

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE FUNÇÕES DE PROTEÇÃO ELÉTRICA DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHS) UTILIZANDO O SOFTWARE ATP/ATPDraw

MODELING AND SIMULATION OF ELECTRICAL PROTECTION FUNCTIONS OF SMALL HYDROPOWER PLANTS (SHPPS) USING THE ATP/ATPDRAW SOFTWARE

Lucas Santos Resende ¹
Eduardo Gonzaga da Silveira ²

Data de entrega dos originais à redação em: 22/09/2015
e recebido para diagramação em: 09/03/2016.

Este artigo apresenta a implementação e simulação de funções de proteção elétrica no software ATP/ATPDraw através da linguagem MODELS. As simulações são realizadas utilizando-se blocos residentes no ATP/ATPDraw para representação dos equipamentos principais e blocos desenvolvidos na linguagem MODELS para modelagem dos relés de proteção. O modelo utilizado permite a simulação em malha fechada, cuja principal vantagem é possibilitar a avaliação do comportamento do sistema elétrico de potência frente a transitórios e operação da sua proteção, bem como o da proteção frente as mais diversas situações de operação às quais um sistema é submetido. Todos os dados relativos aos equipamentos de potência utilizados na simulação (geradores, transformadores elevadores e linhas de transmissão) são de uma planta real, interligada ao sistema elétrico brasileiro.

Palavras-chave: Proteção. PCH. ATP. MODELS.

This paper presents the implementation and simulation of electrical protection functions in ATP/ATPDraw software through the MODELS language. The simulations are performed using blocks resident in the ATP/ATPDraw for representation of the main equipment and building blocks developed in the MODELS language for modeling of protection relays. The used model allows the simulation in closed loop, whose main advantage is the ability to assess the behavior of the electric power system against transient and operation of your protection as well as the front protection the most diverse operating conditions to which a system is subjected. All data relating to power equipment used in the simulation (generators, step-up transformers and transmission lines) are a real plant, linked to the Brazilian electrical system.

Keywords: Protection. SHPP. ATP. MODELS.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos uma fonte alternativa de energia que se mostrou bastante eficiente, tanto do ponto de vista de redução de impactos ambientais relacionados à sua construção propriamente dita quanto a possibilidades de ser construída nas proximidades de grandes centros consumidores de energia elétrica, são as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Todavia, para que a construção de uma PCH seja viável faz-se necessário que seus custos de construção, operação e manutenção sejam reduzidos. Além dos incentivos fiscais, a redução dos custos supracitados tem sido obtida através da utilização de um número reduzido de equipamentos e dispositivos.

Dentre os diversos sistemas que tendem a ser simplificados estão os sistemas de proteção elétrica da planta. Sua simplificação se dá pela redução da quantidade relés de proteção e transformadores de corrente e de potencial. Tal simplificação, aliada a utilização de topologias que reduzem o número de equipamentos principais, tais como transformadores elevadores e disjuntores, o sistema de proteção elétrica de uma PCH é fortemente dependente de funções de

proteção tidas como secundárias ou de retaguarda nas grandes usinas hidrelétricas.

Este trabalho apresenta a modelagem e a avaliação da operação de algumas funções de proteção usualmente empregadas nos sistemas de proteção elétrica de PCHs através de simulações no software ATP/ATPDraw com a utilização dos dados de uma planta real.

2 PRINCIPAIS TOPOLOGIAS UTILIZADAS EM PCHS

As principais topologias utilizadas na construção de PCHs são as apresentadas na Figura 1. Todas apresentam uma arquitetura simplificada que visa, principalmente, a redução dos custos de implantação.

As topologias 1 e 2 apresentam como principal característica, a não utilização de um transformador elevador exclusivo para cada unidade geradora. Esta solução propicia uma redução significativa nos custos de instalação da planta, pois utiliza um número mínimo de transformadores elevadores. Contudo apresentam níveis de curto-circuito elevado na saída dos geradores e exigem um ajuste refinado dos relés de proteção, uma vez que os geradores estão diretamente interligados. A principal diferença entre estas duas topologias

1 - Mestrando em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. < lresende.lucas@gmail.com >.

2 - Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2007) - Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. < eduardo@deii.cefetmg.br >.

está na utilização, pela topologia 2, de dois ou mais transformadores elevadores, o que proporciona uma maior flexibilidade operativa da planta no caso de falhas associadas a estes transformadores.

A topologia 3 apresenta características que possibilitam uma melhor seletividade no caso de

faltas nos trechos entre a saída dos geradores e os transformadores elevadores, pois, diferentemente das topologias apresentadas anteriormente, as unidades geradoras estão interligadas através de transformadores elevadores distintos.

3 MODELAGEM DE PCHS E RELÉS DE PROTEÇÃO NO ATP/ATPDraw

A simulação da operação de uma PCH sobre as mais diversas condições de faltas possibilita uma compreensão mais detalhada das características de operação dos diversos componentes da planta, seja de forma individual ou interligados.

O software ATP/ATPDraw se apresenta como uma importante ferramenta para simulação de uma PCH e seu sistema de proteção, pois dispõe de vários modelos para a representação dos componentes do sistema elétrico, bem como permite a elaboração e utilização de novos modelos.

3.1 O ATP/ATPDraw

O ATP (Alternative Transients Program) é um dos programas mais utilizados para simulação digital de fenômenos transitórios de natureza eletromagnética em sistemas elétricos de potência. Com ele, redes complexas e sistemas de controle podem ser simulados.

O ATPDraw é uma interface para a utilização do ATP. No ATPDraw pode se efetuar a entrada de dados através de uma interface gráfica elegante, bem elaborada e que permite uma visualização do esquema elétrico da rede que se pretende simular. Também se podem acessar os programas auxiliares e analisar os resultados ou apresentá-los em formato gráfico. A utilização do ATPDraw é uma ferramenta recomendada na utilização do ATP, posto que o usuário se concentra na rede a simular e nos dados de cada componente a ser modelado (MOURENTE, 2011).

3.2 A Linguagem MODELS

A MODELS é uma linguagem de programação residente no software ATP, por meio da qual novos componentes podem ser criados, além dos componentes previamente definidos, através da descrição da estrutura do modelo e das funções dos seus elementos. Ela tem ganhado popularidade nas últimas décadas em trabalhos da modelagem de fenômenos de transitórios

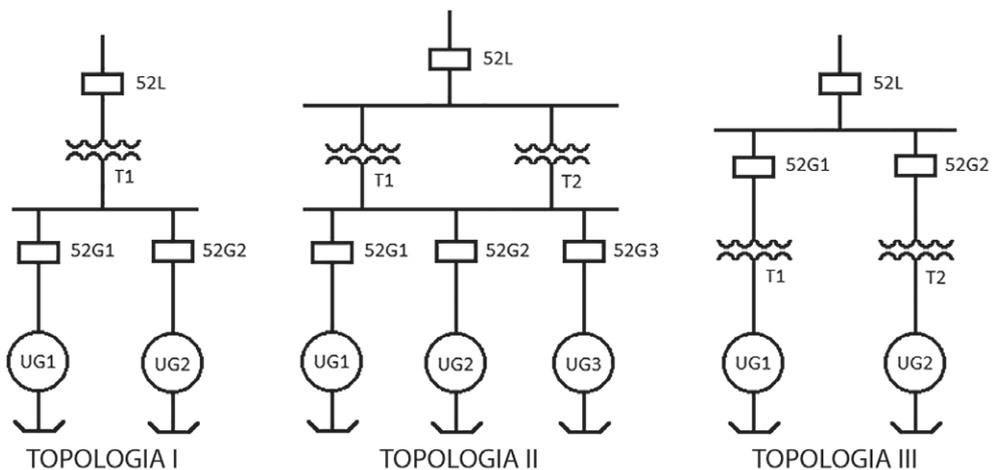


Figura 1 - Topologias típicas de PCHs

eletromagnéticos. Seu ambiente permite a modelagem de componentes específicos do sistema elétrico de potência, tais como os seus dispositivos de proteção.

A MODELS provê o monitoramento e controle dos modelos de sistemas de potência no ATP. As tensões nos nós, correntes nos ramos e estados das chaves do sistema no ATP são sinais e variáveis que podem ser enviadas para a MODELS, que pode fornecer sinais de saída a serem enviados para o ATP, provocando alterações no seu estado de operação mediante comutação de suas chaves ou mudança nos valores de suas impedâncias e fontes. Assim, o estado do modelo do sistema elétrico no ATP pode ser dinamicamente modificado em resposta às saídas da MODELS. Esse processo é chamado de simulação em malha fechada, por meio do qual é possível a simulação da interação entre o sistema de potência e seus sistemas de medição, proteção e controle (MOURENTE, 2011).

3.3 Blocos residentes no ATP/ATPDraw utilizados nas simulações

Neste trabalho a modelagem do sistema elétrico é efetuada através da interface ATPDraw e utiliza-se blocos residentes no software para simular os componentes de interesse. Os geradores síncronos são modelados através do bloco SM59_NC. O transformador elevador é modelado através do bloco BCTRAN onde são utilizados os dados reais dos ensaios de curto-circuito e a vazão do transformador real. A linha de transmissão, por se tratar de uma linha relativamente curta (aproximadamente 18 km) é modelada através do bloco LINESY_3. O equivalente do sistema elétrico é modelado com o bloco ACSOURCE em série com uma impedância LINESY_3. Além destes, são utilizadas chaves de tempo controlado SWITCHTC para simulação de curtos-circuitos, transformadores do tipo TRAF0_S para modelar os TCs e transformadores do tipo TRAF0_I3 para modelar os TPs.

3.4 Blocos elaborados para utilização nas simulações dos relés de proteção

Para a modelagem dos relés de proteção e dos disjuntores dos geradores e da linha de transmissão são utilizados o ambiente MODELS do ATP/ATPDraw.

Todos os fasores de tensão e corrente foram determinados através do algoritmo de Fourier de ciclo completo, com taxa de amostragem de 32 pontos por ciclo.

A modelagem dos disjuntores é realizada a partir do algoritmo desenvolvido e apresentado por (MOURENTE, 2011) como pode ser visto na Figura 2.

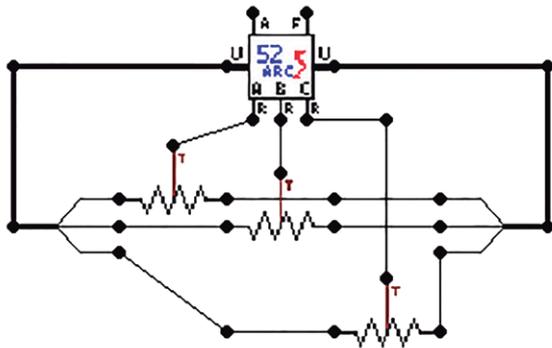


Figura 2 – Bloco utilizado para simulação dos disjuntores

Este modelo recebe os comandos de fechamento e abertura e seus contatos principais são simulados abertos/fechados através da variação do valor das resistências.

3.4.1 Relé de sobrecorrente temporizado controlado por tensão - 51C

Após a determinação dos fasores é implementada a lógica de operação da função 51C propriamente dita, onde a unidade de sobrecorrente somente é ativada quando a tensão for igual ou inferior ao valor ajustado no relé. Satisfeita esta condição, as unidades de sobrecorrente operam em função dos ajustes dos valores das correntes e curvas selecionadas. A tensão é ajustada para o nível que se deseja garantir que não haverá operação indevida.

A Figura 3 apresenta a parte do circuito implementado para simulação da planta onde está inserido o relé 51C desenvolvido. Observa-se que este relé está sendo utilizado para proteção da unidade geradora. O mesmo recebe os sinais de tensão e corrente provenientes

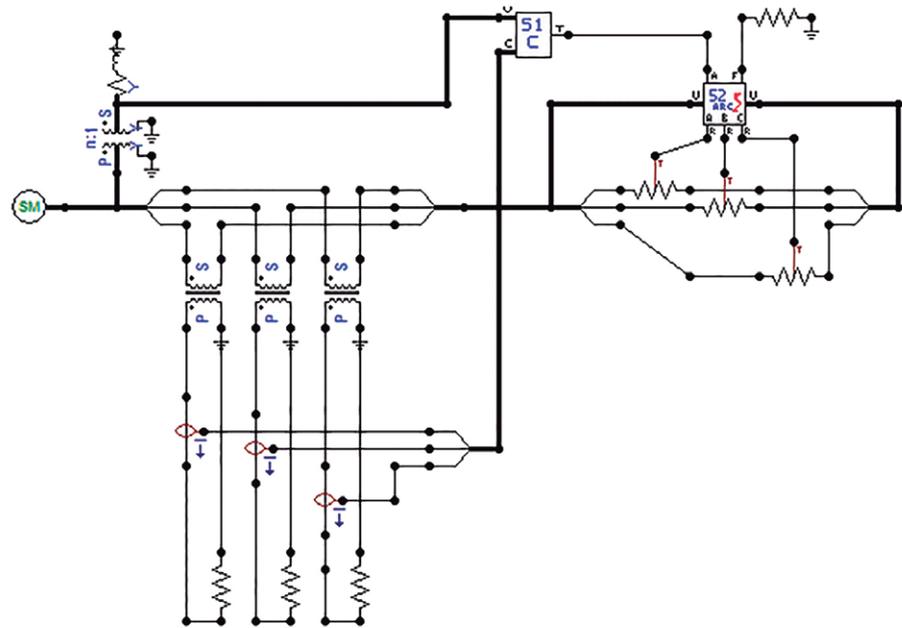


Figura 3 – Parte do circuito no qual está inserido o relé 51C

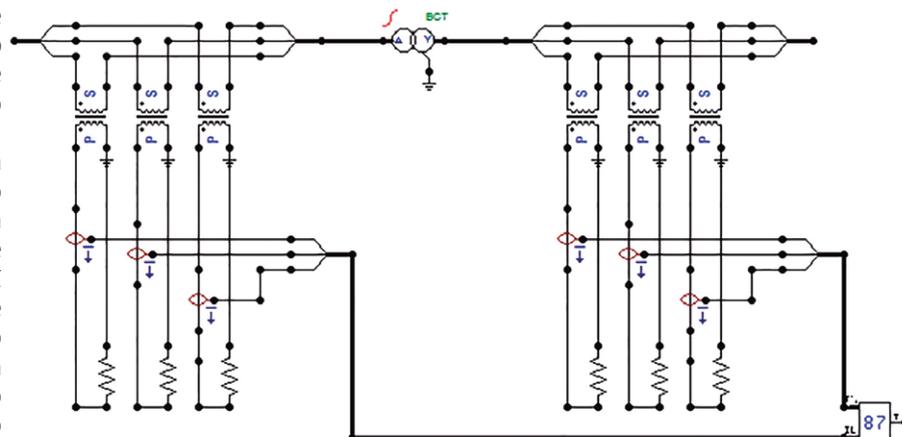


Figura 4 – Parte do circuito no qual está inserido o relé 87T

respectivamente dos TPs e TCs instalados imediatamente na saída do gerador e atua no circuito de abertura do disjuntor associado à mesma unidade geradora.

3.4.2 Relé diferencial de transformadores - 87T

O bloco desenvolvido para simulação da função 87T utiliza, após a determinação dos fasores, a lógica de operação da função diferencial percentual, onde são calculadas as correntes de operação e de restrição do relé.

A Figura 4 apresenta a parte do circuito implementado para simulação da planta onde está inserido o relé 87T desenvolvido. Este relé faz a aquisição das correntes provenientes dos TCs do transformador instalados nos lados de alta e baixa tensão e atua na abertura dos disjuntores na saída dos geradores e na saída da SE.

3.4.3 Relé de distância - 21/21N

O bloco desenvolvido para simulação da função 21 utiliza, após a determinação dos fasores, a lógica de operação da função de distância do tipo mho com duas zonas de atuação.

A Figura 5 apresenta a parte do circuito implementado para simulação da planta onde está inserido o relé 21 desenvolvido.

4 SISTEMA SIMULADO

O sistema simulado é uma PCH composta por duas unidades geradoras, interligadas diretamente na barra de 6,9 kV, um transformador elevador de 6,9/69 kV que interliga as unidades geradoras a uma barra de 69 kV que conecta a PCH ao sistema elétrico através de uma linha de transmissão de 69 kV.

Os diagramas de impedâncias apresentados na Figura 6 apresentam as características e ilustram o arranjo deste sistema. Nesta figura, os valores das impedâncias de seqüência positiva e zero estão em valores percentuais, na base 100 MVA.

5 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Após a modelagem do sistema representado pelo diagrama de impedâncias da Figura 6 e dos relés de sobrecorrente controlado por tensão, diferencial do transformador e de distância no ATPDraw, foram simuladas faltas nos locais indicados na Figura 7.

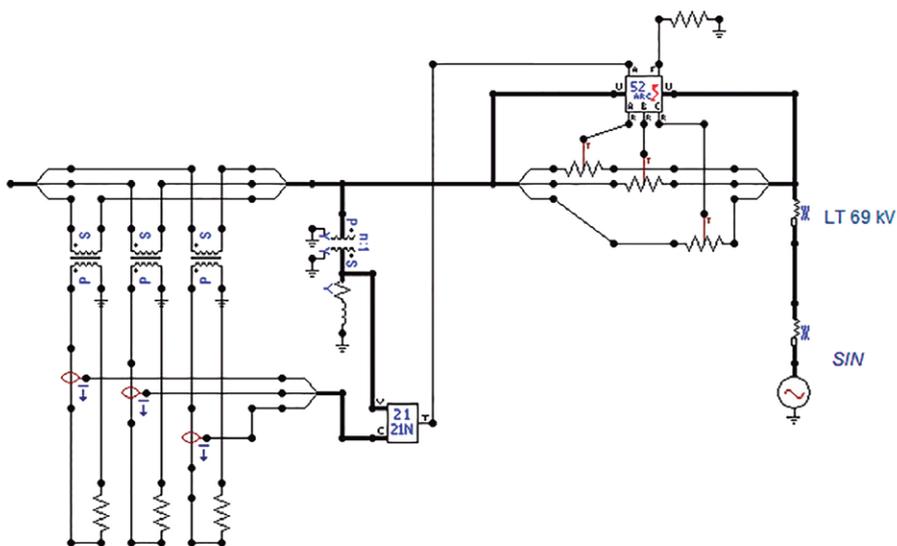


Figura 5 - Parte do circuito no qual está inserido o relé 21

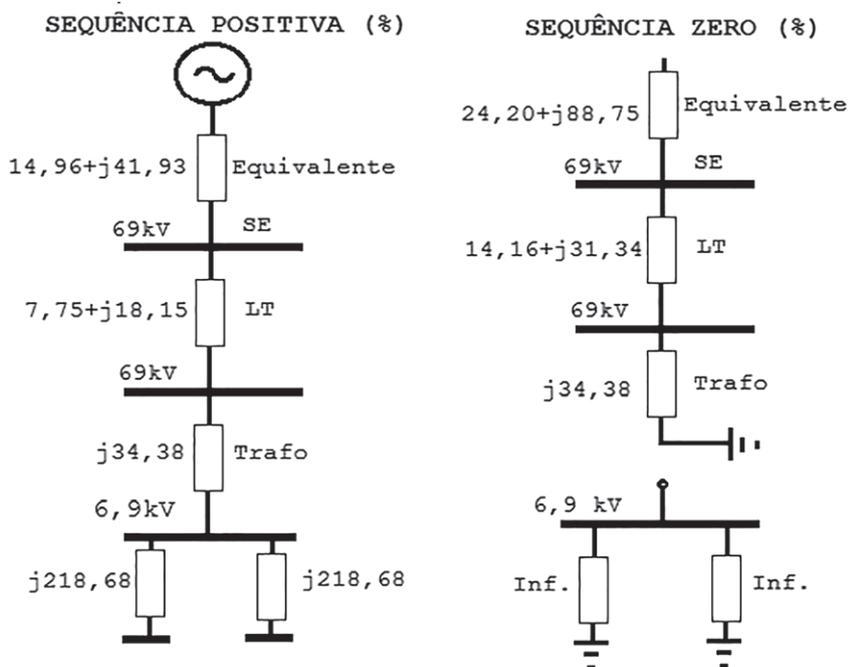


Figura 6 - Diagramas de impedâncias do sistema

Falta 1: Consiste de um curto-circuito trifásico na barra que interliga as duas unidades geradoras. Como pode se observar na Figura 8, onde são apresentadas as correntes vistas pelo relé 51C e o sinal de trip deste relé, que o mesmo atua corretamente. Nesta simulação o relé 51C está ajustado para operar segundo a curva de tempo inverso IEC Muito Inversa.

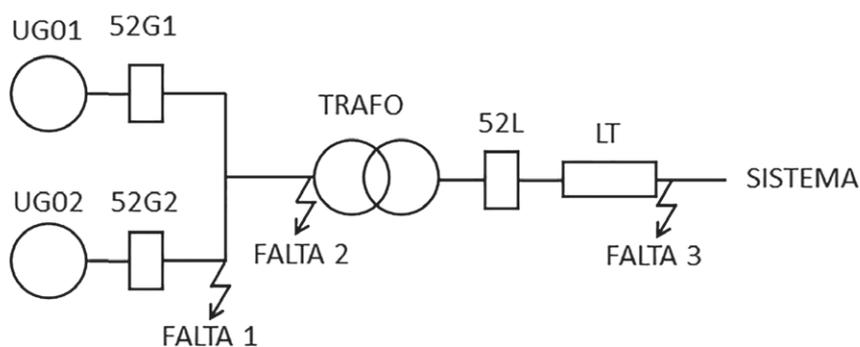


Figura 7 - Indicação das faltas simuladas

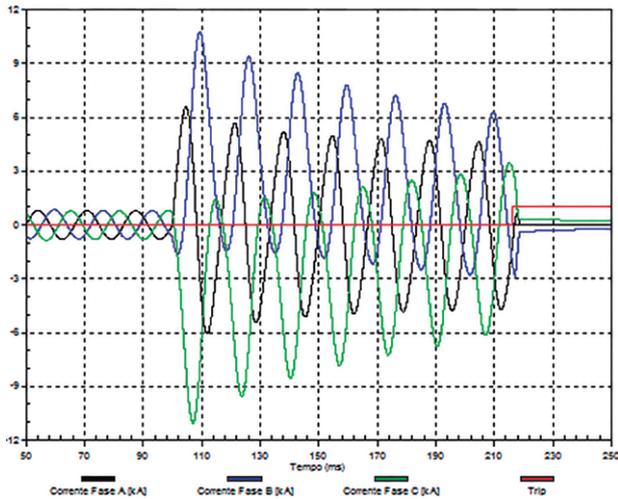


Figura 8 – Falta trifásica na barra de interligação das unidades geradoras

Falta 2: É simulado um curto-circuito trifásico na bucha de baixa tensão do transformador elevador, dentro da zona de proteção do relé diferencial. Neste caso, se observa na Figura 9 que há a correta atuação do relé 87T.

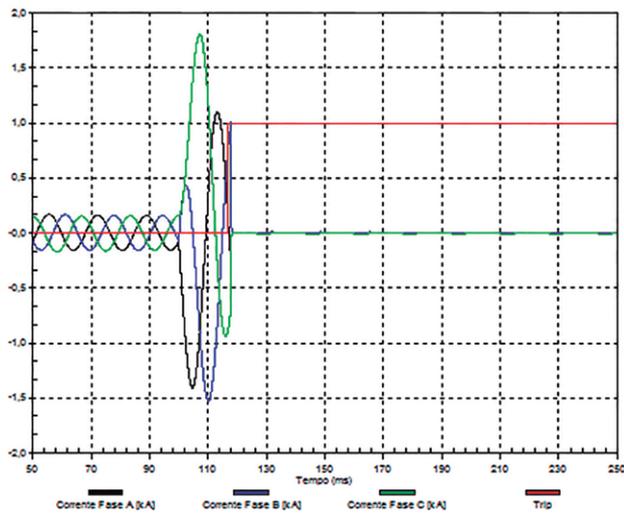


Figura 9 – Falta trifásica na zona de proteção do relé 87T

Falta 3: Esta falta consiste de um curto-circuito trifásico no final da LT de 138 kV, na região próxima à SE na qual a LT está interligada. Neste caso, se observa na Figura 10 que há a atuação temporizada (2ª zona) do relé 21.

6 CONCLUSÕES

Neste artigo está proposta a modelagem de funções de proteção e simulação de operação de PCHs no ATP/ATPDraw. Tal modelagem se mostra muito útil, pois permite avaliar, antes mesmo da entrada em operação de uma planta, a eficácia dos ajustes que se pretende implantar nos relés de proteção bem como correta seletividade entre os relés nas mais diversas condições de faltas.

A utilização da linguagem MODELS para desenvolvimento de lógicas de funções de proteção possibilita que sejam realizadas simulações em malha fechada. Neste tipo de simulação é possível observar e analisar, em regime permanente e nos transitórios, toda a interação entre os diversos equipamentos do sistema. Interação esta que abrange desde a geração dos sinais de corrente e tensão até a operação de abertura dos disjuntores após a atuação de uma determinada função de proteção.

REFERÊNCIAS

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Volume 1. Edição do autor/2012.

MIGUEL, P. M. **Introdução à Simulação de Relés de Proteção Usando a Linguagem “MODELS” do ATP**. 1ª Edição, Ciência Moderna, 2011.

MAMEDE FILHO, J. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. LTC/2011.

MASON, C. R. **The art and science of protective relaying**. Universidade de Michigan. Editora Wiley, 1956.

KIM, C.; LEE, M.; AGGARWAL, R. K.; JOHNS, A. T. J. **Educational Use of EMTP MODELS for Study of a Distance Relaying Algorithm for Protecting Transmission Lines**. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, n. 1, February 2000.

COURY, V. C. **Proteção digital de Sistemas Elétricos de Potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessados inteligentes**. Universidade de São Paulo/2011.

ONS. **Procedimentos de Rede – Submódulo 23.3:** Diretrizes e critérios para estudos elétricos

IEEE. **C37.102-2006:** IEEE Guide for AC Generator Protection.

GONZALEZ, J. I. P. R. **Representação de relés de proteção em programas de curto-circuito**. Dissertação de Mestrado - COPPE/UF RJ, Setembro de 2007.

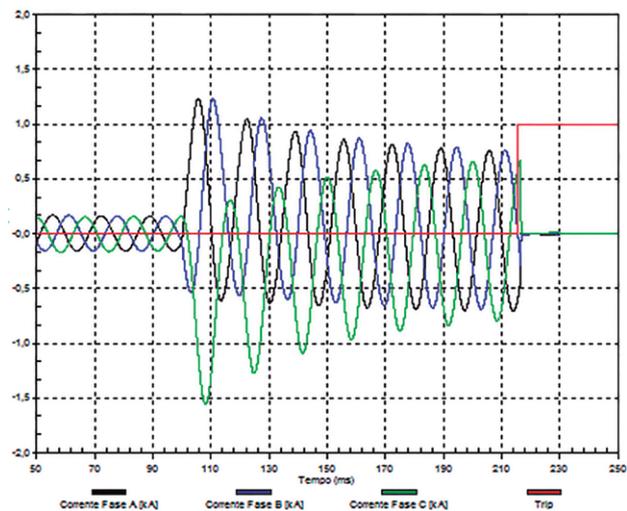


Figura 10 – Falta trifásica na LT