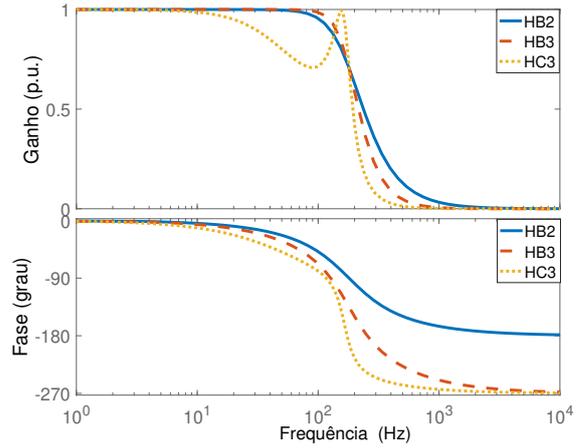


Figura 5: Respostas em frequência dos filtros Butterworth e Chebyshev.

na resolução de circuitos de corrente alternada. Essa teoria tem sido bastante empregada atualmente no monitoramento em tempo real do comportamento dinâmico dos SEP. Os sinais elétricos analisados podem ser afetados por componentes de frequências distintas da fundamental e, portanto, se faz necessário filtrar tais componentes a fim de se analisar sinal com apenas uma componente (Lopes et al., 2015). O algoritmo de estimação fasorial avaliado neste trabalho é o Fourier de Ciclo Completo, do inglês, (FCDFFT).

O FCDFFT é um desenvolvimento da série de Fourier para um período equivalente a um ciclo fundamental de um sinal digitalizado $x(m)$ periódico e considerando que cada ciclo contenha N amostras. Esse algoritmo consiste em extrair a componente de frequência fundamental de um sinal $x(t)$, a partir do produto de um ciclo de amostras deste sinal com as funções seno e cosseno. Como resultado, obtém-se em (4) e (5) as componentes reais e imaginárias, respectivamente, do sinal periódico (Phadke, 2009).

$$X_{re}(k) = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(k-N+m) \cos\left(\frac{2\pi}{N}m\right), \quad (4)$$

$$X_{im}(k) = -\frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(k-N+m) \sin\left(\frac{2\pi}{N}m\right). \quad (5)$$

O termo $x(k-N+m)$ nas equações acima é a m -ésima amostra da k -ésima janela de dados do sinal x janelado. Neste trabalho foram utilizadas 16 amostras para a janela.

Os algoritmos de estimação fasorial devem ser capazes de estimar o fasor da frequência fundamental, desprezando as componentes harmônicas que existirem no sinal. Outro fator que influencia diretamente no desempenho dos algoritmos é a componente DC de decaimento exponencial que

uma corrente de falta pode apresentar. Essa componente tem impacto significativo em algoritmos baseados na série de Fourier (Musa, 2012).

Para avaliar o desempenho do método de estimação fasorial, a resposta em frequência do algoritmo FCDFT foi analisada, a qual é ilustrada na Figura 6.

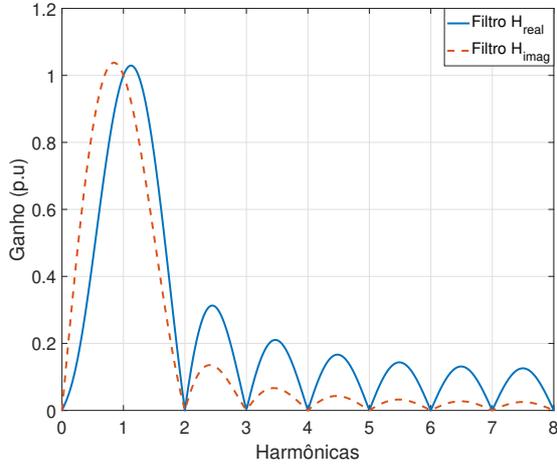


Figura 6: Resposta em Frequência do algoritmo de estimação de fasores FCDFT.

A resposta do algoritmo foi avaliada até a oitava harmônica. Foi possível concluir que todas as componentes harmônicas analisadas foram eliminadas.

4 Análises e Resultados

4.1 Simulações

Para analisar o comportamento do modelo do TPC de 230 kV empregado na medição de tensão de um SEP, foi simulado um sistema fictício no ATP modelado com parâmetros reais. Foram analisados 2 casos de faltas, com diferentes parâmetros. Considerou-se um sistema elétrico de 230 kV e de comprimento $L = 80$ km. O SEP modelado pode ser observado na Figura 7. A distância d é o ponto na linha onde é aplicada a falta F . A Barra 1 foi tomada como o ponto de medição, onde se encontra um relé digital. Os parâmetros da linha de transmissão do sistema simulado estão apresentados na Tabela 2 (Reis et al., 2015).

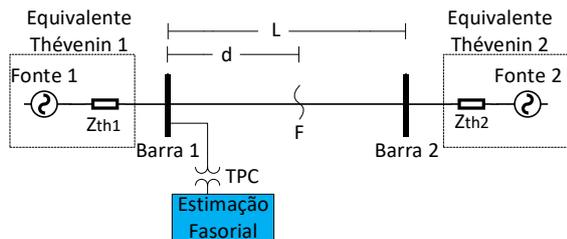


Figura 7: SEP de 230 kV modelado no ATP.

Tabela 2: Parâmetros da linha de transmissão.

| Sequência | $R(\Omega/\text{km})$ | $X(\Omega/\text{km})$ | $\omega C(\mu\text{S}/\text{km})$ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Positiva | 0,098 | 0,510 | 3,252 |
| Zero | 0.532 | 1.541 | 2.293 |

As simulações foram feitas com a utilização dos *softwares* MATLAB e ATP. Para a simulação do sistema e implementação dos filtros *anti-aliasing*, foi utilizada uma rotina no ATP de modo que fosse possível realizar as alterações dos parâmetros para os casos de falta e ao final da simulação fossem obtidos os referentes valores de tensão, antes e após a ocorrência da falta. Para o cálculo dos fasores, foi utilizado o MATLAB. A partir dos dados obtidos da simulação do sistema no ATP, foram calculados os fasores de tensão do algoritmo FCDFT.

Os parâmetros utilizados no primeiro caso analisado foram:

- Falta fase-terra (Fase A para a terra);
- Ângulo de incidência de 30° ;
- Resistência de falta de $1,0 \Omega$;
- $d = 40$ km.

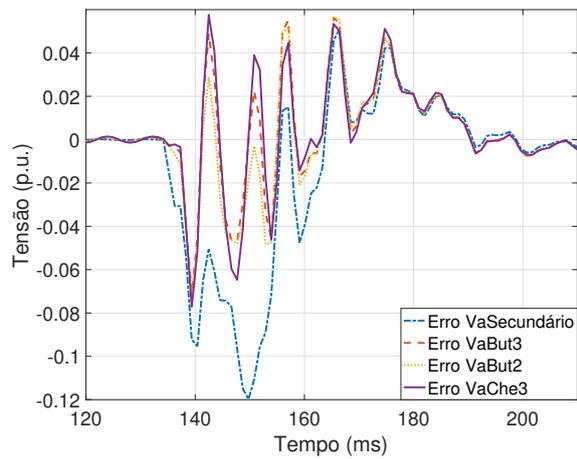
Os parâmetros utilizados no segundo caso analisado foram:

- Falta bifásica-terra (Fases B e C para a terra);
- Ângulo de incidência de 150° ;
- Resistência de falta de $1,0 \Omega$;
- $d = 60$ km.

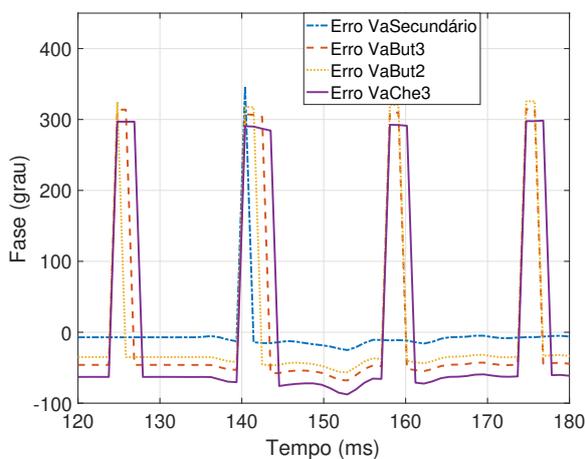
4.2 Análise dos Resultados

A análise dos resultados foi feita mediante a avaliação visual e qualitativa dos gráficos obtidos no domínio do tempo, e por meio da comparação entre os erros dos fasores calculados com os dados oriundos do TPC e dos filtros *anti-aliasing*. Foi considerado como referência, o fasor calculado utilizando a tensão do circuito primário.

Na Figura 8 estão representados os gráficos com os erros de estimação dos fasores de tensão estimados ao final do processo de aquisição do sinal para o primeiro cenário de falta. Cada curva representa a diferença entre o fasor calculado utilizando os sinais de tensão medidos nas diferentes etapas do processo de aquisição (no secundário do TPC e após os filtros) e o fasor estimado usando a tensão no circuito primário, onde Erro VaSecundário, Erro VaBut3, Erro VaBut2 e Erro VaChe3 são, respectivamente, os erros dos fasores estimados utilizando os sinais do secundário do TPC,



(a)

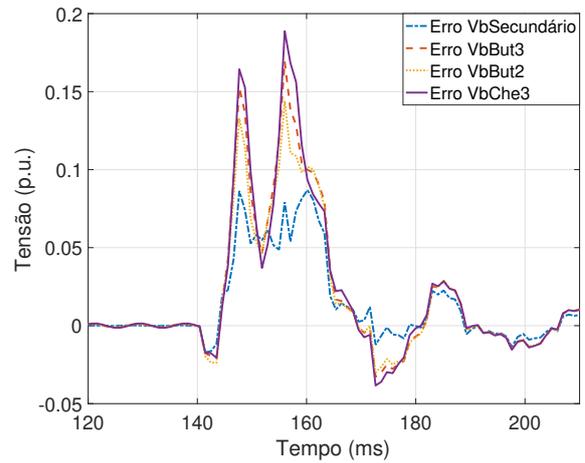


(b)

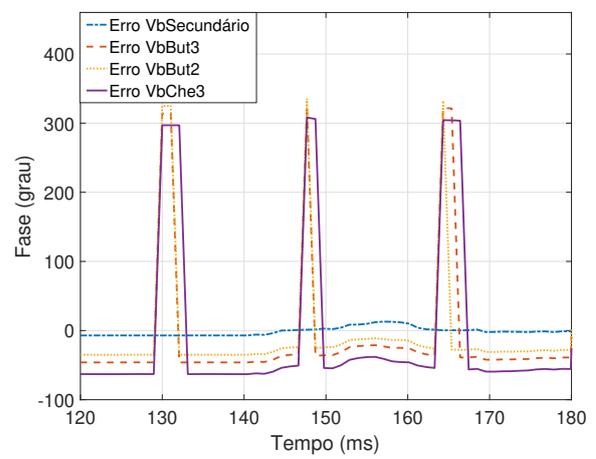
Figura 8: Resultado dos erros na estimação fasorial das tensões do secundário do TPC e dos filtros *anti-aliasing* avaliados para o primeiro caso (falta monofásica): (a) Erro de magnitude; (b) Erro de fase.

da saída dos filtros Butterworth de terceira e segunda ordem e da saída do filtro Chebyshev de terceira ordem. Analogamente, são apresentados na Figura 9 os resultados dos erros na estimação fasorial para o segundo caso de falta.

Mediante análise dos gráficos obtidos, observa-se um padrão quanto às curvas. Durante o período de regime permanente (período no qual a tensão no secundário do TPC é uma réplica fiel da tensão no circuito primário), os erros com relação à magnitude são praticamente nulos. No entanto, quando ocorre a falta, os erros na estimação fasorial tornam-se significativos. Isso se deve ao fato de que durante a falta os transitórios são bastante severos, fazendo com que componentes de alta frequência apareçam no sinal de tensão do circuito primário e, portanto, dificultando a extração da componente fundamental para ser utilizada na estimação fasorial. Isso faz com que os fasores calculados utilizando o sinal de tensão



(a)



(b)

Figura 9: Resultado dos erros na estimação fasorial das tensões do secundário do TPC e dos filtros *anti-aliasing* avaliados para o segundo caso (falta bifásica para a terra): (a) Erro de magnitude; (b) Erro de fase.

medido no primário fiquem bastante distorcidos. Uma vez que o TPC avaliado possui uma resposta em frequência que atenua componentes de alta frequência (ver Figura 3), o sinal de tensão no seu secundário apresenta menos distorções e conseqüentemente fasores menos distorcidos, aumentando assim o erro dos fasores durante o transitório da falta.

Para os filtros, como os mesmos possuem uma baixa frequência de corte, eliminou-se ainda mais componentes com frequências superiores à fundamental e obteve-se assim fasores ainda menos distorcidos, o que fez com que os erros desses fossem maiores. Os fasores obtidos a partir do filtro Chebyshev foram os que apresentaram os maiores erros enquanto que os fasores obtidos a partir do filtro Butterworth de segunda ordem foi o que apresentou os menores erros. Esse fato pode ser explicado analisando a resposta em frequência desses filtros (Figura 5), pois o filtro Chebyshev

apresenta mais oscilações ao longo da banda de passagem.

Com relação aos erros na fase, verifica-se que em regime permanente o erro na fase dos fasores calculados a partir do sinal de tensão do secundário do TPC é baixo e que durante o transitório o erro aumenta (fenômeno esperado dada a resposta em frequência desse TPC) e logo volta ao seu valor inicial. Por outro lado, os filtros acrescentam defasagens consideráveis e de valores idênticos nos sinais de entrada tanto antes quanto após a ocorrência da falta. Os maiores erros na fase foram verificados quando utilizou-se o filtro Chebyshev, enquanto que os menores erros foram obtidos utilizando o filtro Butterworth de segunda ordem. Verifica-se esse fato analisando a Figura 5, o filtro Chebyshev defasa mais os sinais durante todo o espectro de frequência quando comparado aos outros filtros.

Adicionalmente, é feita a reconstrução do sinal de tensão, no domínio do tempo, a partir do filtro Butterworth de segunda ordem. A escolha em apresentar apenas a reconstrução do sinal de saída desse filtro se deu pelo mesmo ter apresentado o melhor resultado entre os filtros avaliados (boa atenuação das componentes de alta frequência e foi o que introduziu a menor defasagem no sinal). Nas Figuras 10 e 11 é feita a comparação entre o sinal reconstruído (V_{aBut2} e V_{bBut2}) e a forma de onda do primário ($V_{aPrimário}$ e $V_{bPrimário}$), para o primeiro e segundo cenário de falta, respectivamente. Observa-se que em ambos os casos o filtro elimina as componentes de alta frequência presentes no sinal de tensão do circuito primário e também defasam esses sinais.

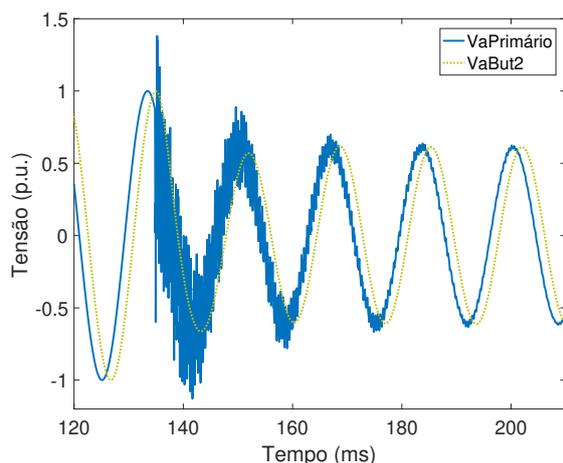


Figura 10: Reconstrução do sinal de tensão a partir do filtro Butterworth de segunda ordem para o primeiro caso.

5 Conclusão

Neste trabalho foi avaliada a influência de um modelo de TPC de 230 kV reportado na literatura,

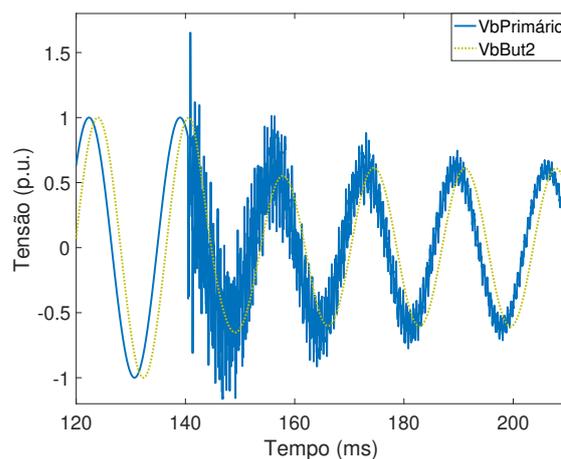


Figura 11: Reconstrução do sinal de tensão a partir do filtro Butterworth de segunda ordem para o segundo caso.

juntamente com três tipos de filtros *anti-aliasing*, em relação ao cálculo dos fasores para aplicações de proteção utilizando o algoritmo FCDFT. Foram simulados dois cenários de falta no ATP: uma monofásica da fase A para a terra e uma bifásica (da fase B para a C) para a terra. A partir dos resultados obtidos, observou-se que a resposta transitória do TPC tem impacto no cálculo da estimação fasorial para o algoritmo avaliado. Essa influência ficou evidente mediante análise dos erros na estimação fasorial.

Durante o regime permanente os erros são muito baixos, praticamente desprezíveis, porém, na ocorrência de uma falta, os erros aumentam significativamente. Verifica-se também que os filtros ocasionam um defasamento nos sinais de tensão oriundos do TPC e consequentemente nos fasores estimados. O filtro Chebyshev foi o que introduziu o maior defasamento, enquanto que o filtro Butterworth de segunda ordem foi o que inseriu o menor defasamento. Esses fatos podem comprometer algoritmos de localização de faltas e funções de proteção.

Os filtros avaliados nesse trabalho foram escolhidos por serem comumente utilizados em funções de proteção, porém, para trabalhos futuros, será feita uma análise de sensibilidade para determinar quais as melhores aplicações para tais filtros dentro da proteção.

Agradecimentos

A Capes pelo financiamento desta pesquisa.

Referências

- Bainy, R. G., Cardoso, L. C., Silva, C. A., Lopes, F. V., Pesente, J. R. e Otto, R. B. (2012). Influência de Modelos de Transformadores de Potencial Capacitivo Sobre a Estimação

de Fasores de Tensão, *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*.

- Cruz, M. C. S. e Medeiros Jr., M. F. (2014). Influência de Erros de Transformadores para Instrumentos na Estimacão da localizacão de Defeitos em Linhas de Transmissão, *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Foz do Iguaçu, PR*.
- Frontin, S. O. (2013). *Equipamentos de Alta Tensão-Prospecção e Hierarquizaco de Inovações Tecnológicas*, Brasília.
- IEEE Power System Relaying Committee. (2004). EMTP Reference Models for Transmission Line Relay Testing. [S.l.]. Disponível em <<http://www.pes-psrc.org>>.
- Leuven EMTP Center. (1987). *ATP - Alternative Transient Program: Rule Book*. Herverlee, Belgium.
- Lopes, F. V., Barros, D., Reis, R. L., Costa, C., Nascimento, J., Brito, N. and Neves, W. e Moraes, S. (2015). Influência de Métodos de Estimacão Fasorial no Processo de Análise de Faltas no Sistema Chesf, *CBQEE*.
- Lopes, F. V., Fernandes Jr., D. and Neves, W. L. A. (2013). Influência de Transformadores de Potencial Capacitivos e Filtros Anti-aliasing sobre Algoritmos de Localizaco de Faltas Baseados em Componentes Transitorias, *CBQEE, Araxá, MG*.
- Musa, O. and Aksamovic, A. (2012). Comparative Analysis of Algorithms for Elimination of Exponentially Decaying dc Component, *Systems, Signals and Image Processing (IWS-SIP), 2012 19th International Conference on*, IEEE, pp. 362-367.
- Phadke, A. G. and Thorp, J. S. (2009). *Computer relaying for power systems*, John Wiley & Sons Inc.
- Reis, R. L. A. (2015). Influência de Transformadores de Potencial Capacitivo e Filtros Anti-aliasing sobre Métodos de Localizaco de Faltas Baseados na Teoria das Ondas Viajantes, *Paraíba, Campina Grande, Brasil: Dissertação de Mestrado, UFCG*.
- Reis, R. L. A., Lopes, F. V., Neves, W. L. A. and Fernandes Jr., D. (2015). Influence of Coupling Capacitor Voltage Transformers on Travelling Wave-based Fault Locators, *International Conference on Power Systems Transients, Cavtat, Croatia*.