

Modulação de Grandezas Harmônicas no RTDS para Aplicação em Relé de Proteção de Linha de Transmissão

Fabiano Magrin

Ozenir Dias

Maria Cristina Tavares

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC)

Campinas, Brasil

magrin@dsce.fee.unicamp.br, ozenirfd@dsce.fee.unicamp.br, cristina@dsce.fee.unicamp.br

Resumo — Ao desenvolver algoritmos de proteção e controle é importante efetuar testes em ambientes semelhantes aos dos relés. É possível implementar estes códigos em relés programáveis, mas muitas vezes é necessário contornar as restrições impostas por tais equipamentos. No presente trabalho é apresentada uma proposta para a geração de sinais harmônicos no tempo em relé comercial através de modulações de sinais harmônicos nos fasores de 60 Hz. Os testes foram realizados com auxílio do RTDS. A metodologia permite o teste de novos algoritmos em relés programáveis comerciais.

Palavras-chave -- Hardware Comercial, Modulação de Sinal, Relé de Proteção, Religamento Adaptativo e RTDS.

I. INTRODUÇÃO

No presente artigo será proposta uma solução para um problema recorrente durante o desenvolvimento de algoritmos de proteção e controle: o teste de um algoritmo desenvolvido em software e implementado em um hardware comercial. No caso aqui exposto, o intuito era testar um algoritmo de religamento automático adaptativo de linhas de transmissão [1,2] em um relé de proteção comercial [3,4,5,6] que já executasse todas as funções de proteção de linha de transmissão e também o religamento automático tradicional.

No entanto, apesar dos relés de proteção atuais possibilitarem a programação do usuário, estes equipamentos não utilizam todas as variáveis que podem ser extraídas dos sinais de entrada lidos dos transformadores de corrente e tensão, TCs e TPs. Isto é compreensível uma vez que esta não é a função principal destes equipamentos e, com isto, surge a dificuldade tratada neste trabalho.

No caso do algoritmo adaptativo a ser testado, o problema foi a necessidade de se extrair algumas harmônicas [7] que não estão disponíveis para o usuário. Desta forma foi necessário desenvolver uma solução no simulador digital em tempo real, RTDS [8], para possibilitar o teste. No entanto, realizar o teste do algoritmo somente no simulador em tempo real não é semelhante a testar a função dentro de um relé

comercial, que responderia como um protótipo de um novo relé.

No presente artigo é descrito como viabilizou-se a implementação dos testes dentro do relé programável comercial que apresenta restrições em termos de número de linhas de código, linguagem de programação e disponibilização de grandezas medidas.

O artigo ainda apresenta o desenvolvimento da solução e o resultado dos testes realizados no relé de proteção.

II. EXPOSIÇÃO DO PROBLEMA

Nas Universidades, por muitas vezes, é difícil conseguir recursos para compra de equipamentos e como consequência, muitos estudos são realizados somente no âmbito das simulações computacionais. No Laboratório de Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e de Proteção em Sistema de Potência, LTRANSP, há uma forte tentativa de os algoritmos de proteção e controle desenvolvidos serem sempre escritos em hardwares comerciais, após a realização das etapas de testes em simuladores digitais.

Após o desenvolvimento e testes com sucesso de um algoritmo de religamento adaptativo para linhas de transmissão no simulador em tempo real RTDS, [9], a etapa seguinte seria a tradução e implementação do algoritmo em um relé de proteção comercial com capacidade para o desenvolvimento de lógicas avançadas.

Nesta etapa surgiu um problema. O hardware do relé de proteção comercial utilizado não disponibilizava a gama de variáveis necessárias para a implementação desejada, sendo esta uma restrição comum a todos os relés. Os relés de proteção fazem toda a filtragem, amostragem e processamento dos sinais dos equipamentos de medidas e disponibilizam muitas das informações para o usuário, mas em geral, somente os fasores e seus derivados como potência e energia. Como as funções de proteção trabalham majoritariamente com a frequência fundamental, somente esta é disponibilizada. Uma forma de acesso a mais informações do relé é através dos algoritmos dos fabricantes desenvolvidos em software [10].

No caso do algoritmo desenvolvido é necessário o uso da componente fundamental e também da terceira e quinta harmônicas da tensão. Como estas não estão disponíveis, foi proposto utilizar diretamente as amostras e fazer todo o trabalho de processamento de sinais dentro do hardware, mas este nível de sinal também não está disponível. Os fabricantes coletam as amostras e as disponibilizam para o usuário apenas através de oscilogramas. Isto significa que os sinais foram coletados, mas não se julgou ser necessário ou adequado disponibilizar esta informação ao usuário. No entanto, estas variáveis eram necessárias para o algoritmo em desenvolvimento.

III. SOLUÇÃO PROPOSTA

O relé SEL-421 [11] possui uma grande capacidade de lógica e cálculo, mas como dito, não disponibiliza as informações necessárias. No entanto, o equipamento pode ser ligado ao RTDS e o relé ainda permite trabalhar com os canais de tensão de forma independente. O usuário pode interpretar as informações disponibilizadas nos canais independentemente de serem ou não tensões trifásicas, ou seja, os três canais podem receber tensões da mesma fase. Portanto, decidiu-se trabalhar o sinal original dentro do simulador e retirar as harmônicas da mesma forma que é realizado no relé de proteção. Com todas as harmônicas disponíveis e separadas, utilizaram-se geradores de sinal senoidal de tensão na frequência fundamental, mas moduladas com os sinais de terceira e quinta harmônicas. Como os sinais foram transcritos para a frequência fundamental, grandeza que o relé consegue medir e disponibilizar para o usuário, os sinais puderam ser aplicados ao relé.

IV. DESENVOLVIMENTO

Os filtros e o processamento de sinais foram implementados no RTDS conforme apresentado em [12]. A Figura 1 mostra todas as etapas do filtro para separação do sinal proveniente dos TPs nas harmônicas desejadas. O primeiro filtro é um filtro Butterworth de segunda ordem que visa modelar o filtro analógico do relé. Este filtro elimina as altas frequências, evitando a superposição de frequências no filtro digital. Após esta etapa, Figura 1, o sinal é amostrado a 1920 Hz e escalonado por um conversor A/D de 16 bits.

A terceira etapa é um filtro digital cosseno, que separa cada uma das frequências. Como o filtro cosseno só fornece a parte real do fasor, as amostras são colocadas em um buffer e a amostra atual pode ser combinada com a amostra em quadratura para a retirada do fasor. A quarta etapa condiciona o sinal para compensar perdas nos filtros e converter o sinal de saída para valores eficazes. Ao final são obtidos os valores de magnitude para cada frequência desejada.

Em posse dos valores separados por frequência, utilizaram-se três geradores de sinal, todos sintonizados na frequência fundamental, mas cada um recebendo um dos sinais, da fundamental a quinta harmônica. A Figura 2 mostra o circuito desenvolvido no RTDS.

Estes sinais foram externalizados do simulador e conectados ao relé de proteção conforme apresentado na Figura 3.

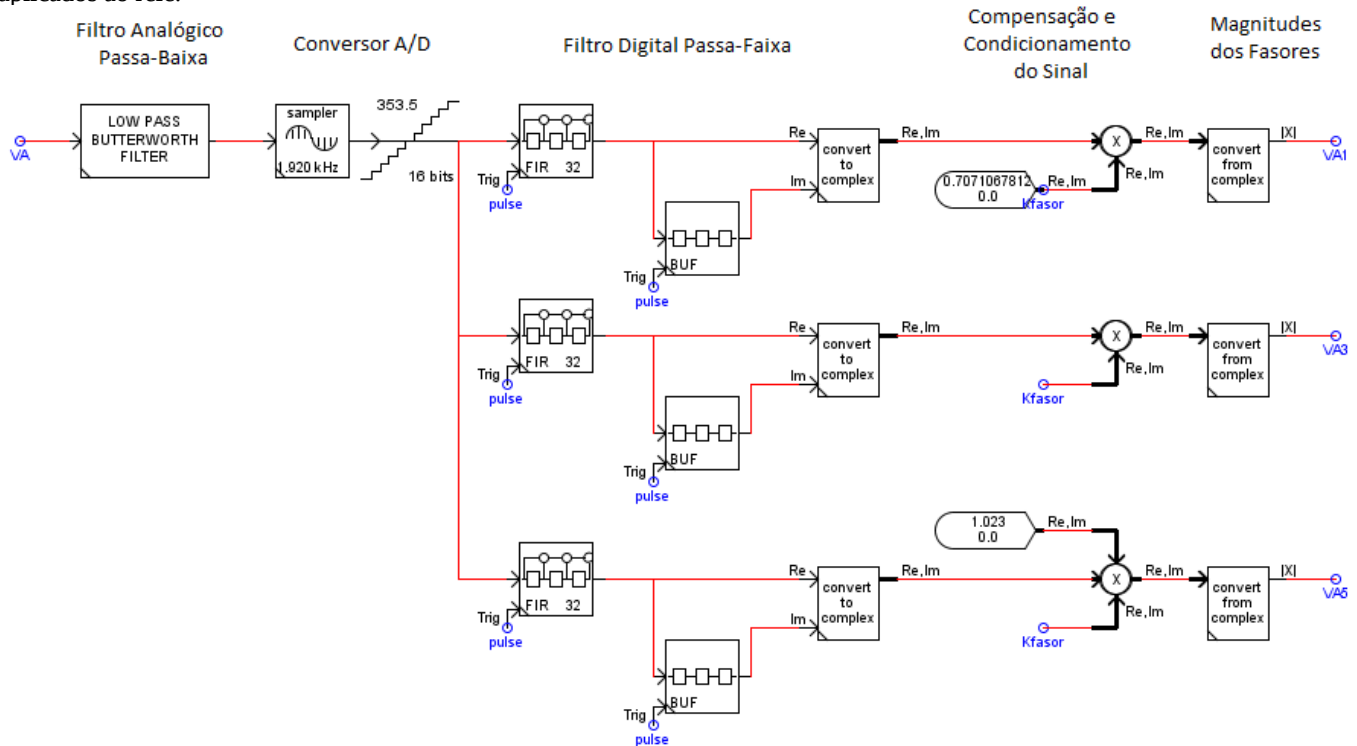


Figura 1. Filtros para extração das grandezas harmônicas.

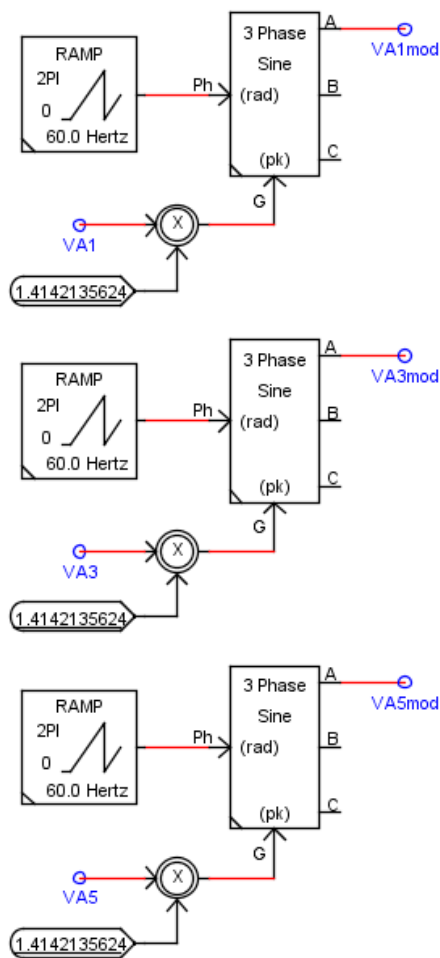


Figura 2. Circuito de modulação harmônica

Observa-se ainda na Figura 3 que os canais IW e VY são, respectivamente, as correntes e tensões provenientes dos TCs e TPs da linha e são utilizados para as funções de proteção de linha. Esta ligação é necessária, pois o mesmo relé executa todas as funções de proteção da linha e também recebe a lógica de religamento adaptativo, que nos testes, substitui a função de religamento automático tradicional, 79.

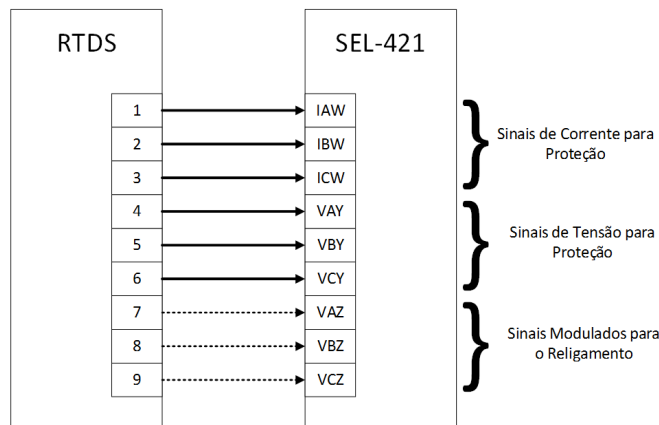


Figura 3. Diagrama de bloco da conexão do RTDS com o relé SEL-421.

Já o canal VZ recebe nos seus canais, A, B e C, respectivamente, os sinais de tensão fundamental, terceira e quinta harmônicas da fase monitorada/em falta. Portanto, estes canais recebem os sinais modulados descritos anteriormente.

Pode ser questionado por que a componente fundamental não pode ser retirada diretamente dos sinais utilizados para proteção. Na verdade, o sinal pode ser e foi retirado, mas devido a modulação feita no simulador, as componentes de terceira e quinta são atrasadas de cerca de 1 ciclo, e, para que não surgisse um defasamento entre o sinal da componente fundamental e os sinais das harmônicas, utilizou-se a componente fundamental modulada (e atrasada).

V. RESULTADOS

Para apresentar os resultados da modulação realizada, utilizou-se um sistema de transmissão teste apresentado em [9]. Primeiramente, realizou-se testes nos quais a tensão sob falta possui um conteúdo harmônico de 3ª e 5ª (falta transitória importante). Em seguida, testou-se casos nos quais a tensão não possui tais harmônicas (falta permanente). Um resultado de cada caso é apresentado a seguir.

A. Caso 1: Falta Transitória

A Figura 4 mostra a forma de onda da fase sob defeito gerada pelo simulador no caso de uma abertura monopolar. Também na figura 4 é apresentada a magnitude das harmônicas extraídas do sinal original.

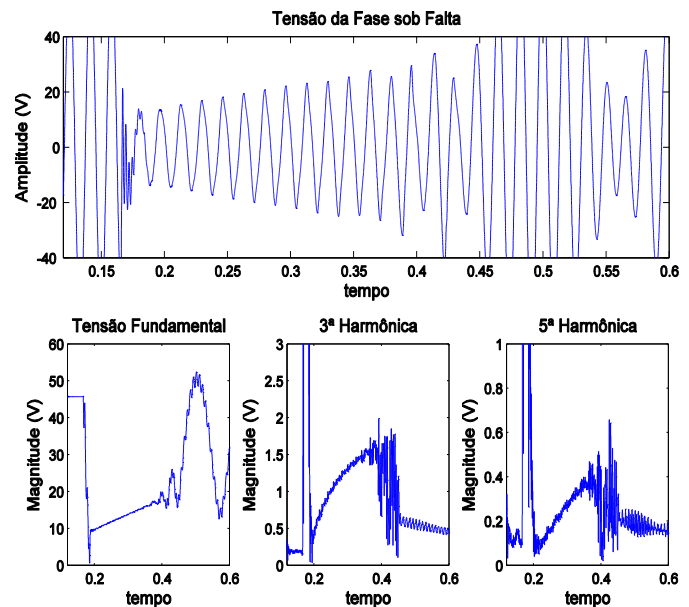


Figura 4. Tensão fase-terra sob falta e magnitudes da 1ª, 3ª e 5ª harmônicas.

Já a Figura 5 mostra a forma de onda das três tensões antes e depois da modulação. Para todas as frequências, os sinais apresentam a mesma evolução do crescimento no tempo, mas em frequências diferentes.

A Figura 6, por sua vez, compara as magnitudes dos sinais modulados e os lidos pelo relé. É verificado que os sinais estão bem próximos, possuindo apenas menos ruído. Fica claro pela Figura 6 que os sinais modulados estão atrasados em relação ao sinal original e, portanto, a necessidade de se utilizar a tensão fundamental modulada e não a extraída diretamente da entrada de proteção, canal VY.

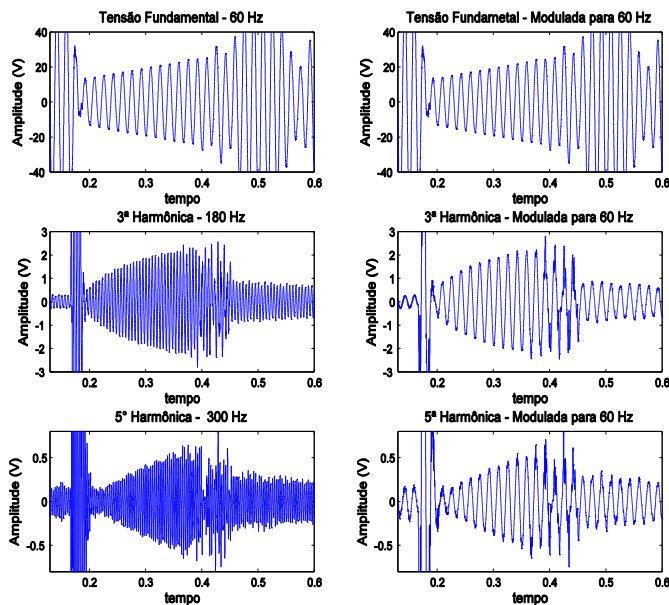


Figura 5. Forma de onda de 1ª, 3ª e 5ª antes e depois da modulação.

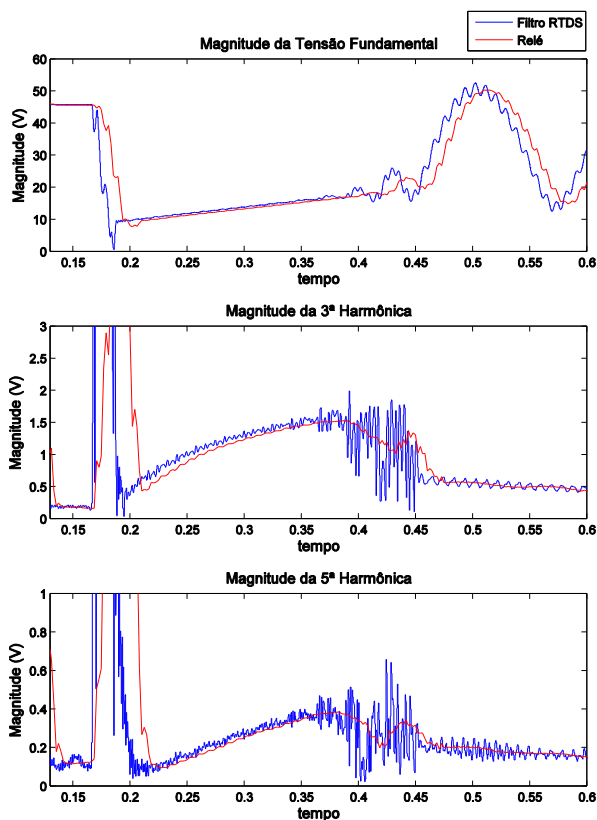


Figura 6. Magnitude da 1ª, 3ª e 5ª harmônicas modulados e lidas pelo relé.

B. Caso 2: Falta Permanente

O outro caso importante nas simulações é o caso em que não há o aparecimento de harmônicas, o que ocorre durante uma falta permanente.

Para exemplificar este caso, aplicou-se uma falta permanente no sistema e nas figuras 7, 8 e 9 são apresentados os resultados.

A Figura 7 mostra a forma de onda da fase sob defeito. Nesta é notável três estágios, o de pré-falta, o de falta com o disjuntor fechado e o de falta com o disjuntor aberto. Observa-se que nos três estágios a forma de onda é puramente senoidal, ou seja, 60 Hz, com apenas diferentes níveis de tensão.

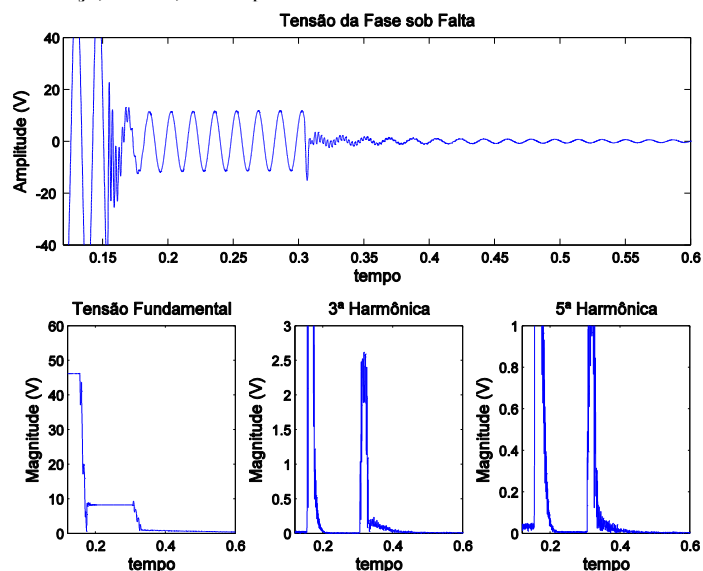


Figura 7. Tensão fase-terra sob falta e magnitudes da 1ª, 3ª e 5ª harmônicas.

Ainda na mesma figura, os valores das harmônicas são apresentados, sendo que, para a fundamental, são vistos os 3 estágios comentados e, para as harmônicas de 3ª e 5ª, apenas os picos durante os transitórios da tensão, permanecendo praticamente zeradas após a extinção do transitório.

A Figura 8 mostra a forma de onda para cada uma das harmônicas comparando as tensões de pré e pós modulação. Observa-se novamente a similaridade.

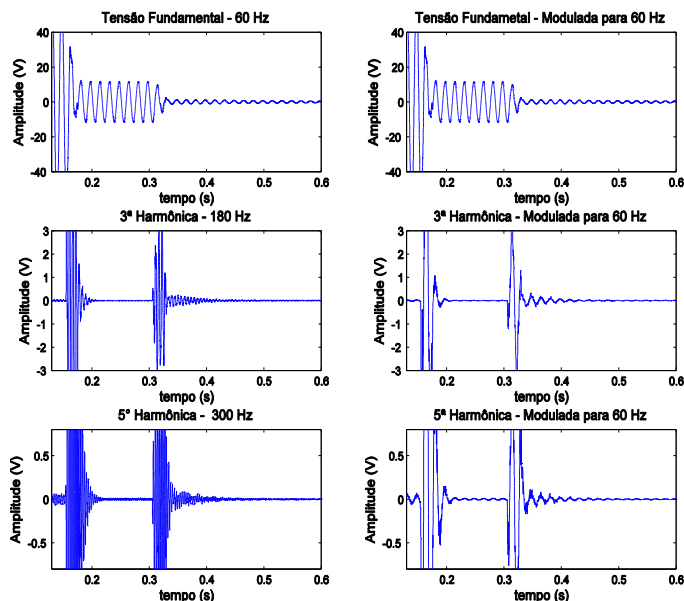


Figura 8. Forma de onda da 1ª, 3ª e 5ª antes e depois da modulação.

Para completar, a Figura 9 apresenta a comparação entre as magnitudes dos sinais modulados e lidos no relé e, novamente, com grande similaridade.

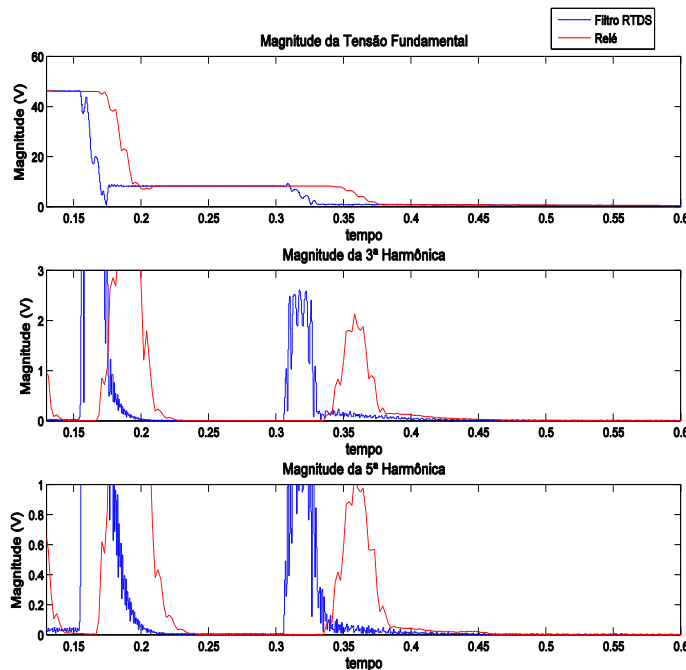


Figura 9. Magnitude da 1ª, 3ª e 5ª harmônicas modulados e lidos pelo relé.

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia para auxiliar pesquisadores a testarem algoritmos que utilizem harmônicos de tensões ou correntes em hardwares comerciais, possibilitando avaliar como os novos algoritmos se comportariam em campo. Fontes de tensão de frequência fundamental foram sintonizadas nas harmônicas desejadas e inseridas como entradas nos algoritmos desenvolvidos no simulador digital em tempo real, RTDS, possibilitando os testes do esquema de religamento monopolar automático adaptativo em um relé comercial.

O artigo descreve o desenvolvimento da metodologia e da sua implementação.

Como resultados apresentaram-se dois casos base. No primeiro caso simulou-se uma falta transitória e a tensão da fase sob falta quando aberta possui um elevado conteúdo harmônico. Já no segundo caso testou-se uma falta permanente, e a tensão da aberta é basicamente um sinal de frequência fundamental.

A geração dos sinais modulados produz um atraso nos sinais, que deve ser considerado no desenvolvimento do algoritmo.

REFERENCES

- [1] R. Luxenburger and P. Schegner, "Determination of secondary arc extinction time and characterization of fault conditions of single-phase autoreclosures". In Proc. 2005 International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, The Netherlands, 2005.
- [2] Z.M. Radojevic and J.R. Shin, "New algorithm for adaptive reclosing based on the calculation of the faulted phase voltage total harmonic distortion factor", IEEE Trans. Power Del., vol.16, no. 4, pp.676-686, 2001.
- [3] ABB. "Proteção e Controle para Transmissão". [Online]. Available: <http://www.abb.com.br/product/pt/9AAC710343.aspx?country=BR>.
- [4] GE. "Protection & Control – Transmission Line". [Online]. Available: <http://www.gegridsolutions.com/multilin/catalog/d90plus.htm>.
- [5] SEL. "Proteção de Linhas de Transmissão". [Online]. Available: <http://www.selinc.com.br/>.
- [6] SIEMENS. "Relés de Proteção Inteligentes". [Online]. Available: <http://www.energy.siemens.com/br/pt/automacao>.
- [7] O. F. Dias, "Implementação do Religamento Monopolar Adaptativo Rápido Baseado na Assinatura Harmônica de Tensão no Simulador Digital em Tempo Real (RTDS). Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2015
- [8] RTDS. "Real Time Digital Simulator". [Online]. Available: <http://www.rtds.com/>.
- [9] O. F. Dias and M. C. Tavares, "Implementation of fast adaptive single-phase reclosing based on measurement of harmonic content in the real-time digital simulator (RTDS). In IPST 2015, Cavtat, Croatia, 15 - 18 Junho, 2015.
- [10] F. Magrin and M. C. Tavares, "Differential Relay Models inside Real Time Simulators. In IPST 2015, Cavtat, Croatia, 15 - 18 Junho, 2015.
- [11] SEL. "Manual de Instruções SEL-421". [Online]. Available: <http://www.selinc.com/SEL-421/>.
- [12] F. Magrin. "Modelagem de um Relé de Proteção Diferencial de Transformador no RTDS. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2014.