

Desenvolvimento e Implementação de uma Lógica para Comutação entre Fontes de Alta Tensão Baseada em Relés Digitais Comerciais Aplicada em uma Subestação Industrial

Ulisses Chemin Netto, Juliano Coelho Miranda, Denis Vinícius Coury e Mário Oleskovicz

Resumo—A qualidade da Energia Elétrica tornou-se tópico fundamental de discussão para seus produtores e consumidores. Depreende-se, então, uma associação direta entre satisfação dos clientes e questões financeiras de ambos. As variações de tensão de longa duração (VTLD) são fenômenos que afetam a tensão tida como normal em um Sistema Elétrico de Potência (SEP). Para processos produtivos complexos e sensíveis é de suma importância construir e operar o SEP associado de forma a garantir o fornecimento contínuo de energia dentro de padrões aceitáveis. Uma estratégia para atingir esse objetivo é prover a subestação de entrada com duas Linhas de Transmissão (LT) vindas de barramentos distintos da concessionária, garantindo uma maior confiabilidade da fonte de alimentação. O presente trabalho explicita, pelo emprego de relés digitais, o desenvolvimento e implementação de uma lógica para comutação automática entre fontes de alimentação em alta tensão visando o fornecimento contínuo da energia.

Palavras-Chave—Comutação, Fornecimento de Energia, Interrupção, Lógica Digital, Relé Digital, Subtensão.

I. NOMENCLATURA

SE_n – Subestação n da concessionária de energia, com $n=[A,B]$;
 PR- n – Para-raios n , com $n=[1,2]$ e $n \in \mathbb{N}$;
 TP- n – Transformador de Potencial n , com $n=[1,2]$ e $n \in \mathbb{N}$;
 DJ- n – Disjuntor de Alta Tensão n , com $n=[1,2]$ e $n \in \mathbb{N}$;
 CT- n – Chave seccionadora de aterramento n , com $n=[1,2]$ e $n \in \mathbb{N}$;
 CS-1. n – Chave seccionadora de linha n , pertencente ao vão 1, com $n=[1,2]$ e $n \in \mathbb{N}$;
 CS-2. n – Chave seccionadora de linha n , pertencente ao vão 2, com $n=[1,2]$ e $n \in \mathbb{N}$;
 27- $k.n$ – Função de subtensão com k estágios, pertencente ao vão n , com $k=[1,2]$, $n=[1,2]$, $n \in \mathbb{N}$ e $k \in \mathbb{N}$;
 TRIP – Sinal de natureza elétrica enviado por uma função de proteção a um disjuntor de alta tensão para promover sua abertura;
 P_{kp} – Grandeza de natureza primária elétrica, mecânica ou térmica que promove a sensibilização de uma função de proteção;
 L_n – Led n para sinalização de eventos, com $n=[1,2,3,4,5,6,7,8]$ e $n \in \mathbb{N}$;

Universidade de São Paulo/USP - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica, Av Trabalhador São Carlense, 400, Centro, 13.566-590, São Carlos, SP, Brasil, uchenin@sel.eesc.usp.br - coelhojm@sel.eesc.usp.br - coury@sel.eesc.usp.br - olesk@sel.eesc.usp.br

[xx] – Contato de saída normalmente aberto do equipamento;
 (xx) – Contado de entrada do equipamento;
 T_n – Temporizador n , com $n=[1,2,3,4]$ e $n \in \mathbb{N}$.

II. INTRODUÇÃO

A universalização do fornecimento e a qualidade da energia elétrica são dois pontos de debate, aparentemente conflitantes, existentes para as empresas da indústria energética, para seus consumidores e para os governos, em suas várias esferas. Se para regiões em desenvolvimento o primeiro item torna-se majoritário, é de conhecimento que quando de sua solução o segundo entra em foco e passa, então, a ser de justa reivindicação, pois sua ausência pode acarretar em diversos problemas.

Tem-se como entendimento que a qualidade da energia é um conjunto de limites elétricos que garantem o adequado funcionamento de um equipamento sem influenciar sobremaneira em seu desempenho ou ainda diminuir de forma apreciável sua vida útil [1].

Das várias grandezas elétricas existentes, a qualidade da energia está adequadamente caracterizada sobre a tensão, pois ela está sob o controle das empresas produtoras de energia elétrica e portanto, passível de manipulação e padronização [2]. O mesmo não se pode dizer a respeito da corrente elétrica pois, a mesma é definida pela natureza da carga conectada ao Sistema Elétrico de Potência, (SEP) [3].

Dois indicadores de qualidade da energia, especialmente aceitos em sistemas de sub-transmissão e distribuição são a continuidade no fornecimento da energia e a magnitude da tensão no SEP, ambos devendo estar inseridos em patamares pré-estabelecidos de variação. Sendo assim, a partir da definição de indicadores adequados sobre uma grandeza elétrica de monitoramento é possível estudar certos fenômenos elétricos e correlacioná-los a qualidade da energia elétrica.

Convencionado o que é a qualidade da energia e sobre qual grandeza é definida, então é necessário conjecturar de sua necessidade. Se em linhas anteriores mencionou-se que a falta da mesma acarreta em dissabores, torna-se imediato perguntar, quais são? De uma maneira geral, falam-se de problemas econômicos, pois, qualquer causa técnica irá, por fim, implicar em prejuízo financeiro, seja por perda de negócios ou vendas, perdas por equipamentos, alimentos e produtos estragados, entre outros. No caso de um consumidor industrial,

o custo de uma parada em seu processo produtivo resulta da perda de produção, danos em equipamentos e instalações, matérias primas ou produtos finais estragados ou danificados, ociosidade forçada da mão de obra, operação de equipamentos de emergências, etc [4], [5]. Explicitamente é um problema global, ou seja, afeta consumidores industriais, residenciais e comerciais.

A análise das conseqüência ou implicações de certos fenômenos elétricos a partir da ótica determinada é peça chave para o estabelecimento de estratégias para Qualidade da Energia.

A. Fenômenos de Interesse

As variações de tensão de longa duração (VTLD) são um conjunto de fenômenos que afetam a tensão tida como normal em um SEP. Dois fenômenos contidos nas VTLDs serão enfocados: Subtensão e Interrupção, devido ao fato de ambos serem causadores de uma variada gama de problemas nas instalações elétricas, alguns destes permanentes.

A subtensão é definida como sendo uma diminuição na magnitude da tensão para valores abaixo de 90% do seu valor usual por um tempo maior que 1 minuto, à frequência fundamental do sistema, sem a presença de harmônicas [3]. Algumas das conseqüências associadas a esse tipo de distúrbio são [2]:

- Possível interrupção da operação de equipamentos eletrônicos, tais como computadores e controladores eletrônicos;
- Redução do índice de iluminação para os circuitos de iluminação incandescente;
- Elevação do tempo de partida das máquinas de indução, o que contribui para a elevação de temperatura dos enrolamentos e aumento nos valores das correntes do estator de um motor de indução quando alimentado por uma tensão inferior à nominal.
- Redução da potência reativa fornecida por bancos de capacitores ao sistema;

A interrupção sustentada é definida quando o fornecimento de tensão permanece em zero por um período de tempo que excede 1 minuto, a variação de tensão de longa duração é considerada como uma interrupção sustentada. As interrupções maiores do que 1 minuto são geralmente permanentes e requerem a intervenção humana para reparar e retornar o sistema à operação normal no fornecimento de energia [2].

A conseqüência de uma interrupção sustentada é o desligamento dos equipamentos, exceto para aquelas cargas protegidas por sistemas *no-break* ou por outras formas de armazenamento de energia. Quando da não existência de fontes alternativas, o prejuízo econômico envolvido é grande, em decorrência de todo o processo e da retomada do mesmo ao nível industrial. No caso de interrupção sustentada o prejuízo é ainda maior, visto que o tempo de duração da interrupção é muito grande, comparado com o da interrupção de curta duração, retardando a retomada do processo produtivo [2].

Vale comentar que no caso de interrupções de curta duração, o desligamento de equipamentos também acarreta em grandes prejuízos às indústrias

III. OBJETIVO E ESTRATÉGIA PARA QUALIDADE DA ENERGIA

O presente trabalho objetiva o desenvolvimento e implementação em ambiente laboratorial de uma lógica de monitoramento e comutação automática entre fontes de alta tensão em uma subestação industrial para minimizar os efeitos das subtensões e interrupções sobre um ambiente fabril.

Do ponto de vista de infra-estrutura é sugerida a construção de uma subestação de entrada em alta tensão provida por duas Linhas de Transmissão (LT), vindas de barramentos distintos da concessionária de energia elétrica local [6].

Para a parte lógica desse arranjo serão usados relés digitais comerciais como ferramenta para o desenvolvimento e implementação do controle e monitoramento de ambas as LTs.

Em resumo, será apresentada uma estratégia em Alta Tensão para se buscar níveis de qualidade de energia desejados em um ambiente de manufatura. Cabe mencionar que, em geral, uma combinação de soluções em Alta e Baixa Tensão são utilizadas para tal fim. Essas soluções não são excludentes e sim complementares, cabendo, sempre, uma minuciosa análise para estabelecer qual será, por fim, a estratégia usada para garantir qualidade da energia sob o ponto de vista do consumidor.

IV. TOPOLOGIA E OPERAÇÃO DA SUBESTAÇÃO

Um arranjo construtivo para a subestação de entrada, proposto a partir da estratégia de qualidade da energia estabelecida, pode ser visto na Figura 1. Ele é composto por dois vãos idênticos. Cada vão possui um conjunto de pára-raios, (PR-n), Transformadores de Potencial, (TP-n), Chave Seccionadora de Aterramento, (CT-n), Chaves Seccionadoras de Linha, (CS-n) e Disjuntor de Alta Tensão, (DJ-n).

O vão número 1 é definido como principal ou majoritário, sendo responsável, em condição normal de tensão, por suprir as cargas da instalação. O vão número 2 é definido como secundário ou retaguarda, sendo responsável por suprir as cargas da instalação caso exista um problema de subtensão ou interrupção referente a LT proveniente da SEA.

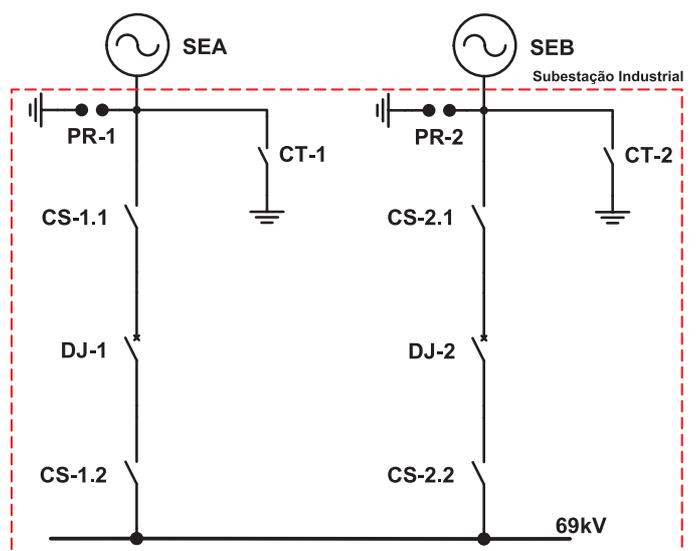


Figura 1. Topologia para Subestação de Entrada.

As chaves Seccionadoras de linha, (CS-1.1 e CS-1.2), e o Disjuntor de Alta Tensão, (DJ-1), do vão 1, em condição normal de operação estarão fechadas. A chave Seccionadora de Aterramento, (CT-1) só é fechada durante a preparação para serviços de manutenção e após ser confirmada ausência de tensão na linha correspondente. Já para o vão 2 as chaves Seccionadoras de Linha, (CS-2.1 e CS-2.2) estarão fechadas, a chave Seccionadora de Aterramento, (CT-2) estará aberta e será fechada sob as mesmas condições de CT-1. O Disjuntor de Alta Tensão DJ-2 estará aberto, sendo seu fechamento determinado por comando manual de um operador ou pela lógica de transferência entre fontes de alta tensão quando da ocorrência de subtensão ou interrupção na LT proveniente da SEA.

Por uma questão de objetividade e simplicidade do desenho, a Figura 1 contém apenas os vãos de entrada da subestação de alta tensão, os transformadores de potência, demais disjuntores, chaves seccionadoras, ramais alimentadores e subestações unitárias foram omitidos.

V. ARRANJO LÓGICO

A Figura 2 apresenta a parcela de controle para a solução proposta. Ela é composta por dois relés digitais comerciais com capacidade de comunicação, programação de usuário, registro de eventos, oscilografias, medição, com entradas e saídas de controle.

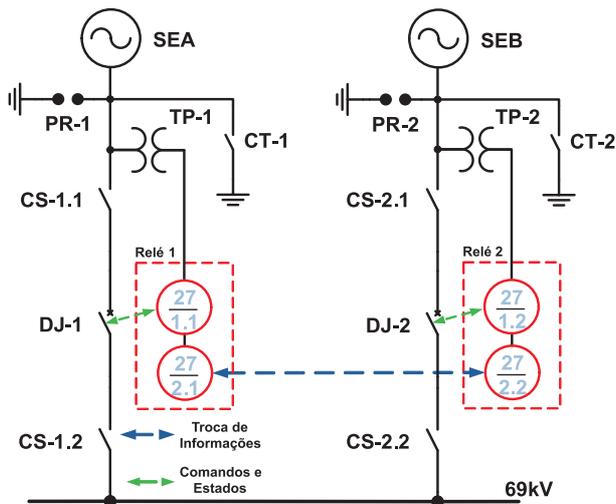


Figura 2. Estrutura Lógica Proposta.

A tensão das linhas SEA e SEB é monitorada através dos Transformadores de Potencial, (TP), correspondentes TP-1 e TP-2, respectivamente. Podem ser usados enrolamentos de três TPs, ligados em estrela por exemplo, ou apenas um enrolamento de um TP para prover a tensão de monitoramento à função de subtensão, pois a mesma é segregada por fase. Contudo, recomenda-se o uso de 3 TPs. Dessa forma a cobertura da linha para os problemas em foco é aumentada.

Cada relé digital que compõe o esquema contém uma parcela da programação total que forma esse arranjo de monitoramento e controle das LTs. O funcionamento da lógica será explicada a partir do subitem V-A.

A. Programação de Controle e Supervisão Desenvolvida

O funcionamento da lógica desenvolvida está dividido em três partes fundamentais: 1º ciclo de comutação, 2º ciclo de comutação e sinalizações.

1) *Primeiro Ciclo de Comutação*: A Figura 3 mostra o primeiro ciclo de comutação, responsável pela passagem da alimentação das cargas da LT Primária para a LT Secundária. O início deste ciclo se dá quando o estágio de subtensão 27-1.1 Trip ou de interrupção 27-2.1 Trip é ativado, implicando em abertura imediata do disjuntor DJ-1. Simultaneamente a informação referente ao estágio da função 27 sensibilizada é enviada para o relé 2. Para que o comando de fechamento do disjuntor DJ-2 seja gerado é necessário que não exista nenhum evento de subtensão 27-1.2 ou de interrupção 27-2.2 em curso na LT proveniente da SEB. Além disso, o estado aberto do disjuntor DJ-1 é enviado e avaliado pela lógica contida no relé 2, como critério adicional de estabilidade. Satisfeitas estas condições, será aguardado um tempo de segurança de 0,1s, para que então o disjuntor DJ-2 seja fechado. Este tempo é necessário para se garantir que duas fontes de alimentação em Alta tensão não serão colocadas em paralelo.

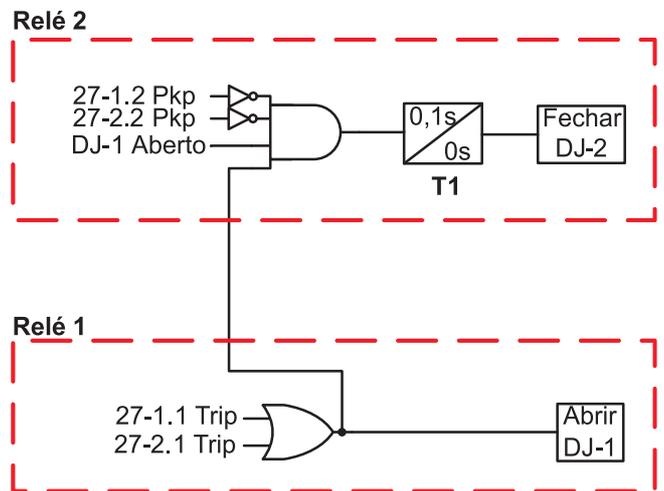


Figura 3. 1º Ciclo de Comutação.

O valor de ajuste para T1 não é aleatório, ele é composto pelo tempo de abertura do disjuntor acrescido de uma margem de segurança. Para este estudo está sendo considerado um disjuntor de 69kV com acionamento por mola [7].

2) *Segundo Ciclo de Comutação*: A Figura 4 mostra o segundo ciclo de comutação, responsável pelo retorno da alimentação das cargas através da LT secundária para a LT principal. Este ciclo é iniciado quando as condições de subtensão ou interrupção na LT principal desaparecem. Contudo, a comutação das LTs não ocorre imediatamente. É preciso que a tensão se mantenha estável, ou seja, acima de um valor pré-definido, por um intervalo de tempo de 60s, alocado a T2 e a T3 [3]. Este é um tempo de estabilização a partir do qual o segundo ciclo de comutação pode continuar. Serve para prevenir o sistema contra falso restabelecimento da tensão da linha principal. O estado aberto do disjuntor DJ-1 é usado como critério adicional de segurança contra falsa operação deste ciclo. É contemplada também, a possibilidade de defeito

na LT-2, sendo o mesmo eliminado pelos estágios de subtensão e interrupção 27-1.2 e 27-2.2, respectivamente, desta LT. O estado fechado do disjuntor DJ-2 é usado como critério de prevenção contra aplicação do comando de TRIP sobre si em estado aberto.

Decorrido o tempo de estabilização, é gerado um sinal no relé 2 que promove a abertura do disjuntor DJ-2, e que é simultaneamente enviado ao relé 1. Este, em conjunto com o estado aberto do disjuntor DJ-2 (estabilidade adicional) irá fechar o disjuntor DJ-1. O fechamento do disjuntor DJ-1 é retardado em 0,1s pelo temporizador T4, para, como no primeiro ciclo de comutação, garantir que apenas uma fonte de alimentação seja acoplada à carga por vez.

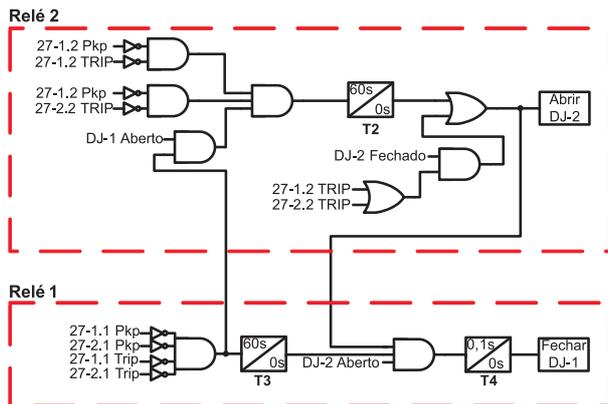


Figura 4. 2º Ciclo de Comutação.

3) *Sinalizações para os Vãos:* Para auxiliar a equipe de manutenção elétrica, quando da ocorrência de um evento, foram estabelecidas várias sinalizações indicativas, que podem ser vistas na Figura 5.

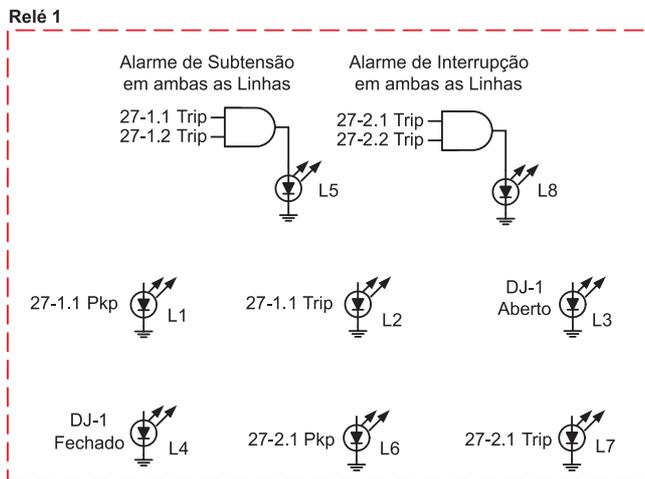


Figura 5. Sinalizações para o Vão.

Por uma questão de simplicidade serão apresentadas apenas as sinalizações referentes ao vão 1, ressaltando que as sinalizações para o vão 2 tratam dos mesmos fenômenos, porém com referência a LT proveniente da SEB. As sinalizações dos Leds L1, L2, L3, L4, L6 e L7, referem-se a um tipo de evento em particular ou parcela do evento ocorrido na LT vinda da

SEA. Já as sinalizações referentes aos Leds L5 e L8 tratam de eventos de subtensão e interrupção, respectivamente, ocorridos simultaneamente em ambas as LTs. Esses mesmos elementos de sinalização são utilizados para a composição dos registros de eventos, cada um deles com uma respectiva estampa de tempo. Dessa forma, pode-se acompanhar o início e evolução do evento sob análise, agregando informações suficientes para a emissão de relatório de ocorrência, com apontamento seguro de causa geradora do mesmo.

VI. ARRANJO DE ENSAIO

Para o caso em estudo foi proposta a montagem ilustrada na Figura 6, composta por um simulador de sistemas de potência (caixa de teste), que fará o papel das duas fontes de alimentação em Alta Tensão e três relés digitais. Um relé será responsável pelo primeiro ciclo de comutação, outro pelo segundo ciclo de comutação e o terceiro será empregado para o papel de simulador de equipamentos biestáveis. Tratam-se de três equipamentos distintos em fabricação, modelo e família.

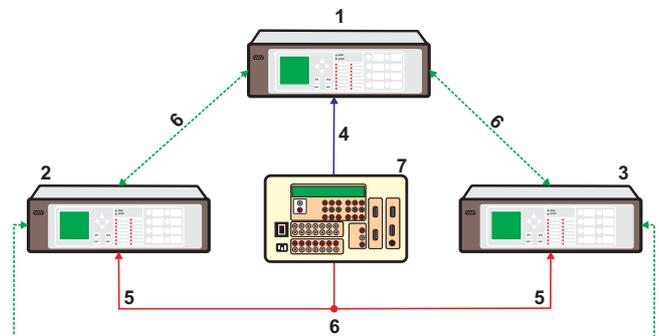


Figura 6. Montagem Laboratorial: 1 - Simulador de Equipamentos; 2 - Comutação LT1; 3 - Comutação LT2; 4 - Tensão Contínua; 5 - Tensão Alternada; 6 - Troca de Informações e 7 - Caixa de Teste.

Como este trabalho foi desenvolvido em ambiente laboratorial, os disjuntores não estavam disponíveis para receber os comandos de abertura e/ou fechamento e fornecer informações sobre seu estado aberto ou fechado. A solução encontrada foi utilizar um relé digital para simulá-los, demandando para isso na capacidade de comunicação e programação. Com o conhecimento sobre o comportamento biestável e da forma pelas quais os equipamentos a serem manobrados (disjuntor DJ-1 e DJ-2) fornecem indicação a respeito do seu estado atual (aberto ou fechado), foi composta a programação de simulação destes equipamentos, a qual está exemplificada para o disjuntor DJ-1, podendo ser observada na Figura 7.

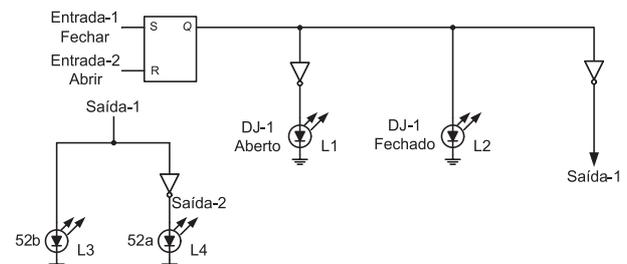


Figura 7. Simulador para Disjuntor.

A. Conexões para Troca de Informações

Nesta etapa de montagem, o foco passou a ser as conexões para a troca de informações entre o simulador de disjuntor e os relés digitais que possuem as instruções de controle e supervisão. A Figura 8 ilustra as conexões elétricas realizadas.

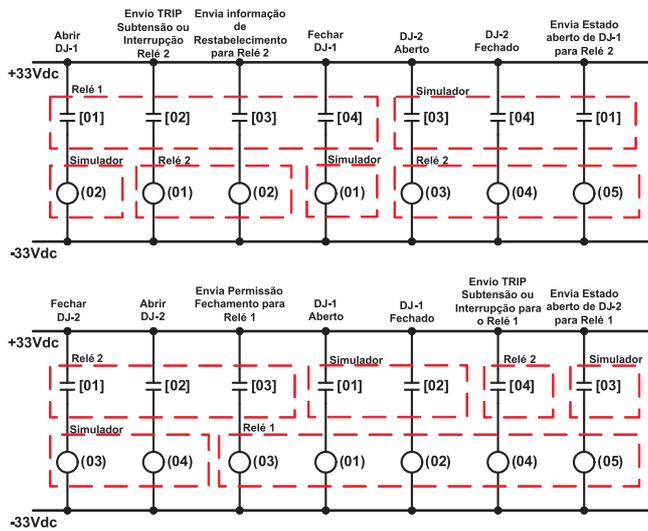


Figura 8. Conexões Elétricas Realizadas.

B. Resultados Encontrados

Uma série abrangente de testes foi realizada, tal conjunto de verificação foi composto por subtensões e interrupções, trifásicas e monofásicas, aplicadas em cada uma das LTs em diversas combinações, vindo a caracterizar uma gama de situações de defeito e operação pelas quais o sistema em estudo poderia passar, representativas de problemas reais. Por objetividade, apenas uma parcela dos dados de teste será apresentada. Estes podem ser observados na Tabela II. Para que o conteúdo dessa tabela possa ser adequadamente entendido alguns mnemônicos foram definidos e podem ser vistos na tabela I.

O Teste 01 será utilizado como exemplo de condução dos ensaios realizados, assegurando, portanto, a repetibilidade dos mesmos. Inicialmente deve ser montado o circuito de ensaio de acordo com a Figura 6. Aplica-se então, via caixa de teste, um valor de tensão contínua de 35Vdc sobre as conexões elétricas para troca de informação, simulando o circuito funcional de uma subestação real. No que segue, são aplicadas tensões trifásicas nominais aos relés 1 e 2, simulando as fontes de alimentação em alta tensão provenientes da SEA e SEB. Este valor é mantido por 1 minuto. Cria-se então um evento de subtensão trifásica na LT proveniente da SEA, o qual é mantido também por 1 minuto. Decorrido esse tempo é iniciado o primeiro ciclo de comutação, explicado no item V-A1, implicando em abertura do disjuntor DJ-1 e fechamento do disjuntor DJ-2. Esse evento de subtensão é sustentado por 2 minutos. Decorrido esse tempo, vê-se que não houve nenhuma mudança no estado atual dos disjuntores. Então, o valor de tensão trifásica da LT proveniente da SEA é restabelecido ao seu valor nominal. No passo seguinte, o segundo ciclo de comutação é iniciado, explicado no item V-A2, implicando

em abertura do disjuntor DJ-2 e fechamento do disjuntor DJ-1. Esses valores de tensão, para ambas as LTs, após a recomposição, são mantidos por 2 minutos. Decorrido esse tempo, observa-se que não houve nenhuma mudança no estado atual dos disjuntores. Como conclusão deste teste, pode-se dizer que o comportamento da lógica foi como o esperado e, portanto, o esquema de comutação automática funcionou perfeitamente.

Tabela I
MNMÔNICOS PARA ENTENDIMENTO DA TABELA DE ENSAIO.

Mnemônico	Significado
TN-3Ø	Tensão Trifásica Normal
TN-1ØA	Tensão na fase "A" normal
F-DJ1	Fechar DJ-1
A-DJ2	Abrir DJ-2
PF-DJ1	DJ-1 fechado
PA-DJ2	DJ-2 aberto
ST-3Ø	Subtensão Trifásica
ST-1ØA	Subtensão fase "A"
ST-3Ø-I	Subtensão Trifásica; interrupção trifásica
ST1ØA-I	Subtensão fase "A"; interrupção trifásica
I-3Ø	Interrupção trifásica
I-1ØA	Interrupção fase "A"

Tabela II
CICLOS DE COMUTAÇÃO

Primeiro Ciclo de Comutação				
Teste	Situação		Resultado	
	LT1	LT2	LT1	LT2
01	ST-3Ø	TN-3Ø	A-DJ1	F-DJ2
02	ST-1ØA	TN-3Ø	A-DJ1	F-DJ2
03	ST-3Ø	ST-3Ø	A-DJ1	PA-DJ2
04	TN-3Ø	ST-3Ø	PF-DJ1	PA-DJ2
05	TN-3Ø	ST-1ØA	PF-DJ1	PA-DJ2
06	ST-3Ø-I	TN-3Ø	A-DJ1	F-DJ2
07	ST-1ØA-I	TN-3Ø	A-DJ1	F-DJ2
08	I-3Ø	TN-3Ø	A-DJ1	F-DJ2
09	I-3Ø	I-3Ø	A-DJ1	PA-DJ2
10	I-1ØA	TN-3Ø	A-DJ1	F-DJ2
11	TN-3Ø	I-3Ø	PF-DJ1	PA-DJ2
12	TN-3Ø	I-1ØA	PF-DJ1	PA-DJ2
Segundo Ciclo de Comutação				
Teste	Recomposição		Resultado	
	LT1	LT2	LT1	LT2
01	TN-3Ø	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
02	TN-1ØA	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
03	TN-3Ø	TN-3Ø	F-DJ1	PA-DJ2
04	TN-3Ø	TN-3Ø	PF-DJ1	PA-DJ2
05	TN-3Ø	TN-1ØA	PF-DJ1	PA-DJ2
06	TN-3Ø	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
07	TN-3Ø	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
08	TN-3Ø	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
09	TN-3Ø	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
10	TN-1Ø	TN-3Ø	F-DJ1	A-DJ2
11	TN-3Ø	TN-3Ø	PF-DJ1	PA-DJ2
12	TN-3Ø	TN-1ØA	PF-DJ1	PA-DJ2

VII. CONCLUSÕES

Pelo apresentado, a lógica de monitoramento e comutação entre fontes de alta tensão, baseada em unidades de subtensão, ANSI 27, mostrou-se estável, eficaz e com elevada confiabilidade para atender o objetivo inicial deste trabalho. Por meio desta, é possível garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica a um consumidor industrial frente às VTLDs enfocadas, pois, para todo o conjunto de ensaio observado os resultados foram os esperados.

Cabe dizer que a aplicação é portátil, ou seja, pode ser usada em qualquer relé digital comercial que possua elementos dos sistemas digitais, como portas *AND*, *OR*, *NOT*, *Flip-Flops* e temporizadores. É adequado também atentar para o fato de que as lógicas desenvolvidas com a preocupação de serem genéricas possuem sua vida útil significativamente aumentada, visto que podem ser usadas em qualquer relé digital comercial que possua os elementos da lógica digital tradicional.

Vale frisar que o custo de desenvolvimento da solução torna-se atraente, pois as empresas em sua grande maioria já possuem os equipamentos e *softwares* instalados, bem como recurso humano capacitado para desenvolver tal solução.

APÊNDICE A TRABALHOS FUTUROS

Na continuidade deste trabalho pretende-se avaliar o impacto do uso do protocolo IEC 61850 como via de tráfego para as informações de controle e supervisão, buscando caracterizar quais as reais vantagens e desafios para a operação do SEP a partir do uso efetivo dessa nova tendência, que são as redes de comunicação que promovem a interoperabilidade entre equipamentos de diversos fabricantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica (LSEE) e ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP), pelas facilidades proporcionadas quando do desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Sankaran, *Power Quality*. Boca Raton: CRC Press, 2002.
- [2] M. Oleskovicz, "Qualidade da energia elétrica," Edição do autor, São Carlos, 2007.
- [3] R. C. Dugan, *et al.*, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [4] J. Coelho, *et al.*, "Metodologia para avaliação dos custos associados a problemas de qualidade de energia em consumidores de grande porte," in *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE*. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, Julho 2006.
- [5] M. McGranaghan and B. Roettger, "Economic evaluation of power quality," *IEEE Power Engineering Review*, vol. 22, Issue 2, pp. 8-12, February 2002.
- [6] J. C. Whitaker, *AC Power Systems Handbook*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [7] R. Colombo, *Disjuntores de Alta Tensão*. São Paulo: Livraria Nobel S. A, 1986.



Ulisses Chemin Netto graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Atualmente é mestrando na Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Suas principais áreas de interesse incluem proteção de sistemas elétricos de potência, técnicas de comissionamento, simulação computacional de sistemas faltosos, qualidade da energia elétrica e didática para formação de recursos humanos em Engenharia Elétrica com ênfase em proteção de sistemas elétricos.



Juliano Coelho Miranda Mestrando da Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos – Universidade de São Paulo, Especialista em Redes de Computadores e Robótica Industrial pelo UNIS/MG, Graduado em Matemática pela FEPESMIG e técnico eletrônico pelo Centro Técnico de Varginha. Atualmente é professor no Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG) e Faculdade Cenecista de Varginha (FACECA). Suas áreas de interesse incluem proteção de sistemas elétricos de potência, redes de comunicação de dados, sistemas inteligentes, simulação computacional de sistemas faltosos e qualidade da energia elétrica.



Denis Vinicius Coury graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, Brasil. Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP (1987) e Ph.D. pela Universidade de Bath, Inglaterra (1997). Atualmente é professor titular e vice-chefe do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. Suas áreas de interesse incluem proteção de sistemas de potência e qualidade da energia elétrica.



Mário Oleskovicz graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), obteve os títulos de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) em 1997 e 2001, respectivamente. Atualmente é professor doutor junto ao Departamento de Engenharia Elétrica (EESC-USP). Dentre as áreas de interesse destacam-se a proteção de sistemas elétricos de potência, qualidade da energia e técnicas de inteligência artificial.