



USO DE FILTRO PASSA-ALTAS AO MÓDULO DE ESTIMAÇÃO FASORIAL PARA DETECTAR TRANSITÓRIOS CONTIDOS EM OSCILOGRAFIAS

Geraldo Silveira Neto¹, Raphael Batista*¹, Clever Pereira¹, Mateus Franco¹, João Pedro Klock¹, Isabela Michel e Silva¹

¹UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo - Este trabalho apresenta o estudo de um detector de transitórios presentes em oscilografias. Avalia-se a detecção de eventos em linhas de transmissão do sistema elétrico de potência por meio de um algoritmo desenvolvido pelos autores. Esse utiliza um filtro digital do tipo passa-altas para a identificação da ocorrência do transiente por meio de uma característica comum aos transitórios: a presença de componentes de altas frequências no início e final dos distúrbios. Por conta dessa propriedade, é possível caracterizar todo o período do transitório, algo desejável para a análise de oscilografias, com precisão similar a filtros presentes na literatura para os sinais avaliados e a vantagem de ser facilmente implementado em rotinas numéricas.

Palavras-Chave - Detecção de transitórios, Filtro passa-altas, Linha de transmissão, Sistema elétrico de potência.

USING HIGH-PASS FILTER TO THE PHASORIAL ESTIMATION MODULE FOR THE DETECTION OF TRANSIENTS CONTAINED IN OSCILLOGRAPHIES

Abstract - This work shows the study of a detector for transients contained in oscillographies. The disturb detection in transmission lines from power systems is evaluated through an algorithm developed by the authors. It uses a high-pass digital filter to identify the occurrence of a disturbance through a common characteristic to transients: the presence of high-frequency components at the beginning and at the end of a transient. Due to this property, it is possible to characterize the whole transient period, which is desirable for the analysis of oscillographs. The developed algorithm has a precision similar to filters presented by the conventional literature with the advantage of being easily implemented in numerical routines.

Keywords - High-pass filter, Power systems, Transient detection, Transmission line.

*raphaelbatista@ufmg.br

I. INTRODUÇÃO

A utilização de filtros digitais é amplamente difundida para resolução de diversos problemas que envolvem os sinais estudados em sistemas elétricos de potência (SEP). Suas aplicações podem resultar na atenuação de partes indesejadas de uma onda, remoção de ruídos e extração de determinadas componentes de frequência, entre outros. Além disso, os filtros digitais possuem a vantagem de poderem ser facilmente modificados, já que suas operações são definidas por meio de uma rotina numérica. É possível alterar suas características e propriedades apenas modificando suas linhas de código, sem a necessidade de alteração de componentes do circuito, como é necessário para filtros analógicos.

Com o objetivo de detectar transitórios presentes em oscilografias, o trabalho [1] apresenta um filtro baseado em propriedades da transformada Z, tendo resultado satisfatório para os casos avaliados. O trabalho [2] mostra a comparação do filtro desenvolvido em [1] com a tradicional técnica da transformada de Wavelet discreta (TWD) e os resultados indicam a vantagem do primeiro por conta de sua generalidade, precisão e simplicidade de implementação para os casos analisados.

Este trabalho propõe um filtro digital composta por um filtro digital passa-altas capaz de detectar transitórios provenientes das ondas de corrente registradas nas oscilografias. O objetivo principal é a correta estimativa do início e fim do distúrbio, de tal forma que a região do transitório possa ser avaliada por rotinas numéricas como a apresentada em [3,4]. Como indicado em [1-3], uma correta identificação do transitório permite a avaliação completa do distúrbio, com informações como o tipo de falta, e tende a melhorar as áreas de operação, manutenção e planejamento por meio das concessionárias de energia.

II. PROCEDIMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO DO DETECTOR DE TRANSITÓRIOS POR MEIO DE UM FILTRO PASSA-ALTAS

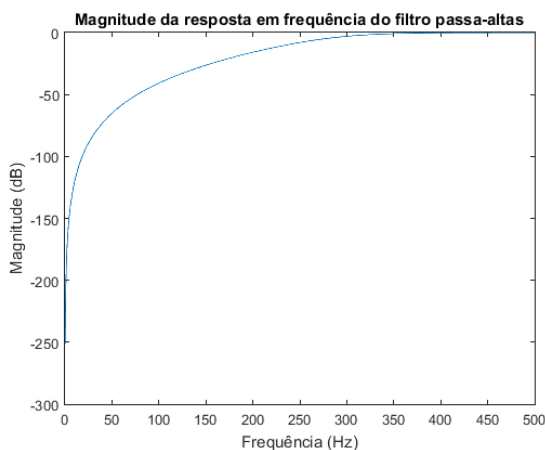
O procedimento desenvolvido parte da premissa de que existe um transitório, como uma falta, na oscilografia avaliada. As faltas ou curtos-circuitos podem ser caracterizados por componentes espectrais de alta frequência,

usualmente muito maior que a frequência fundamental. Neste caso, após o surgimento do distúrbio, componentes de frequência mais elevada se somam à fundamental de 60 Hz, distorcendo as ondas de tensão e corrente nas linhas de transmissão (LT). Com a constatação deste comportamento, é possível identificar os instantes em que há componentes de frequência mais elevada para determinar o período de ocorrência dos eventos.

A identificação dos referidos instantes pode ser feita com o auxílio de um filtro passa-altas, o qual, com os ajustes corretos, ao ser usado no sinal de corrente, atenua a componente fundamental para valores inexpressivos, resultando em uma forma de onda que apresenta picos somente nos instantes em que há a presença das componentes de alta frequência – os mesmos dos eventos.

O filtro digital passa-altas utilizado é o Butterworth de quarta ordem e com frequência de corte f_c igual a 300 Hz, que se mostrou suficiente para obter respostas satisfatórias para os casos analisados [5-6]. A resposta do filtro digital passa-altas utilizado é apresentada na Figura 1, a qual tem magnitude de -3 dB em f_c igual a 300 Hz.

Figura 1: Resposta em frequência do filtro digital de Butterworth utilizado.



Para a frequência fundamental de 60 Hz, a resposta do filtro é aproximadamente igual a -60 dB, o que corresponde a uma atenuação de 1000 vezes. Por outro lado, frequências acima de 400 Hz estão associadas a atenuações desprezíveis. Ao se realizar a filtragem, utiliza-se uma função que corrige o efeito da resposta de fase não-nula para que, no domínio do tempo, não haja distorção da forma de onda nem atraso de grupo. Essa resposta em frequência permite a distinção clara dos instantes em que há transitórios.

Para a determinação do *pick-up* (valor mínimo do sinal filtrado para que se possa considerar que houve um evento no instante) genérico, ou seja, que se aplica a sistemas cujos níveis de transitórios podem assumir valores em uma ampla faixa, os sinais filtrados são normalizados em relação ao seu valor máximo.

O escopo de aplicação da técnica é constituído majoritariamente de sistemas trifásicos, de forma que mesmo em eventos monofásicos, o filtro deve ser aplicado nos sinais de corrente das três fases, pois o método não tem, como uma de suas hipóteses, o conhecimento da fase associada ao

evento. No entanto, a normalização em relação ao valor máximo em cada fase implica na detecção de eventos em cada fase, mesmo para eventos monofásicos ou bifásicos. Para resolver esse problema, é feita uma normalização em relação ao valor máximo geral, de forma que o método seja sensível somente a transitórios.

A determinação do instante do primeiro evento é realizada por meio da varredura a partir de um ciclo após o início da oscilografia filtrada, pois o início contém informação poluída pela filtragem digital com memória, até que um valor acima do *pick-up* seja encontrado em cada fase ou até o final. O menor instante de tempo encontrado é escolhido como o início do evento.

Para oscilografias com mais eventos, como abertura do disjuntor, religamento e reabertura do mesmo, é considerada a hipótese de que esses eventos estejam distanciados de, no mínimo, 2 ciclos. Essa hipótese é necessária pela constatação de que para tempos menores que 2 ciclos, os transitórios mais relevantes não são amortecidos suficientemente para que se possa seguir a varredura. Ademais, como os menores tempo entre eventos nos sistemas elétricos comumente são aqueles de abertura do disjuntor em faltas que atingem barras ou transformadores, os quais usualmente ultrapassam dois ciclos, não há perdas de eventos nesse intervalo.

III. PROGRAMA DESENVOLVIDO E CASOS ANALISADOS

O objetivo deste trabalho é aplicar o algoritmo desenvolvido em sinais provenientes de LT do SEP e analisar os resultados a partir das curvas geradas. O passo inicial é a construção do algoritmo para leitura do evento no formato das oscilografias, as quais são salvas por registradores digitais de perturbação (RDPs) ou relés de proteção e armazenadas no formato COMTRADE [7]. Para a leitura destes arquivos, desenvolveu-se uma rotina utilizando o *software* MATLAB®, que é capaz de ler e gerar as ondas em formas gráficas.

Com a leitura dos arquivos pronta, passa-se à construção do filtro passa-altas para a varredura dos sinais carregados à procura de altas frequências que indiquem a ocorrência de transitórios. As características gerais deste filtro, como ordem e frequência de corte, são as mesmas indicadas na seção II, que aborda sobre a técnica empregada para a detecção dos transitórios.

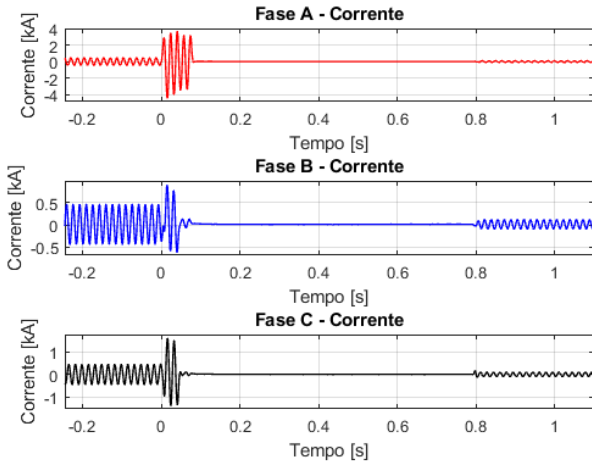
Para avaliar a precisão do algoritmo implementado no programa, consideraram-se duas oscilografias provenientes de RDPs em diferentes subestações do SEP. Ademais, a região de transitório identificada é destacada e envolvida no gráfico por meio de duas linhas verticais. As fases das oscilografias analisadas são nomeadas como A, B e C, e a letra T se refere a terra.

A. Curto-circuito da fase A para a terra

O primeiro caso de transitório analisado constitui um curto-circuito da fase A para a terra, isto é, uma falta do tipo AT, registrado em uma LT trifásica de 345 kV.

A Figura 2 apresenta os sinais de corrente presentes na oscilografia para as três fases do sistema.

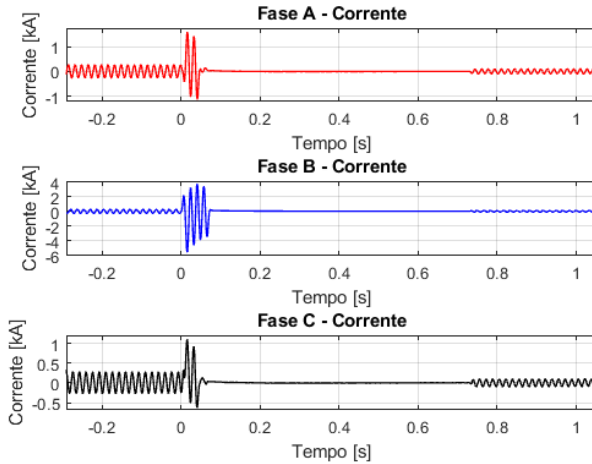
Figura 2: Sinal de corrente registrado em LT trifásica de 345 kV – falta AT.



B. Curto-circuito das fases AB para a terra

O segundo caso analisado corresponde a um curto-circuito das fases A e B para a terra, isto é, uma falta do tipo ABT, registrado em uma linha de transmissão trifásica de 345 kV. Seus sinais de corrente são ilustrados na Figura 3.

Figura 3: Sinal de corrente registrado em LT trifásica de 345 kV – falta ABT.



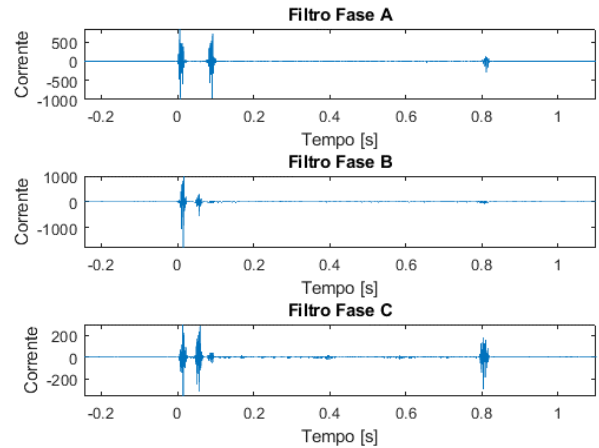
IV. RESULTADOS

A. Identificação do período relacionado à falta AT

A Figura 4 apresenta o resultado do filtro passa-altas na análise dos sinais de corrente para o caso de curto-circuito AT registrado na linha de transmissão de 345 kV. Note que o eixo da horizontal representa o eixo dos tempos, em segundos, já o eixo da vertical representa a corrente normalizada, desta forma não possui unidade.

Nota-se que, na maior parte do tempo, o resultado do filtro é nulo, já que o sinal avaliado não possui componentes de frequências altas e o sistema encontra-se em regime permanente senoidal (RPS) de 60 Hz. Quando o transitório aparece nas ondas, o filtro começa a identificar componentes de frequência mais altas. O instante de tempo 0 s representa o ponto em que é identificado o transitório pelo filtro. A lógica

Figura 4: Resposta do filtro passa-altas para as ondas de corrente do curto-circuito AT.

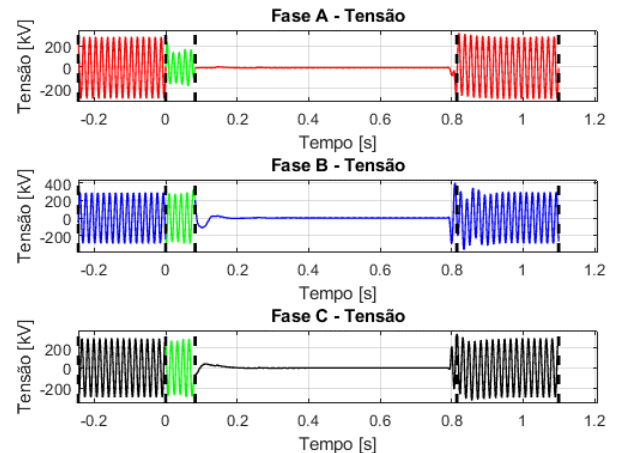


do programa é ajustada para que, quando começarem a aparecer frequências maiores que a fundamental, o tempo passe a contar em escala crescente.

É interessante notar da Figura 4 que a fase correspondente ao curto-circuito resulta no melhor resultado após processamento pelo filtro, já que é a fase mais afetada pela inserção de frequências diferentes da fundamental. Portanto, em casos de faltas monofásicas, os tempos de início e fim de transitório serão transpostos às outras fases para caracterizar o período em que o sistema está afetado pelo curto-circuito.

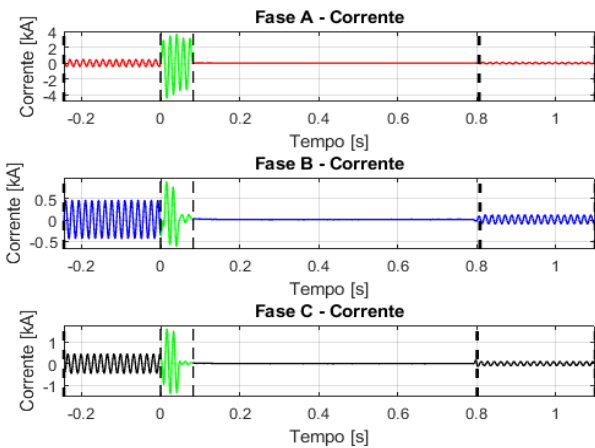
A partir dos resultados mostrados na Figura 4, os sinais de corrente e tensão são processados pela rotina computacional desenvolvida, que destaca o período transitório que afeta as ondas analisadas. As Figuras 5 e 6, respectivamente, apresentam os sinais de tensão e corrente após o processamento pela rotina.

Figura 5: Delimitação da região com transitório nos sinais de tensão para o caso de falta AT na LT de 345 kV.



Observa-se das Figuras 5 e Figura 6 que o processamento automático feito pela rotina numérica delimita corretamente a região de transitório, seja nas ondas de corrente ou tensão. Como o filtro passa-altas é aplicado apenas às ondas de corrente, os resultados observados na Figura 6 para as tensões correspondem às transposições dos instantes de tempo identificados nos sinais de corrente.

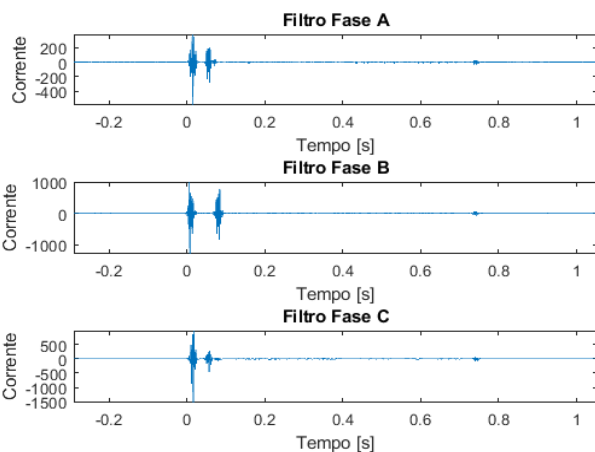
Figura 6: Delimitação da região com transitório nos sinais de corrente para o caso de falta AT na LT de 345 kV.



B. Identificação do período relacionado à falta ABT

A Figura 7 apresenta o resultado do segundo caso analisado, com o resultado do filtro passa-altas na análise dos sinais de corrente para o caso de curto-circuito ABT registrado na linha de transmissão de 345 kV.

Figura 7: Resposta do filtro passa-altas para as ondas de corrente do curto-circuito ABT.



Assim como caso anterior, pode-se notar da Figura 7 que o filtro passa-altas identifica nitidamente os pontos de início e fim do transitório. Estes pontos são posteriormente transpassados automaticamente pela rotina numérica para as ondas de corrente e tensão.

As Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, os sinais de tensão e corrente após o processamento pela rotina numérica desenvolvida. Analogamente ao caso anterior, há boa adequação entre a região com transitórios encontrada pelo filtro e a região transposta às curvas de corrente e tensão. Tal característica indicada a precisão do filtro digital utilizado para a identificação do período do distúrbio.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de detecção de transitórios em oscilografias a partir da utilização de um filtro

Figura 8: Delimitação da região com transitório nos sinais de corrente para o caso de falta ABT na LT de 345 kV.

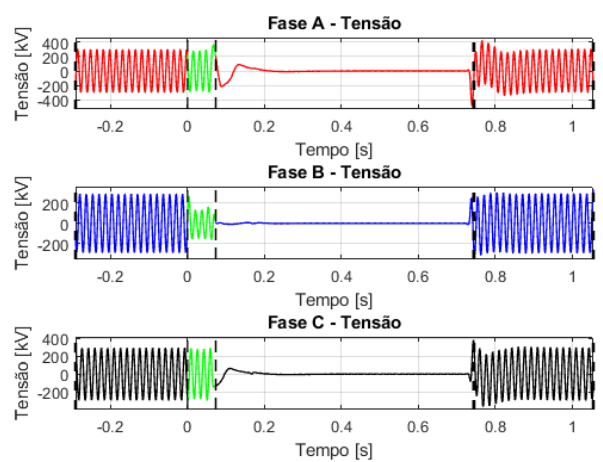
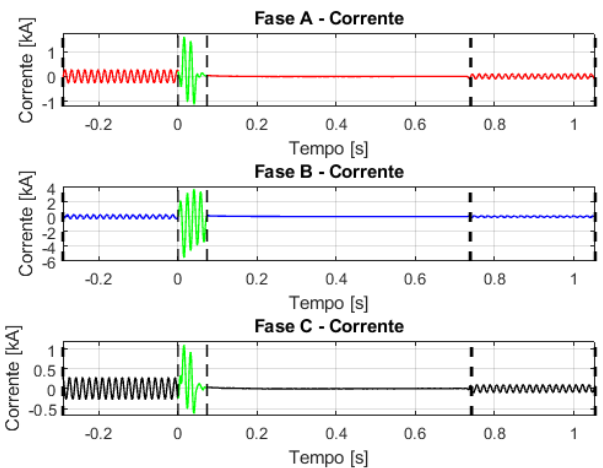


Figura 9: Delimitação da região com transitório nos sinais de corrente para o caso de falta ABT na LT de 345 kV.



digital passa-altas. Dois casos são apresentados, o primeiro referente a uma falta do tipo AT e o segundo é relacionado à falta do tipo ABT, ambas registradas em LT com tensão nominal de 345 kV.

Os resultados indicam que o filtro passa-altas possui precisão suficiente para determinar os instantes iniciais e finais de um curto-circuito devido ao surgimento de componentes de altas frequências na região em que ocorre, comportamento idêntico ao mostrado em [4]. Sugere-se o estudo de outros tipos de distúrbio para uma maior compreensão das condições em que o filtro passa-altas considerado funciona ou não, além da posterior comparação com o desempenho do filtro apresentado em [1].

REFERÊNCIAS

- [1] G. Silveira Neto, R. Batista, and C. Pereira, "Detecção e Caracterização de Transitórios Presentes em Oscilografias", in *Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica*, vol. 15, Uberlândia, pp. 1-6, 2017.
- [2] R. Batista, G. R. S. Neto, and C. Pereira, "Analysis of a simplified digital filter for the automatic identification of

- transients contained in oscillographies”, in *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, Niterói, pp. 1-6, 2018.
- [3] C. Pereira, et al, “OSCILO – Sistema de gerenciamento automático de registros oscilográficos”, in *XX SNPTEE*, Campinas, pp. 1-9, 2009.
 - [4] C. Pereira, et al, “Automatic analysis and fault location of events related to short circuits on transmission lines”, in *International Conference on Grounding and Earthing & 8th International Conference on Lightning Physics and Effects*, Pirenópolis, pp. 140-144, 2009.
 - [5] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, and J. R. Buck, *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice Hall, 2nd Edition, New Jersey, 1999.
 - [6] F. Gustafsson, “Determining the initial states in forward-backward filtering”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 44, no. 4, pp. 988-992, 1996.
 - [7] J. L. Blackburn, and T. J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*, CRC Press, 3rd Edition, Boca Raton, 2006.