

Simulador de Controle/Corte de Carga de uma Instalação da Indústria da Energia Utilizando RTDS e Controladores de Automação

Bruno Dornas Cipriani
Universidade federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, Brasil
bruno.cipriani@engenharia.ufjf.br

Leandro Ramos de Araujo, MIEEE
Departamento de Energia Elétrica
Universidade federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, Brasil
leandro.araujo@ufjf.edu.br

Resumo— Este trabalho apresenta uma plataforma de simulação de uma subestação e alimentadores industriais da indústria da energia no RTDS. O objetivo é a demonstrar um ambiente real para ensino de Proteção e Automação para alunos de graduação. Foram acoplados ao Simulador Digital em Tempo Real (RTDS) quatro Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs) de proteção para realizar uma simulação hardware-in-the-loop. Os IEDs são controlados por um Controlador de Automação em Tempo Real (RTAC). Como exemplo, será apresentado um esquema de corte de cargas, onde através da automação foi priorizado o funcionamento da carga mais importante da instalação, como é comum nas grandes indústrias.

Palavras Chave—Automação da proteção, RTDS, Corte de cargas, RTAC, IEDs

I. INTRODUÇÃO

Com o novo paradigma de proteção utilizando redes, a grande pressão exercida por uma melhor qualidade de energia e por maior confiabilidade; torna-se essencial que os sistemas operem de forma otimizada, com grande eficiência, poucas falhas e pouco tempo de interrupção de energia.

Deste modo é necessário, e essencial, o desenvolvimento de simuladores para a análise de sistemas industriais, que contemplem as características inerentes destes sistemas. Com as novas tecnologias e paradigmas da proteção de sistemas industriais (*Intelligent Electronic Devices* - IEDs, como exemplo), nota-se um crescente interesse na utilização destas novas tecnologias, isto pode ser notado acompanhando os recentes trabalhos publicados em seminários nacionais e internacionais, bem como a participação crescente dos congressistas nas seções sobre este tema. Como em [1] que utiliza *software* de supervisão Elipse Power, desenvolvido pela Elipse Software, para analisar o desequilíbrio de potência e o desligamento de cargas do sistema elétrico através da

comunicação com IEDs. E em [2] que se baseia totalmente na comunicação entre os IEDs e controladores locais para supervisão, configuração e operação dos disjuntores através de rede para corte de carga dependendo da contingência. Muitos estudos focam no melhoramento do plano de corte de carga de forma a diminuir o montante do corte, como em [3] que utiliza métodos diretos para análise de planos de corte de carga que consiste no cálculo de frequências de corte, representando o sistema de forma não linear.

Assim, é de grande interesse da indústria que profissionais sejam treinados tanto na especificação dos sistemas de proteção quanto na configuração dos equipamentos. Para tanto é oportuna a utilização de um simulador em tempo real (RTDS), processadores de automação e de IEDs de proteção, pois se obtém uma simulação em um ambiente "real" e controlado, permitindo realizar diversas programações dos IEDs e analisar os resultados destas. Além de poder ser realizados testes de IEDs ou programação de relés em laboratório para depois serem enviados a campo, e com isto reduzindo a probabilidade do aparecimento de problemas, tanto por defeitos como por falha na programação dos mesmos, assim diminui-se o tempo de comissionamento dos equipamentos. Desta forma é uma boa opção para empresas testarem em um ambiente seguro seus equipamentos e suas filosofias de trabalho, antes de suas aplicações aumentando assim a confiabilidade de seu projeto.

Neste trabalho foram utilizados um equipamento de simulação de sistemas elétricos em tempo real (RTDS), um controlador de automação em tempo real (RTAC, *Real Time Automation Controller*) e diversos IEDs. Com estes equipamentos é possível simular em tempo real diversos sistemas elétricos, possibilitando também a integração de IEDs reais com o ambiente simulado no RTDS. Além disto, é

possível colocar os IEDs em redes e rodar sistemas de automação em tempo real e junto com a simulação elétrica.

O objetivo deste projeto é a construção de um simulador de uma subestação e alimentadores industriais típicos da indústria da energia no RTDS e realizar um esquema de corte de carga no caso de defeitos. Serão acoplado ao RTDS diversos IEDs de proteção para fazer uma simulação *hardware-in-the-loop* (o RTDS envia sinais elétricos para os IEDs reais processarem e depois estes devolvem sinais de controle ao RTDS), onde o sistema elétrico será implantado no RTDS e os sinais serão enviados aos IEDs e destes ao RTAC. Deste modo será possível programar os IEDs e analisar o desempenho da filosofia da proteção adotada.

O conhecimento da teoria e aplicação destes dispositivos de proteção é uma importante parte da formação de um engenheiro eletricitista especializado em sistemas elétricos de potência.

II. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Nesta parte é realizada uma explanação de todos os equipamentos utilizados e seus respectivos softwares utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

A. Real Time Digital Simulator – RTDS

O Simulador Digital de Tempo Real (RTDS, *Real Time Digital Simulator*) é um equipamento que possibilita a verificação de como um sistema elétrico de potência, juntamente com todos os seus equipamentos de proteção e controle, vai se comportar quando colocado em funcionamento. Além disto, o RTDS permite reproduzir o comportamento do sistema no mundo real, exportando as grandezas do circuito simulado e estado dos equipamentos. Esta característica é muito importante para testes de equipamentos nas áreas de processamento digital, transmissão de dados em redes elétricas, proteção, controle, monitoramento de sistemas elétricos de potência, entre outros.

O hardware do RTDS possui vários cartões de processamento que realizam diversas funções como propiciar a interface entre o hardware e o computador, comunicação entre os dispositivos do equipamento, resoluções de modelos matemáticos que representam os modelos elétricos a serem simulados, a conversão de protocolos de comunicação entre dispositivos e a sincronização com os dispositivos de teste externos.

Duas placas de interface com equipamentos foram usadas neste trabalho: a *Gigabit Transceiver Analogue Output Card*, GTAO; e a *Gigabit Transceiver Front Pannel Interface Card*, GTFPI [5].

A placa GTAO foi usada para a interface entre o RTDS e os IEDs (os sinais são amplificados por uma caixa amplificadora OMICRON, que será apresentada logo adiante). Essa placa possui doze canais de saídas analógicas, com uma variação de +/- 10 volts. Cada saída fornece uma ampla faixa dinâmica de tensão proporcional e sincronizada com uma determinada referência de tensão ou corrente na simulação no RTDS.

A placa GTFPI forma uma interface com 16 canais digitais de entrada e 16 canais digitais de saída entre o RTDS e equipamentos externos.

O *software* do RTDS é composto pelo *software* de simulação RSCAD que foi elaborado para realizar a interface gráfica entre os componentes físicos do RTDS e o usuário. Promovendo um ambiente de modelagem para os sistemas elétricos de potência envolvidos nos testes, visto que sua biblioteca contém todos os principais componentes do mesmo (transformadores, disjuntores, linhas de transmissão, etc). Ele é responsável, dentre outras funções, pela modelagem dos circuitos elétricos, monitoração da simulação através de gráficos e indicadores de luz, ajuste de parâmetros em tempo real, definição da geometria dos condutores das linhas de transmissão, etc. Após a modelagem, se ela estiver correta, é gerado um código executável que é introduzido ao hardware do RTDS, que processa as informações e fornece os resultados.

B. Intelligent Electronic Device – IED

Os *Intelligent Electronic Devices* são relés digitais microprocessados, projetados para executar várias funções de monitoramento, proteção e controle, como, por exemplo, disparar um disjuntor quando uma falha no sistema elétrico é detectada, antes que essa falha possa causar danos ao sistema. Diversas funções de proteção são combinadas em somente um dispositivo como o sobrecorrente temporizada, sobrecorrente instantânea, direcional, entre outros. Ao detectar uma condição anormal de operação ele fecha seus contatos disparando um sinal para acionar o disjuntor, este sinal denominado sinal abertura, muitas vezes referido como sinal de TRIP.

Neste trabalho foram utilizados quatro relés da Schweitzer Engineering Laboratories – SEL, todos eles são ajustados através do *software* AcSELElator Quickset e todos de forma bem semelhante. Foram utilizados dois relés de proteção diferencial de linha SEL 411L [8], um de proteção de gerador SEL700G [10] e um de proteção de transformador SEL 787 [9], apesar de serem para proteção específica de determinados equipamentos, estes não foram usados necessariamente para estes fins. Estes relés foram utilizados porque são os únicos disponíveis no laboratório onde foi realizada a pesquisa. Qualquer outro tipo de IED da SEL poderia ser utilizado neste trabalho, já que só são usadas as funções básicas do mesmo.

Esses equipamentos possuem tensão nominal de 115 V e corrente nominal 5A. Para fornecer esses valores compatíveis são utilizados instrumentos de medição, transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC), neste trabalho esses transformadores também são simulados no RTDS.

C. CMS 156

O CMS 156 é um amplificador trifásico, da marca OMICRON, que amplifica três fases de tensão e três fases de corrente, todos esses sistemas isolados entre si. Ele fornece saídas de alta potência com um ganho de tensão de 250 V para cada fase e um ganho de corrente 25 A para cada fase, apesar de os canais de saída de correntes no equipamento serem proporcionais a um sinal de tensão.[4]

D. Real Time Automation Controller – RTAC

O *Real Time Automation Controller* é um equipamento de controle e automação de sistemas elétricos. Pode ser utilizado em gestão de dispositivos em subestações e automação industrial, sendo capaz de converter dados entre múltiplos protocolos, compatibilizando a conexão entre diversos equipamentos[7].

Através de seu *software*, AcSELerator RTAC, pode-se montar um projeto onde coleta-se dados e criam-se esquemas altamente inteligente de automação que melhoram a confiabilidade e a eficiência global do sistema.

III. MONTAGEM LABORATORIAL

Neste trabalho foi sintetizado um sistema elétrico simples para realizar estudos e simulações. O sistema proposto é apresentado na Fig. 1 e é composto por três alimentadores chegando a um barramento de 34,5 kV. Este barramento é conectado a um barramento de 13,8 kV, sendo que neste último barramento são conectadas três cargas. As cargas são compostas por duas cargas estáticas e um motor. Este sistema simula uma indústria onde sua carga prioritária é o motor, ou seja, sendo um motor a carga mais importante. Todas as cargas foram representadas de forma simplificada, pois o objetivo principal deste trabalho não é a análise detalhada do comportamento das cargas elétricas.

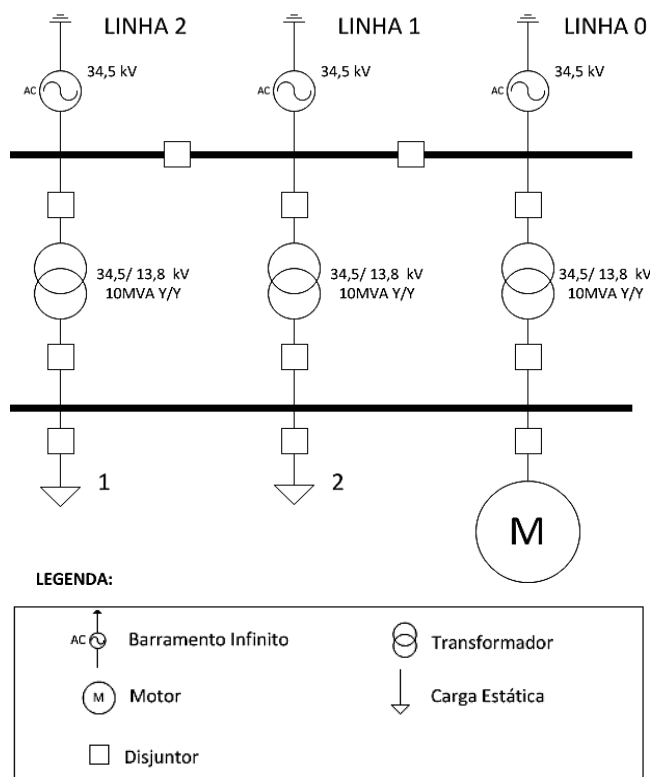


Figura 1. Diagrama Unifilar do Sistema Elétrico

Os dados deste sistema elétrico utilizado para implementar a lógica de descarte de carga são: sistema com três entradas de energia (barramentos infinito) de 34,5kV com resistência de $0,051\Omega$ e indutância de 2mH; e com três saídas de cargas, sendo uma delas um motor de 11,525MVA e 13,8kV; e as outras duas, cargas estáticas de resistência $10,944\Omega$ e de indutância 9,5417mH. O abaixamento de tensão é feito por três transformadores em cada entrada, cada um de 10MVA (estrela/estrela) e com reatância de dispersão de 0,0744 pu. Todos esses dados acima foram retirados de [11]. Também foram acoplados ao sistema três transformadores de corrente, um de potencial e disjuntores.

Foi criado um esquema de corte de cargas automático caso haja um defeito em um ou dois alimentadores, priorizando o funcionamento do motor. Assim, se um alimentador é perdido retira-se uma carga estática do sistema para não sobrecarregar os outros dois alimentadores restantes e se dois alimentadores por algum motivo deixam de fornecer energia retiram-se as duas cargas estáticas mantendo o motor em funcionamento, deste modo não se corre o risco de ocorrer uma falha no alimentador por sobrecarga ou que haja uma alta queda de tensão, devido ao aumento da corrente, fazendo assim a interrupção do funcionamento do motor. Segue a tabela para o esquema de corte de carga:

TABLE I. ESQUEMA CORTE DE CARGAS

<i>Alimentadores em Funcionamento</i>	<i>Cargas Retiradas</i>
Linhas 0,1 e 2	Nenhuma
Linhas 1 e 2	Carga Estática 1
Linhas 0 e 2	Carga Estática 1
Linha 2	Cargas Estáticas 1 e 2

Nota-se que a Linha 2 não poderá ter falta, pois não foi possível monitorá-lo devido ao número limitado de equipamentos (IEDs) disponível. Foram utilizados dois relés para receberem sinais de correntes dos alimentadores, conectados a dois amplificadores, assim somente dois foram monitorados, sendo estes passíveis de falha. Foram utilizados dois relés de proteção diferencial de linha, SEL411L, para monitorar as correntes dos dois alimentadores. Para acionar os disjuntores das cargas estáticas, quando for necessário retirá-las, foram utilizados os relés SEL700G e o SEL787 (nota-se que eles estão realizando funções diferentes do previsto, pois eles são equipamentos de proteção de geradores e transformadores, e não de cargas e motores). O esquema de corte de carga será realizado pelo RTAC através de uma programação lógica. A comunicação entre os equipamentos é realizada através do protocolo SEL por rede (Cabo Ethernet).

O funcionamento da automação do corte de carga é da seguinte maneira: O RTDS disponibiliza os sinais de corrente dos transformadores de correntes (TC) dos alimentadores para os SEL411L, sendo estes amplificados pelo OMICRON CMS 156. O SEL411L amostra este sinal e envia os valores RMS

para o RTAC. O RTAC analisa estes sinais e avalia quais cargas devem ser retiradas através de uma rotina programada previamente. O comando de abertura dos disjuntores das cargas é enviado pelo RTAC para os relés SEL 700G e/ou 787, e estes IEDs enviam o sinal de TRIP para o RTDS para acionamento dos disjuntores das cargas simulados no RTDS. Também foi programada a lógica de religamento das cargas pelo RTAC caso volte o fornecimento de energia dos alimentadores. O diagrama de fluxos de sinais elétricos e lógicos é apresentado na Fig 2.

A montagem realizada em laboratório é apresentada na Fig. 3. Nesta imagem mostra todos os cabos e entradas utilizadas dos equipamentos, assim como as placas usadas no RTDS. Cada sinal recebido por uma entrada é tratado como uma variável configurada em cada *software* do respectivo equipamento.

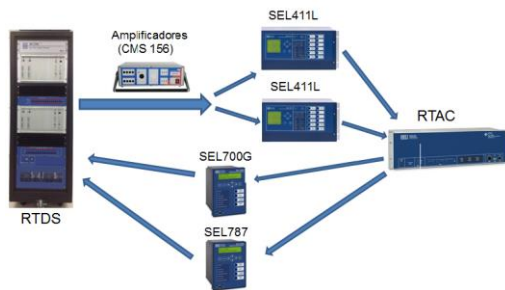


Figura 2. Esquema de Ligações

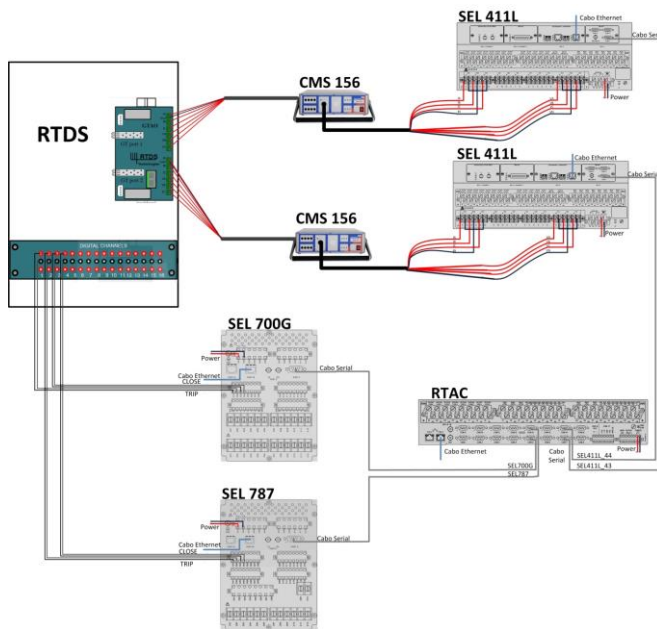


Figura 3 - Diagrama da Composição Final

A lógica implementada no RTAC se resume praticamente em retirar determinada carga ao se interromper o fornecimento

de energia de um ou mais alimentadores. Assim para perceber essa interrupção de energia foi utilizado o cálculo da média das correntes das três fases de cada um dos dois alimentadores, que é a média dos sinais recebidos do SEL411L. Essa metodologia foi utilizada porque é uma maneira mais fácil de perceber a ocorrência de uma interrupção do fornecimento de energia. Assim quando uma ou mais dessas médias assume o valor zero realiza-se o corte de carga de acordo com a Tabela I.

IV. RESULTADOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos com a simulação para diferentes tipos de perdas de fornecimento de energia, assim como a retomada da linha e a volta do fornecimento:

A. 1º caso

O primeiro caso é quando há a perda do fornecimento de energia do primeiro alimentador (Linha 1). A figura 4 mostra o que ocorre com as correntes das três fases nos três alimentadores no intervalo de tempo que o defeito ocorre. Já a figura 5 apresenta as correntes nas três cargas neste mesmo momento.

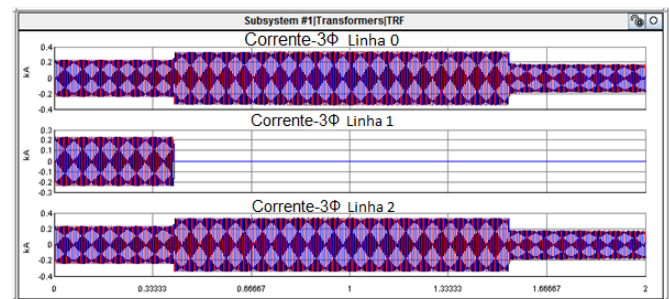


Figura 4. 1º Caso: Correntes nos Alimentadores

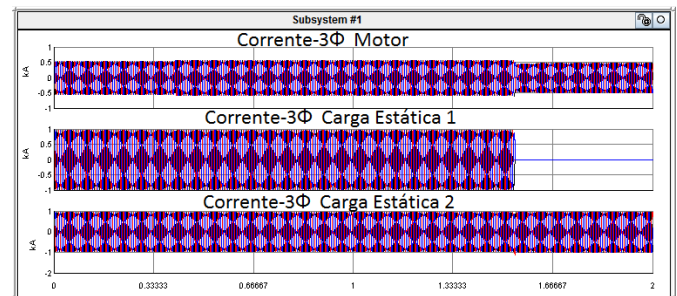


Figura 5. 1º Caso: Correntes nas Cargas

Pode-se observar em Fig. 4 que com a queda do fornecimento de um alimentador, ou seja, quando as correntes das três fases da Linha 1 chega ao valor nulo, os outros dois alimentadores são sobre carregados. E após aproximadamente 1 segundo é retirada do sistema a primeira carga estática, como pode ser visto em Fig. 5, aliviando assim os alimentadores restantes, como mostra a Fig. 4 onde as Linhas 0 e 2 voltam a ter correntes menores.

B. 2º caso

Neste caso há a perda do fornecimento de energia do outro alimentador (Linha 0). As correntes nos alimentadores e nas cargas são apresentadas em Fig. 6 e Fig. 7, respectivamente.

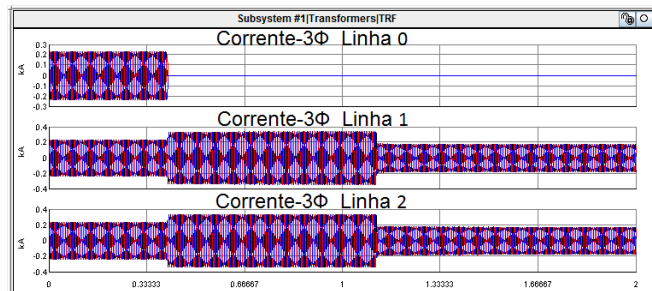


Figura 6. 2º Caso: Correntes nos Alimentadores

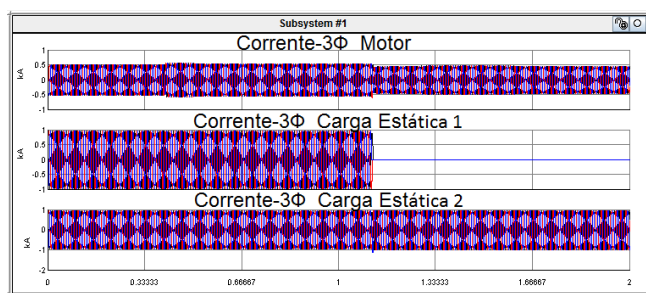


Figura 7. 2º Caso: Correntes nas Cargas

Assim como no 1º caso, com a queda do fornecimento de um alimentador, neste caso o outro alimentador, é retirada do sistema a mesma carga estática, esta que seria a menos importante do sistema. Similarmente ao caso anterior, com o alívio de carga não sobre carrega os alimentadores restantes.

C. 3º caso

Neste caso há a perda do fornecimento de energia dos dois alimentadores (Linhas 0 e 1). A figura 8 mostra as correntes nos alimentadores quando há o defeito no segundo alimentador (o primeiro alimentador já está fora de operação, como pode ser visto pelos valores nulos das correntes da Linha 0). Já a figura 9 apresenta as correntes nas três cargas neste mesmo momento.

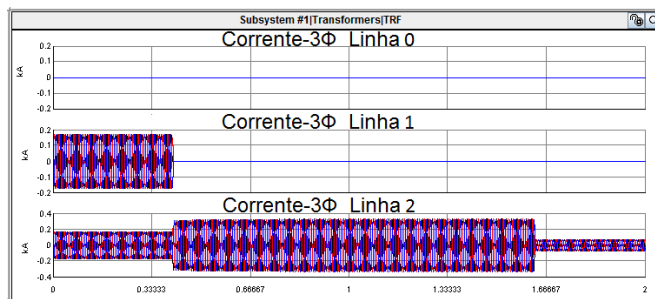


Figura 8. 3º Caso: Correntes nos Alimentadores

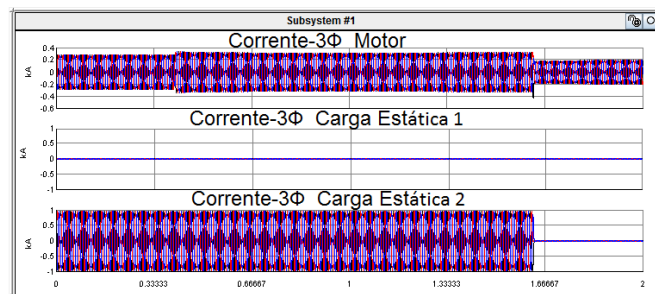


Figura 9. 3º Caso: Correntes nas Cargas

Neste caso pode-se ver que com a queda dos dois alimentadores somente o motor continua em operação, já que após a perda da Linha 1 retira-se a segunda carga estática. Deste modo evitando-se uma falha no último alimentador por sobrecarga e falhas no sistema devido ao aumento da queda de tensão.

D. 4º caso

Neste último caso é quando há o retorno do fornecimento de energia dos dois alimentadores. A figura 10 apresenta as correntes nos alimentadores no exato momento quando o segundo alimentador é religado e a figura 11 as correntes nas cargas neste momento.

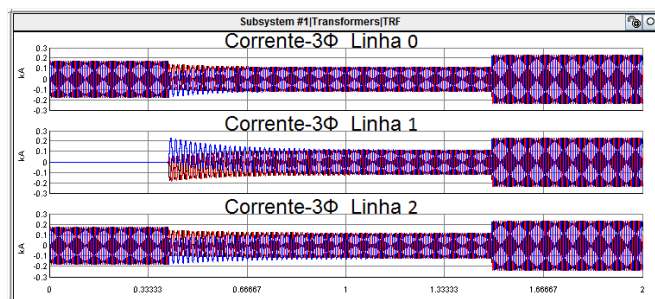


Figura 10. 4º Caso: Correntes nos Alimentadores

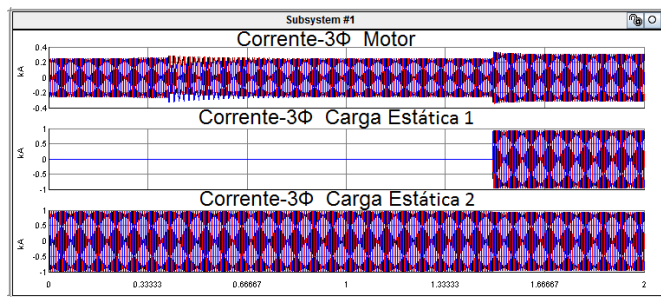


Figura 11. 4º Caso: Correntes nas Cargas

Este último caso é para apresentar o religamento das cargas com a volta do fornecimento de energia dos alimentadores. Na figura 10 pode-se ver o religamento do segundo alimentador (Linha 1), nota-se um período transitório neste momento. Já na figura 11 mostra-se a ação dos IED's e do RTAC, que percebendo a volta do fornecimento de energia insere, novamente, a carga estática no sistema.

V. CONCLUSÕES

Foi apresentada neste trabalho uma plataforma de simulação de um sistema industrial no RTDS. Neste sistema foi implementado um esquema de corte de carga automatizado pelo RTAC e operado por quatro IEDs. Os resultados deste trabalho foram obtidos como o esperado, os dispositivos agiram de forma a proteger a carga prioritária quando um defeito na alimentação ocorria.

Esta plataforma é uma ótima ferramenta para treinamento de alunos que queiram ingressar no mercado de trabalho, seja na área de proteção, automação ou diversas outras. Através dela pode-se obter um amplo conhecimento em ajustes e aplicações de diversos softwares e equipamentos muito utilizados hoje pelas indústrias. Isto em um ambiente “real” e seguro, já que são utilizados em laboratório os mesmos equipamentos que são utilizados em um sistema elétrico real.

Além disso, como já dito, é um meio de testar estes equipamentos e simular filosofias de proteção em laboratório antes de serem empregados em campo. Logo, o que foi feito já seria um primeiro passo para que essa estrutura seja implementada na prática.

REFERÊNCIAS

- [1] B.C. Musarra, “Automação de subestações – sistema automático de alívio de carga”, Me. dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013
- [2] Ferreira, Adriel Angelo; Abboud, Ricardo; Franco, Paulo; Cardoso, Rafael, “Sistema de descarte de cargas e sincronização automática com base na norma IEC 61850-implantação e testes,” in Petroleum and Chemical Industry Conference - Brasil (PCIC Brasil), 2014 IEEE , vol., no., pp.155-160, 25-27 Aug. 2014
- [3] L.C. Brolin, “Análise de Planos de Corte de Carga Através de Métodos Diretos”, Me. dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.
- [4] OMICRON, “Omicron CMS 156 Reference Manual”, Manual de Referência. OMICRON Electronics GmbH, 2015.
- [5] RTDS TECHNOLOGIES, “RTDS Manuals”, Manual de Instruções. RTDS Technologies, 2009.
- [6] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, “RTAC – Sel Client Exercise. Hands-On RTAC Session”, Schweitzer Engineering Laboratories, INC., 2012. Disponível em: <https://selinc.cachefly.net/GHRC/1_Tuesday/Hands-On%20RTAC/02_SELClient_MD_20120723.pdf>.
- [7] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, “SEL-3530 Real-Time Automation Controller (RTAC) Instruction Manual”, Manual de Instruções. Schweitzer Engineering Laboratories, INC., 2015.F
- [8] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, “SEL-411L Relay Protection and Automation System”, Manual de Instruções. Schweitzer Engineering Laboratories, INC., 2014.
- [9] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, “SEL-787 Transformer Protection Relay Instruction Manual”, Manual de Instruções. Schweitzer Engineering Laboratories, INC., 2015.
- [10] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, “SEL-800G Generator and Intertie Protection Relays Instruction Manual”, Manual de Instruções. Schweitzer Engineering Laboratories, INC., 2015.
- [11] VIANNA, J. T. A., “Ensaio com Relé de Proteção de Alimentador. Apostila. Juiz de Fora”, MG: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014a. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/prh-pb214/>>.