

Influência da Correção da Resposta Transitória dos TPC: Aplicação em SEP de 230 e 500 kV

C. A. Silva, *Student Member, IEEE*, D. Fernandes Jr., *Member, IEEE*, W. L. A. Neves, *Member, IEEE*

Resumo – Neste trabalho é apresentada uma análise do uso dos filtros digitais recursivos (FDR) para reduzir o impacto da resposta transitória dos Transformadores de Potencial Capacitivos (TPC) nos sistemas elétricos. O método de obtenção dos FDR se aplica com facilidade a TPC de diferentes classes de tensão e independe das características operacionais do sistema. A validação do método é realizada através de simulações digitais em tempo real. As análises são baseadas em dados de um sistema elétrico real e no funcionamento dinâmico dos FDR através de dois estudos de falta. A partir dos resultados obtidos, verifica-se que a presença dos FDR reduz significativamente os erros de medição causados pelos TPC quando submetidos a condições transitórias, desde que o FDR seja corretamente aplicado.

Palavras-chave -- Transformador de potencial capacitivo; filtros digitais recursivos; simulações em tempo real; transitórios eletromagnéticos.

I. INTRODUÇÃO

OS sistemas elétricos de potência fazem uso dos transformadores de potencial capacitivos (TPC) para reduzir os níveis das tensões de transmissão a valores em que os equipamentos de medição, proteção e controle são designados para operar, isto é, 115 V ou 66,4 V.

Diversos são os relatos de empresas do setor elétrico sobre falhas de TPC que levaram a saídas intempestivas de linhas de transmissão, além de queima de equipamentos auxiliares de baixa tensão e até danos irreparáveis a alguns TPC. Os órgãos responsáveis pela regulamentação do setor elétrico impõem severas penalidades por indisponibilidades não programadas de funções de transmissão, com ou sem interrupção do serviço de energia, requerendo agilidade da manutenção para recompor a função no menor tempo possível bem como medidas preventivas no sentido de reduzir os desligamentos não programados.

Idealmente, as tensões aplicadas aos relés deviam ser uma réplica fiel da tensão aplicada ao primário do TPC. Contudo, os capacitores, indutores e elementos não-lineares do TPC fazem com que o sinal secundário não siga a tensão primária quando esta entra em colapso. Tal fenômeno se deve ao fato

de que o fluxo magnético nos indutores e o campo elétrico dos capacitores não podem variar instantaneamente. Dessa forma, durante uma mudança abrupta da tensão primária, a energia armazenada nos capacitores e indutores proporciona transitórios severos que possuem amplitude e duração significantes, podendo afetar o desempenho dos relés de proteção e análises de localização de faltas.

Pesquisadores do mundo inteiro têm concentrado esforços no sentido de reduzir o efeito da resposta transitória do TPC [1-6]. A partir das técnicas propostas, observa-se que os estudos são concentrados na melhoria da resposta transitória do TPC frente a um curto-circuito no sistema, não havendo uma metodologia simultânea para suprimir outros tipos de distúrbios apresentados na tensão secundária. Existem estudos que contemplam apenas alguns elementos do TPC, outros fazem uso de um modelo mais completo. Contudo, a maioria dos trabalhos analisados supõe que todos os parâmetros do modelo de TPC são conhecidos. Sendo essa uma das principais limitações de muitos trabalhos, uma vez que há certa complexidade na obtenção dos parâmetros do modelo, principalmente em frequências acima de 1 kHz.

De acordo com a literatura, os trabalhos propostos têm aplicações restritas, ou para estudos de curto-circuito ou para estudos de proteção. Desta forma, no trabalho de [7] é proposto um método para projetar FDR para reduzir os efeitos da resposta transitória da tensão secundária dos TPC, objetivando aplicabilidade em sistemas de medição, proteção e controle, simultaneamente. É com o objetivo de contribuir nesta linha de pesquisa que se propõe apresentar esse trabalho.

Este trabalho é uma continuação de [8] o qual faz uso do método proposto por [7] para projetar filtros digitais recursivos (FDR) capazes de reduzir os impactos da resposta transitória dos TPC independente de qual seja a aplicação de interesse, proteção ou medição.

Os FDR foram idealizados para serem implementados em unidades de processamento, tais como relés digitais, com o objetivo de proporcionar menor erro de medição independente de qual seja as condições operacionais do sistema no qual os TPC estão instalados. Desta forma, proporciona-se maior segurança, seletividade e velocidade na tomada de decisão dos dispositivos de proteção. Além de permitir maior aplicabilidade, tal como, para monitoramento de harmônicos ou mesmo para viabilizar estudos de localização de faltas mais exatos.

C. A. Silva é aluno do curso de pós-doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (COPELE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58.429-140, Campina Grande – Paraíba - Brasil, (e-mail: celio@dee.ufcg.edu.br).

D. Fernandes Jr. e W. L. A. Neves são professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, (e-mails: damasio@dee.ufcg.edu.br, waneves@dee.ufcg.edu.br).

II. PROJETOS DE FDR PARA REDUÇÃO DA RESPOSTA TRANSITÓRIA DOS TPC

O projeto de um FDR para operar em conjunto com um determinado TPC depende tanto da resposta em frequência do TPC, como do modelo matemático adotado para representá-lo. As etapas do projeto dos FDR para correção da tensão secundária dos TPC são basicamente quatro: medições de resposta em frequência; escolha do modelo de TPC; determinação da função de transferência do TPC; e Cálculo dos coeficientes dos FDR.

A. Medições de Resposta em Frequência

Os valores de resposta em frequência usados como dados de entrada na rotina de cálculo dos coeficientes da função de transferência de um TPC podem ser obtidos através de medição ou simulação, conforme conveniência do usuário. Neste trabalho apresenta-se dados de resposta em frequência de dois TPC, um de 230 kV e outro de 500 kV.

Os dados de resposta em frequência do TPC de 230 kV foram obtidos por [9] através de ensaio. O ensaio de resposta em frequência foi realizado com um TPC completo, desde a sua coluna capacitiva até os terminais secundários, contemplando uma faixa de frequência de 10 Hz a 10 kHz. As curvas de resposta em frequência para o módulo e fase, do TPC de 230 kV ensaiado, são apresentadas na Fig. 1.

O TPC de 500 kV adotado como objeto de estudo neste trabalho é o mesmo reportado no trabalho de [3]. O modelo de TPC sugerido pelos autores contempla o divisor capacitivo, o reator de compensação, o transformador de potencial intermediário e o circuito supressor de ferroressonância. Como o modelo de TPC apresentado tem seus parâmetros R , L e C conhecidos, os dados de resposta em frequência necessários na concepção do FDR de interesse foram obtidos a partir de simulação digital. As curvas de módulo e fase da resposta em frequência do TPC em análise são apresentadas na Fig. 2.

A partir das Fig. 1 e 2, observa-se que os TPC não funcionam como um divisor de tensão ideal, sendo a tensão secundária uma função tanto da magnitude da tensão ao qual o seu primário está submetido, como também da frequência do sinal aplicado ao primário do equipamento. Portanto, sugere-se projetar FDR para operar em conjunto com os TPC destacados, de modo a forçar a tensão secundária ser uma réplica da tensão ao qual o primário do TPC está conectado.

B. Escolha do Modelo de TPC

O modelo de TPC adotado para obter a função de transferência do equipamento é apresentado na Fig. 3. Segundo [9], o modelo apresenta os parâmetros mais relevantes na representação do equipamento: coluna capacitiva (C_1 e C_2), reator de compensação (L_c , R_c e C_c), transformador de potencial do tipo indutivo (R_p , L_p , R_m e L_m) e circuito supressor de ferroressonância (C_f , L_{f1} , L_{f2} , M e R_f).

A técnica proposta para calcular os FDR baseia-se na função de transferência do modelo do TPC.

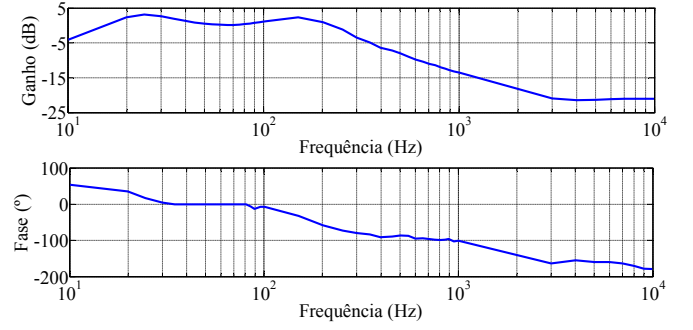


Fig. 1. Resposta em frequência do TPC de 230 kV [9]: módulo e fase.

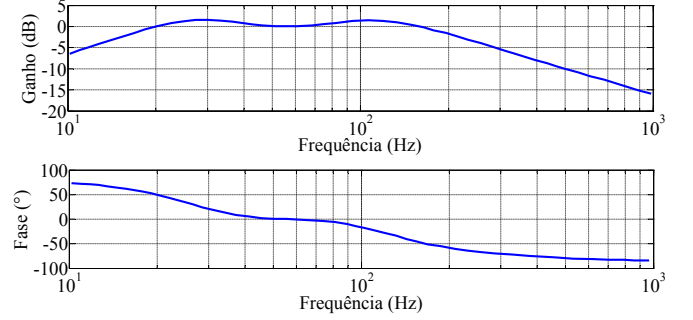


Fig. 2. Resposta em frequência do TPC de 500 kV [3]: módulo e fase.

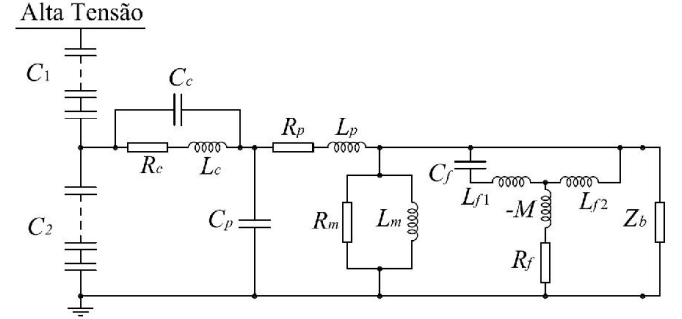


Fig. 3. Modelo do TPC adotado para obter a função de transferência do TPC.

De acordo com o trabalho de [9], a relação de transformação de tensão do modelo de TPC utilizado pode ser expressa como (1). Onde $A_7, \dots, A_1, A_0, B_8, \dots, B_1$ e B_0 são funções não lineares dos elementos R , L e C do modelo de TPC. Como $G_{TPC}(s)$ é uma função não-linear dos coeficientes A_n e B_m foi necessário fazer uso da técnica dos mínimos quadrados não-lineares para calcular tais coeficientes.

C. Determinação da Função de Transferência do TPC

O método de Levenberg-Marquardt foi implementado para minimizar a função objetivo dada por (2). O método descarta a necessidade do cálculo das segundas derivadas da função objetivo e é considerado robusto para a solução de problemas de mínimos quadrados não-lineares. Em (2), ω_i é o i -ésimo valor de frequência, $\mathbf{D}$ é o vetor paramétrico a ser determinado, y_i é a resposta em frequência de referência e $\alpha(\omega_i; \mathbf{D})$ é a função de transferência do modelo de TPC.

Os parâmetros obtidos após o processo de ajuste para os TPC de 230 e 500 kV são apresentados em [8]. Os coeficientes dos FDR serão função dos zeros e pólos da função de transferência obtida para cada TPC em questão.

$$G_{TPC}(s) = \frac{A_7s^7 + A_6s^6 + A_5s^5 + A_4s^4 + A_3s^3 + A_2s^2 + A_1s + A_0}{B_8s^8 + B_7s^7 + B_6s^6 + B_5s^5 + B_4s^4 + B_3s^3 + B_2s^2 + B_1s + B_0} \quad (1)$$

D. Cálculo dos Coeficientes dos FDR

Para obter a função de transferência de um TPC ideal, isto é, com ganho unitário em todo o espectro de frequência de interesse e o mínimo de deslocamento de fase entre a tensão primária e secundária, verifica-se que a planta do FDR e do modelo do TPC devem possuir no domínio de Laplace a relação definida por (3). Desta forma, sugere-se que a função de transferência do FDR para o TPC, $G_{FDR}(s)$, seja obtida pela inversão direta da função de transferência do TPC, $G_{TPC}(s)$.

A inversão direta de $G_{TPC}(s)$ resulta em uma função imprópria, pois a função de transferência do filtro teria o grau do numerador maior que o grau do denominador. Como solução para evitar que o filtro assuma comportamento instável, propõe-se alterar (3) para (4). Sendo, $\varphi(s)$ uma função racional imprópria que ditará a dinâmica de um TPC ideal. Assim, a planta do FDR assume a forma de (5).

Substituindo (5) em (4) tem-se (6). Por consequência, $\varphi(s)^{-1}$ ditará a reposta em frequência e, seu correspondente no tempo, o comportamento dinâmico e de regime da relação de transformação do TPC operando junto com o filtro. Como condição de contorno, é desejável que quando $\omega \rightarrow \infty$, $\varphi(s)^{-1} \rightarrow 0$. Tomando-se como base essa condição para $\varphi(s)^{-1}$, adotou-se (7) para a função de transferência que ditará o comportamento dinâmico do TPC.

Como $\varphi(s)^{-1}$ é uma função não-linear dos elementos $C_2, C_1, C_0, D_3, D_2, D_1$ e D_0 foi necessário fazer uso da técnica dos mínimos quadrados não-lineares para calcular tais coeficientes. Os parâmetros obtidos após o processo de ajuste são apresentados em [8].

A análise da compensação no domínio da frequência consiste de uma etapa importante no processo de filtragem, uma vez que a tensão secundária será utilizada durante o processo de estimação de fasores empregado pelos sistemas de medição, proteção e controle. A partir das condições estabelecidas para a dinâmica do TPC ideal obtém-se as respostas de módulo e fase apresentadas na Fig. 3.

A partir da figura observa-se que as características de ganho e fase de $\varphi(s)^{-1}$ possuem comportamento aceitável, isto é, ganho zero e deslocamento de fase mínimo no espectro de 10 Hz a 10 kHz. Desta forma, pode-se afirmar que a dinâmica estabelecida por (8) é aceitável para ditar o comportamento dinâmico para um suposto TPC ideal – independente de qual seja a classe de tensão ou fabricante.

Portanto, a função de transferência do FDR para operar em conjunto com um TPC pode ser representada por (9). Sendo, z_n e p_n , $n = 1, \dots, 10$ são os zeros e pólos da função racional do filtro, respectivamente. A fim de lidar com os problemas da implementação do filtro digital recursivo de ordem elevada, desenvolveu-se a função de transferência do filtro proposta, que é um filtro analógico de ordem elevada, através da

conexão de sub-filtros com seções de segunda ordem.

Os FDR aqui propostos têm por finalidade fazer com que o conjunto TPC e FDR opere tal como um TPC ideal. Isto é, apresentado módulo unitário e o mínimo de deslocamento de fase, para qualquer que seja o sinal aplicado no primário do TPC.

Nas Fig. 5 e 6 são apresentadas as curvas de resposta em frequência do TPC, do FDR projetado e do conjunto TPC mais FDR, para o TPC de 230 e 500 kV, respectivamente.

A implementação do processo de filtragem digital se deu mediante o mapeamento dos pontos do plano s para o plano z , método da transformação bilinear definida por (10), onde adotou-se $T_d = 50 \mu s$, o tempo de amostragem. Desta forma, se obteve a função de transferência do FDR para o TPC no domínio discreto, dada por (11), onde k_{ij} , com $i = 1, \dots, 5$ e $j = 1, \dots, 5$ são os coeficientes das seções de segunda ordem dos FDR. Em [8] são indicados os valores dos coeficientes dos filtros de segunda ordem para os TPC analisados.

$$F(\mathbf{D}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha(\omega_i; \mathbf{D}))^2 \quad (2)$$

$$G_{TPC}(s)G_{FDR}(s) = 1 \angle 0^\circ \quad (3)$$

$$G_{TPC}(s)G_{FDR}(s)\varphi(s) = 1 \angle 0^\circ \quad (4)$$

$$G_{FDR}(s) = [G_{TPC}(s)\varphi(s)]^{-1} \quad (5)$$

$$G_{TPC}(s)G_{TPC}(s)^{-1}\varphi(s)^{-1} = 1 \angle 0^\circ \quad (6)$$

$$\varphi(s)^{-1} = 1 \angle 0^\circ \quad (7)$$

$$\varphi(s)^{-1} = \frac{C_2 \cdot s^2 + C_1 \cdot s + C_0}{s^3 + D_2 \cdot s^2 + D_1 \cdot s + D_0} \quad (8)$$

$$s = \frac{2}{T_d} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (10)$$

$$G_{fdr}(z) = \prod_{i=1}^5 \frac{k_{i1} + k_{i2} \cdot z^{-1} + k_{i3} \cdot z^{-2}}{1 + k_{i4} \cdot z^{-1} + k_{i5} \cdot z^{-2}} \quad (11)$$

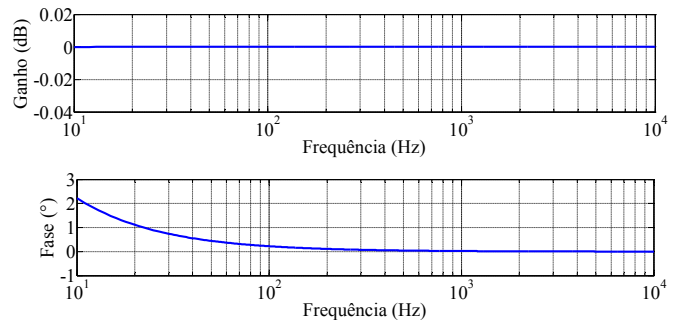


Fig. 4. Resposta em frequência de módulo e fase da função $\varphi(s)^{-1}$.

$$G_{FDR}(s) = \frac{(s+z_1)(s+z_2)(s+z_3)(s+z_4)(s+z_5)(s+z_6)(s+z_7)(s+z_8)(s+z_9)(s+z_{10})}{(s+p_1)(s+p_2)(s+p_3)(s+p_4)(s+p_5)(s+p_6)(s+p_7)(s+p_8)(s+p_9)(s+p_{10})} \quad (9)$$

TABELA I. DADOS DO MODELO DO SISTEMA ELÉTRICO 230 kV ADOTADO PARA REALIZAR AS SIMULAÇÕES.

Linha de Transmissão	Fonte A	Fonte B
$L = 180 \text{ km}$	$V_A = 1,02/0^\circ$	$V_B = 0,98/10^\circ$
$Z_{L,0} = 0,532 + j 1,541 \text{ } \Omega/\text{km}$	$Z_{A,0} = 1,014 + j 18,754 \text{ } \Omega$	$Z_{B,0} = 1,127 + j 20,838 \text{ } \Omega$
$Y_{L,0} = j 2,293 \text{ } \mu\text{S}/\text{km}$		
$Z_{L,1} = 0,098 + j 0,510 \text{ } \Omega/\text{km}$	$Z_{A,1} = 0,871 + j 25,661 \text{ } \Omega$	$Z_{B,1} = 0,968 + j 28,513 \text{ } \Omega$
$Y_{L,1} = j 3,252 \text{ } \mu\text{S}/\text{km}$		

TABELA II. DADOS DO MODELO DO SISTEMA ELÉTRICO 500 kV ADOTADO PARA REALIZAR AS SIMULAÇÕES.

Linha de Transmissão	Fonte R	Fonte S
$L = 240 \text{ km}$	$V_A = 1,00/0^\circ$	$V_B = 0,99/-10^\circ$
$Z_{L,0} = 0,3996 + j 0,9921 \text{ } \Omega/\text{km}$	$Z_{A,0} = 1,1268 + j 20,838 \text{ } \Omega$	$Z_{B,0} = 1,1268 + j 20,838 \text{ } \Omega$
$Y_{L,0} = j 3,0839 \text{ } \mu\text{S}/\text{km}$		
$Z_{L,1} = 0,0333 + j 0,3170 \text{ } \Omega/\text{km}$	$Z_{A,1} = 0,9681 + j 28,513 \text{ } \Omega$	$Z_{B,1} = 0,9681 + j 28,513 \text{ } \Omega$
$Y_{L,1} = j 5,2033 \text{ } \mu\text{S}/\text{km}$		

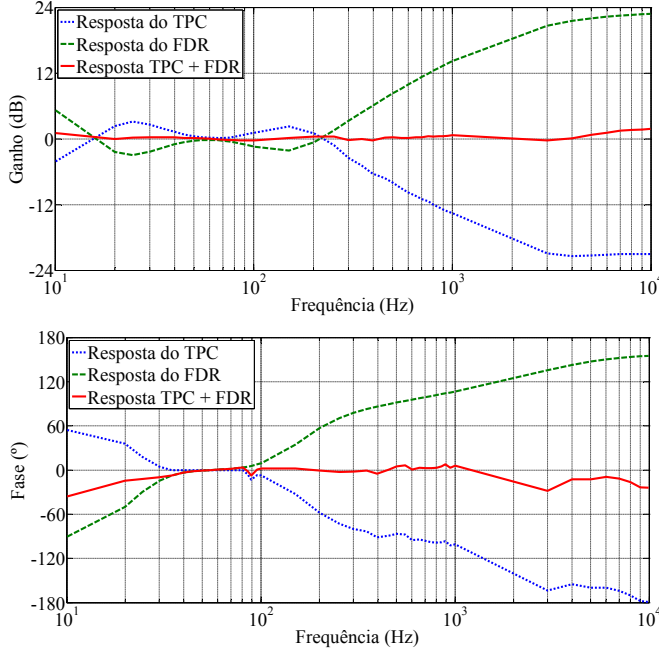


Fig. 5. Resposta em frequência de módulo e fase do TPC de 230 kV, do FDR projetado e do conjunto TPC mais FDR.

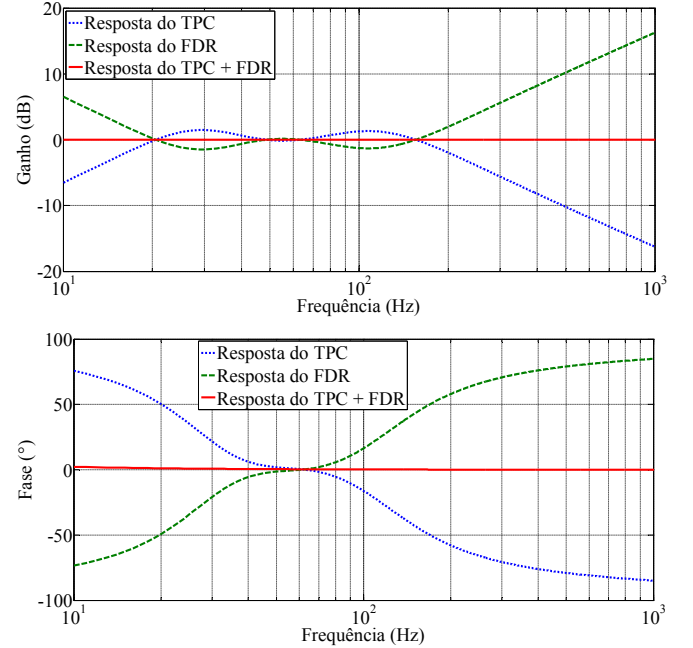


Fig. 6. Resposta em frequência de módulo e fase do TPC de 500 kV, do FDR projetado e do conjunto TPC mais FDR.

III. RESULTADOS E ANÁLISES

Para avaliar o funcionamento dos FDR dimensionados para os TPC de 230 e 500 kV foram modelados dois sistemas elétricos.

A. Sistema Elétrico de 230 kV

Na modelagem do sistema elétrico de 230 kV foram utilizados dados de uma linha de transmissão 180 km de extensão, que interliga as subestações de RECIFE II e BONGI I, ambas pertencentes a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), cujos valores de resistência, reatância e susceptância de sequência positiva e zero são correspondentes às de uma linha real de 230 kV, conforme esquema apresentado na Fig. 7. Os dados da linha e dos equivalentes das Fontes A e B são apresentados na TABELA I.

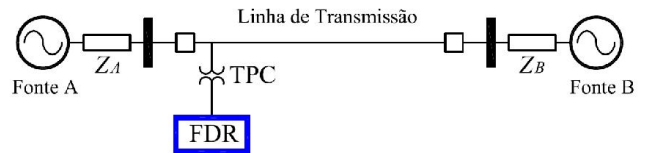


Fig. 7. Sistema elétrico de 230 kV adotado para avaliar a dinâmica dos FDR.

Os registros de uma simulação de falta fase-terra iniciada no pico da tensão, localizada a 50% da linha, são apresentados nas Fig. 8 a 10. Na Fig. 8 estão as formas de ondas das tensões primária e secundária do TPC, na Fig. 9 são consideradas as formas de ondas das tensões primária e secundária filtrada pelo FDR projetado para o TPC de 230 kV. E na Fig. 10 são tem-se as formas de ondas das tensões primária e secundária filtrada pelo FDR projetado para o TPC de 500 kV.

Comparando as Fig. 8 e 9 é possível identificar a redução dos erros de medição referente a presença do TPC. Os resultados obtidos no domínio do tempo indicam que os FDR projetados para o TPC de 230 kV podem ser utilizados para melhorar a confiabilidade, a segurança e a velocidade dos IED (*Intelligent Electronic Device*), pois, a tensão secundária filtrada é praticamente uma réplica da tensão primária do TPC, portanto, livre de sinais transitórios introduzidos pelos TPC.

Analisando as Fig. 9 e 10 conclui-se que o uso do FDR projetado para operar em conjunto com o TPC de 500 kV quando aplicado ao TPC de 230 kV ocasiona a amplificação da resposta transitória, neste caso, o aumento chega a atingir aproximadamente 80% do valor de referência durante a ocorrência.

B. Sistema Elétrico de 500 kV

O sistema elétrico de 500 kV foi modelado para avaliar o funcionamento dos FDR projetados para reduzir o influência da resposta transitória do TPC de 500 kV, conforme esquema apresentado na Fig. 11. Os dados da linha e dos equivalentes das Fontes *R* e *S* são apresentados na TABELA II.

Os registros de simulação de falta trifásica para terra, ocorrência iniciada no zero da tensão, localizada a 1/4 da linha, são apresentados nas Fig. 12 a 14. Analisando as Fig. 12 e 13 é possível identificar a redução dos erros de medição referente a presença do TPC, os resultados obtidos no domínio do tempo indicam que os FDR projetados para o TPC de 500 kV podem ser utilizados para reduzir os erros de medição originados pelo TPC de 500 kV. Porém, de acordo com os registros apresentados nas Fig. 13 e 14 observa-se que o uso do FDR projetado para operar em conjunto com o TPC de 230 kV quando aplicado ao TPC de 500 kV não possibilita a correção da resposta transitória do TPC em análise, evidenciando a inviabilidade de tal aplicação.

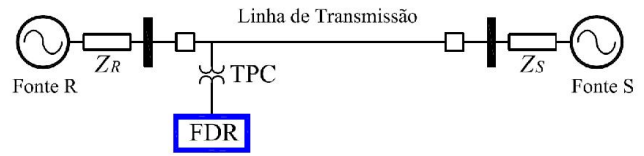


Fig. 11. Sistema elétrico de 500 kV adotado para avaliar a dinâmica dos FDR.

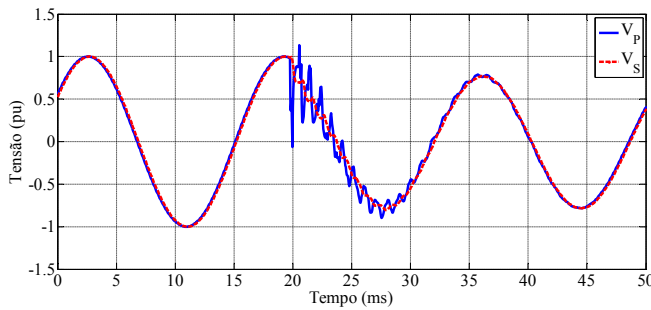


Fig. 8. Registro de simulação de falta AT: tensão primária (V_P) e tensão secundária (V_S).

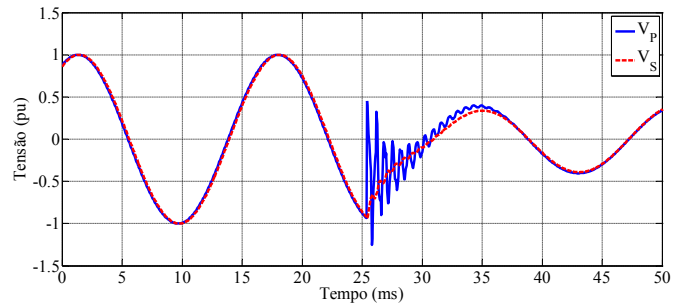


Fig. 12. Registro de simulação de falta ABCT: tensão primária (V_P) e tensão secundária (V_S).

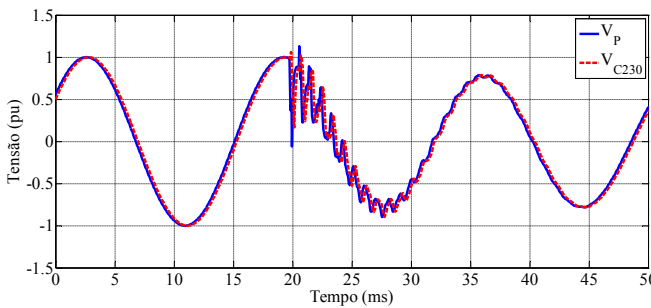


Fig. 9. Registro de simulação de falta AT: tensão primária (V_P) e tensão secundária corrigida pelo FDR 230 (V_{C230}).

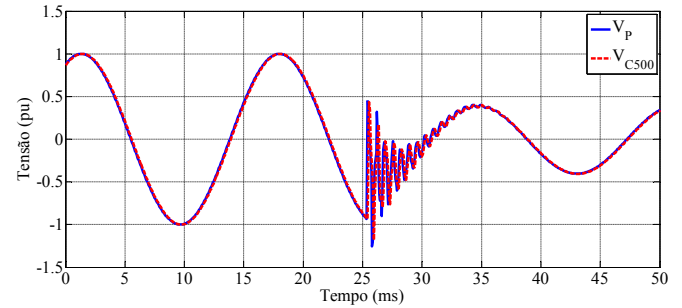


Fig. 13. Registro de simulação de falta ABCT: tensão primária (V_P) e tensão secundária corrigida pelo FDR 500 (V_{C500}).

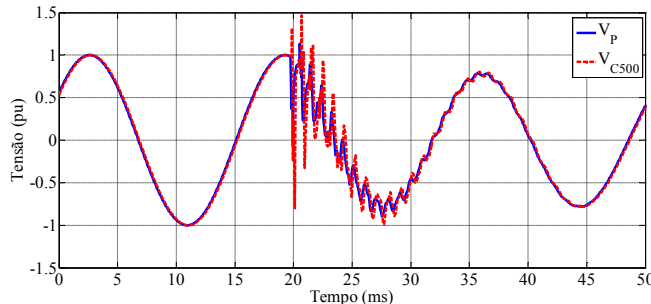


Fig. 10. Registro de simulação de falta AT: tensão primária (V_P) e tensão secundária corrigida pelo FDR 500 (V_{C500}).

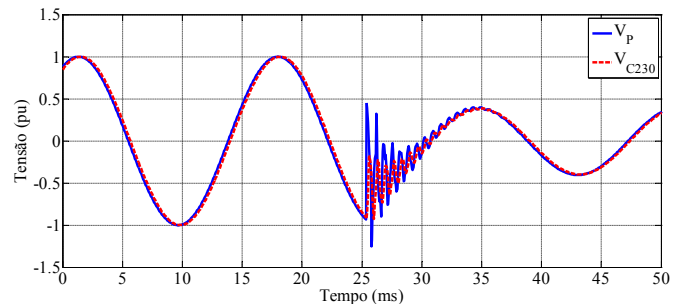


Fig. 14. Registro de simulação de falta ABCT: tensão primária (V_P) e tensão secundária corrigida pelo FDR 230 (V_{C230}).

IV. CONCLUSÃO

Vários trabalhos reportados na literatura apontam os TPC como equipamentos causadores de erros durante a localização de faltas. Os erros de medição originados pelos TPC são evidentes quando o sistema é submetido a condições de sobrecarga, curtos-circuitos e perda de sincronismo. Baseado no exposto, muitos pesquisadores têm trabalhado neste tema. No presente trabalho analisou-se a resposta transitória de dois TPC, um de 230 e outro de 500 kV, ambos reportados na literatura.

A avaliação fundamentou-se em dois estudos de casos, onde diferentes condições de faltas foram simuladas, os resultados apresentados evidenciam que a presença dos FDR, quando corretamente dimensionados, proporcionam redução da resposta transitória dos TPC, possibilitando obter medições de tensão mais exatas.

Todo TPC tem sua característica de resposta em frequência particular, e está com o passar dos anos pode sofrer variações oriundas do desgaste natural dos elementos do TPC. Desta forma, sugere-se que o dimensionamento dos FDR para operar em conjunto com um determinado TPC seja generalizado apenas para equipamentos de um mesmo fabricante desde que estes pertençam ao mesmo lote de fabricação.

De modo geral, dependendo do modelo de TPC utilizado, as respostas transitórias destes equipamentos irão exercer influência maior ou menor sobre o desempenho da proteção de distância e até sobre os algoritmos de localização de faltas, consequentemente, as melhorias provenientes da filtragem dos sinais secundários dos TPC poderão ser mais ou menos significantes. Mesmo assim, diante dos resultados apresentados, verifica-se que o uso dos FDR contribui para o desempenho mais eficiente dos sistemas de elétricos de potência, possivelmente podendo reduzir o tempo de identificação das ocorrências monitoradas pelos relés, garantindo maior segurança da proteção de distância utilizada em linhas de transmissão.

Comparado o presente trabalho aos demais reportados na literatura merece destacar que o projeto dos FDR passou a ser independente dos parâmetros R , L e C do modelo de TPC, sendo dependente apenas da função de transferência adotada para o TPC e de dados de resposta em frequência do TPC. Além disso, a técnica de projeto foi generalizada, sendo única para qualquer que seja a classe de tensão do TPC.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CAPES pelo suporte financeiro das pesquisas e ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande pela disponibilização do laboratório para realização do trabalho.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] J. Izykowski, B. Kasztenny, E. Rosolowski, M. M. Saha, B. Hillstrom, B. "Dynamic Compensation of Capacitive Voltage Transformers". *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 13, n. 1, p. 116–122, January 1998
- [2] H. B. Siguerdidjane, J. Gaonach, N. L. Rohellec, "Applications of Digital Power Simulators: Advantages". *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 12, n. 3, p. 1137–1142, July 1997
- [3] E. Pajuelo, G. Ramakrishna, M. Sachdev, "Strengths and Limitations of a New Phasor Estimation Technique to Reduce the CCVT Impact in Distance Protection". *Electric Power Systems Research*, 2009.
- [4] E. P. Machado, D. Fernandes Jr, D.; W. L. A. Neves, C. A. Silva, M. V. Godoy, "Uma Técnica para Compensação Dinâmica de Transformadores de Potencial Capacitivos". XIII Encontro Regional Iberoamericano do Cigré - ERIAC, Foz do Iguaçu-Argentina, Maio 2009.
- [5] R. G. Baily, L. F. Cardoso, C. A. Silva, F. V. Lopes, J. R. Pesente, R. B. Otto, "Influência de Modelos de Transformadores de Potencial Capacitivo Sobre a Estimação de Fasores de Tensão". *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos* – SBSE 2012, Goiânia-GO, maio 2012.
- [6] C. A. Silva, D. Fernandes Jr., W. L. A. Neves, "Análise da Influência da Resposta Transitória dos TPC sobre a Localização de Faltas Baseada em Componentes Fundamentais", *Conferência Brasileira Sobre Qualidade da Energia* – CBQEE 2015, Campina Grande - Brasil.
- [7] C. A. Silva, Filtros Digitais Recursivos para Redução do Impacto da Resposta Transitória do TPC. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, maio 2014.
- [8] C. A. Silva, D. Fernandes Jr., W. L. A. Neves, "Redução do Impacto da Resposta Transitória de TPCs via Filtros Digitais Recursivos", *Simpósio Brasileiro de Sistemas de Potência* – SBSE 2014, Foz do Iguaçu - Brasil.
- [9] D. Fernandes Jr., "Modelo de Transformadores de Potencial Capacitivos para Estudos de Transitórios Eletromagnéticos", Tese de Doutorado, UFCG, dezembro 2003.

VII. BIOGRAFIAS

Célio Anésio Silva nasceu em Taguatinga-DF, em 1983. Recebeu os títulos de B.Sc., M.Sc. e D.Sc. em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil, em 2008, 2010 e 2014, respectivamente. Até fevereiro de 2016 foi aluno de pós-doutorado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFCG. Atualmente é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da mesma instituição.

Damásio Fernandes Júnior nasceu em Paulo Afonso-BA, em 1973. Recebeu os títulos de B.Sc. e M.Sc. em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brasil, em 1997 e 1999, respectivamente, e o título de D.Sc. em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em 2004. Desde 2003 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.

Washington Luiz Araújo Neves nasceu em Itaporanga-PB, em 1957. Concluiu o curso de Engenharia Elétrica em 1979 e Mestrado em 1982 pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Concluiu o Doutorado em 1994 pela Universidade de British Columbia, Vancouver, Canadá. Desde 2002 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.