



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Aplicação de Religadores Automáticos para Proteção de Banco de Capacitores Série em Redes de Distribuição

Marco Aurélio Andreoli Tres	Dirceu José Ferreira	Evaldo Flausino Senne
CPFL Paulista	CPFL Paulista	CPFL Paulista
marcotres@cpfl.com.br	djferreira@cpfl.com.br	flausino@cpfl.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Religadores Automáticos
Banco de Capacitores Série
Auto-Religamento
Regulador de Tensão
Partida de Motores

RESUMO

Um cliente irrigante atendido em 15 kV ligado no final de um alimentador expresso com aproximadamente 29 km de extensão, solicitou à CPFL a ligação de novas cargas de motores. Os estudos de viabilidade concluíram que o sistema não apresentava estabilidade de tensão para atender a plenitude das cargas e indicavam para a necessidade de construir uma nova subestação. No entanto, o tempo para a sua construção era insuficiente, pois o cliente necessitava ligar seus motores antes do período seco. Optou-se então pela instalação de um banco de capacitores série para oferecer uma melhor regulação de tensão para as cargas.

Normalmente a proteção do banco é composta por uma série de dispositivos e equipamentos para evitar avarias das unidades capacitivas durante a ocorrência de curtos-circuitos e surtos de tensão. Para que a instalação deste equipamento fosse possível dentro do prazo esperado, a CPFL projetou a sua instalação usando um religador automático como dispositivo de proteção.

Este artigo mostra a aplicação dos recursos disponíveis nos controladores microprocessados dos religadores automáticos e as parametrizações utilizadas para atender aos requisitos mínimos de proteção de um banco de capacitores série instalado em uma rede aérea de distribuição em 15 kV.

1. INTRODUÇÃO

A partir da solicitação de um cliente para o acréscimo de uma grande carga de motores atendidos em média tensão ligados no final de um alimentador expresso com aproximadamente 29 km de extensão, a CPFL elaborou um estudo de viabilidade técnica.

O estudo mostrou que o sistema existente não proporcionava estabilidade de tensão para o montante de carga desejada, apontando para a necessidade de construção de uma nova subestação próxima às cargas de motores. No entanto, o tempo disponível para a construção era insuficiente, pois o cliente pretendia ligar estes motores antes do período seco. Por isso, optou-se pela instalação de um banco de capacitores série para oferecer uma melhor regulação de tensão para as cargas.

Durante as simulações realizadas na configuração de rede sem o banco de capacitores série, verificou-se que o sistema responderia lentamente para a regulação de tensão no processo de partida dos motores devido à existência de bancos de reguladores de tensão e bancos de capacitores shunt chaveados automaticamente. Além disso, os motores do cliente são controlados por chaves do tipo soft-starter, cujos controles são sensíveis às variações bruscas de tensão. As cargas desligariam automaticamente quando a tensão ficasse fora da faixa nominal de operação. Com a rejeição de cargas por efeito “dominó” e em virtude da resposta lenta do sistema na regulação de tensão, surgiria a ocorrência de sobretensão no ponto de acoplamento comum e conseqüente queima de equipamentos, uma vez que as cargas do cliente não possuem proteção adequada. Diante disto, a CPFL preocupou-se em permitir o restabelecimento do sistema quando a tensão no ponto de acoplamento comum estivesse dentro de uma faixa preestabelecida na configuração de rede original, ou seja, com o banco de capacitores série desligado.

Nos bancos de capacitores série em redes de distribuição, a proteção é basicamente composta pelos seguintes equipamentos:

Pára-raios de distribuição;

Varistor;

Reator série;

Chave de by-pass automática;

Fusível externo para cada unidade capacitiva;

Disjuntor ou Religador.

O banco de capacitores série projetado pela CPFL não possuía ainda o varistor, reator série e automação da chave de by-pass e, conforme as especificações do fabricante das unidades capacitivas, estes equipamentos poderiam ser dispensados desde que alguns requisitos de proteção fossem atendidos, ou seja:

Corrente de Curto-Circuito (I_{cc}): 2.126 A (pico)

Tempo Máximo de Atuação da Proteção: 500 ms

Tempo de Descarga do Banco: 5 minutos

Para contemplar todos estes requisitos, a CPFL adotou a aplicação de um religador automático com função de desligamento por falta de tensão no lado fonte e auto-religamento com lógicas programáveis que permitisse um tempo de fechamento do religador automático acima de 5 (cinco) minutos.

Nos últimos anos, com os avanços tecnológicos ocorridos, foram verificadas importantes contribuições na área de proteção com a inclusão de novas funções nos relés dos religadores automáticos, atualmente chamados de controladores microprocessados.

As primeiras gerações de religadores automáticos possuíam apenas as proteções tradicionais para sobrecorrentes de fase, terra e sensível de terra, e a interrupção e isolamento do arco elétrico eram feitas em óleo isolante, ampolas de vácuo dentro do óleo isolante ou gás SF₆ (hexafluoreto de enxofre). Em todos os modelos destes religadores automáticos era necessária a intervenção do homem para o fechamento dos contatos.

Nas novas gerações de religadores automáticos dotados de controladores microprocessados, além da proteção tradicional para sobrecorrentes de fase, terra e sensível de terra, foram incluídas várias funções de proteção antes vistas apenas nos relés microprocessados utilizados em disjuntores de alimentadores. Algumas destas novas funções de proteção dos controladores microprocessados são:

Proteção de Seqüência Negativa;

Bloqueio Direcional;

Sub e Sobre Frequência;

Sub e Sobretensão;

Proteção por Perda de Fase;

Auto-Religamento com Lógicas Programáveis.

Além da inclusão de novas funções de proteção, os novos controladores microprocessados armazenam uma quantidade considerável de eventos de proteção e registros de grandezas elétricas que auxiliam na investigação dos tipos de faltas no sistema elétrico e nos estudos sobre qualidade de energia. Eles também possuem protocolos de comunicação para automatização que permitem a inclusão de equipamentos para telecomando via rádio ou celular (GPRS).

Nos modelos mais avançados de religadores automáticos as ampolas de vácuo e os sensores de corrente são revestidas com epóxi, o que fez diminuir o tamanho e o peso do equipamento.

A aplicação incorreta desta função em sistemas de distribuição de 15 kV pode vir a causar problemas para as concessionárias que pretendem utilizá-la sem critério técnico, podendo causar atuações indevidas da proteção e conseqüentemente afetar a operação do sistema e danificar o equipamento.

2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição que atende ao cliente é constituída de um alimentador expresso com aproximadamente 29 km de extensão em cabo de alumínio 477 MCM. A Figura 1 ilustra o unifilar desta rede com a localização da subestação, dos equipamentos de rede e do ponto de acoplamento comum. A tensão nominal do sistema é de 13,8 kV e a tensão de fornecimento é de 13,2 kV. A Tabela 1 mostra os níveis de curto-circuito no ponto de acoplamento comum na configuração original:

Tabela 1: Correntes de curto-circuito na configuração original

<i>Correntes de Curto-Circuito</i>		
Curto-circuito	Corrente Simétrica (A)	Corrente Assimétrica (A)
Trifásico	865	1.230
Bifásico	749	1.060
Fase – Terra ($Z_n = 0 \Omega$)	392	650
Fase – Terra ($Z_n = 40 \Omega$)	165	270

<i>Impedâncias até o Ponto</i>	
Z1 = Z2	3,8772 + j 12,0098 Ohms
Z0	8,9253 + j 61,2486 Ohms

Na configuração original da rede, o sistema é operado com 3 bancos de reguladores de tensão (RT-1, RT-2 e RT-3) e bancos de capacitores shunt a jusante do ponto de acoplamento comum.

Na configuração da rede com banco de capacitores série, somente o banco de reguladores RT-1 permanece em operação, sendo que os demais são retirados de serviço (bloqueados na posição de neutro) e os bancos de capacitores shunt são desligados da rede.

Devido à inserção do banco de capacitores série, os valores das correntes de curto-circuito no ponto de acoplamento comum aumentaram, mas ficaram abaixo da capacidade nominal do banco de capacitores série (2.126 A), como visto na Tabela 2:

Tabela 2: Correntes de curto-circuito com banco de capacitores série

<i>Correntes de Curto-Circuito</i>		
Curto-circuito	Corrente Simétrica (A)	Corrente Assimétrica (A)
Trifásico	1.283	1.620
Bifásico	1.111	1.400
Fase – Terra ($Z_n = 0 \Omega$)	1.189	1.810
Fase – Terra ($Z_n = 40 \Omega$)	179	270

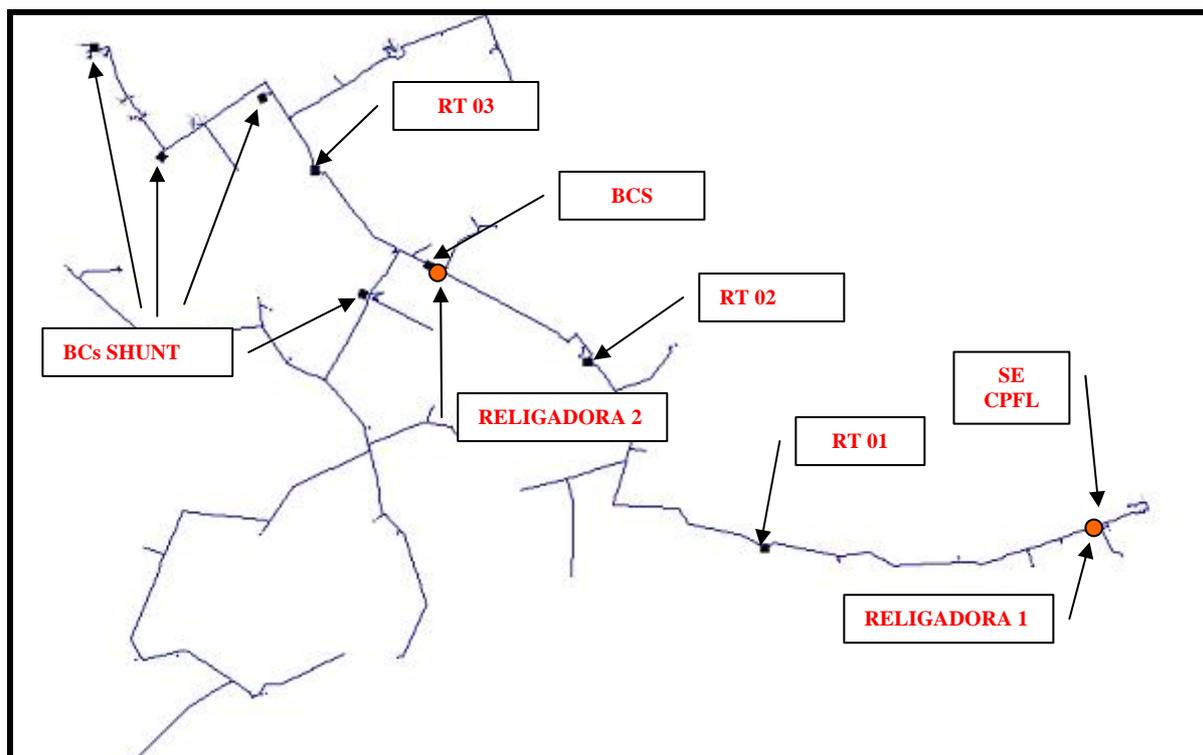


Figura 1 – Unifilar da rede com a localização da subestação, dos equipamentos de rede e do ponto de acoplamento comum.

2.1 Banco de Reguladores de Tensão

O banco de reguladores de tensão tem as seguintes características:

- corrente nominal: 300 A
- configuração da ligação: Delta Fechado
- tensão de referência: 13,45 kV
- insensibilidade: 1 %

2.2 Banco de Capacitores Série

O banco de capacitores série é constituído por 30 unidades capacitivas (10 por fase) de 250 kvar / 6 kV, 144 Ω. A potência total do banco é de 7500 kvar e a impedância resultante 14,4 Ω. Na configuração implementada, o banco de capacitores série proporciona uma compensação de aproximadamente 164 %.

A Figura 2 ilustra a configuração adotada para o banco de capacitores série.

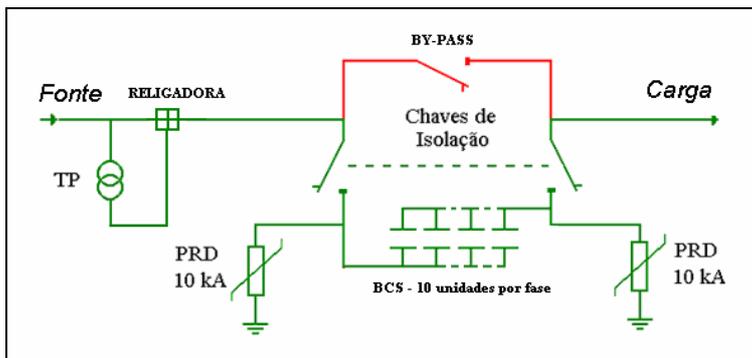


Figura 2 – Configuração do banco de capacitores série utilizada no atendimento às cargas de motores.

2.3 Cargas

As cargas do cliente são constituídas por motores de indução usados para irrigação. Os motores são acionados por chaves do tipo soft-starter. No total são 61 motores cujas potências variam de 50 CV a 250 CV. As chaves soft-starter tem a configuração mostrada na Figura 3, sendo que os tiristores permanecem no circuito mesmo após a partida dos motores, uma vez que não possuem chaves de by-pass.

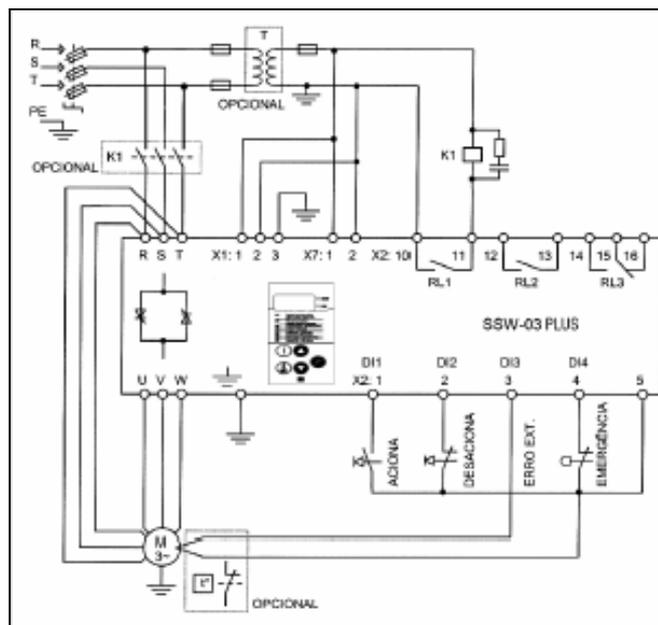


Figura 3 – Configuração da chave soft-starter.

2.4 Religador Automático

O religador automático utilizado para a proteção contra sobrecorrente, sub e sobretensão do banco de capacitores série tem as seguintes características:

- Interrupção a vácuo;
- Meio isolante em epóxi;
- Classe de tensão 15 kV;
- Alimentação do controlador microprocessado através de transformador de potencial (TP) externo, monofásico 13800/115V e bateria auxiliar de 24Vcc. O TP é usado para medição e para sensibilizar as proteções de sub e sobretensão do religador.
- Tensão nominal máxima de 15,5kV;
- Corrente nominal de 630A;
- NBI - 110kV;
- Capacidade de interrupção nominal de corrente de 12,5kA;
- Frequência - 60Hz;
- Funções de proteção contra sobrecorrente, sub e sobretensão;
- Auto-religamento com lógicas programáveis por verificação de tensão no transformador de potencial instalado no lado fonte.

2.4.1 Ajustes de Proteção

Para atender as especificações de proteção do fabricante do banco de capacitores série e da CPFL, foram implementados os seguintes ajustes no religador automático:

Proteção contra Sobrecorrente:

A função de sobrecorrente foi ajustada para atender o montante de carga instalada. Como o religador também exerce a função de proteção do banco de capacitores série, o tempo de atuação foi ajustado para 500 milisegundos, o tempo de religamento foi ajustado para 300 segundos (5 minutos) e a proteção sensível de terra foi bloqueada. As Figuras 4, 5, 6 e 7 ilustram as telas com estes ajustes:

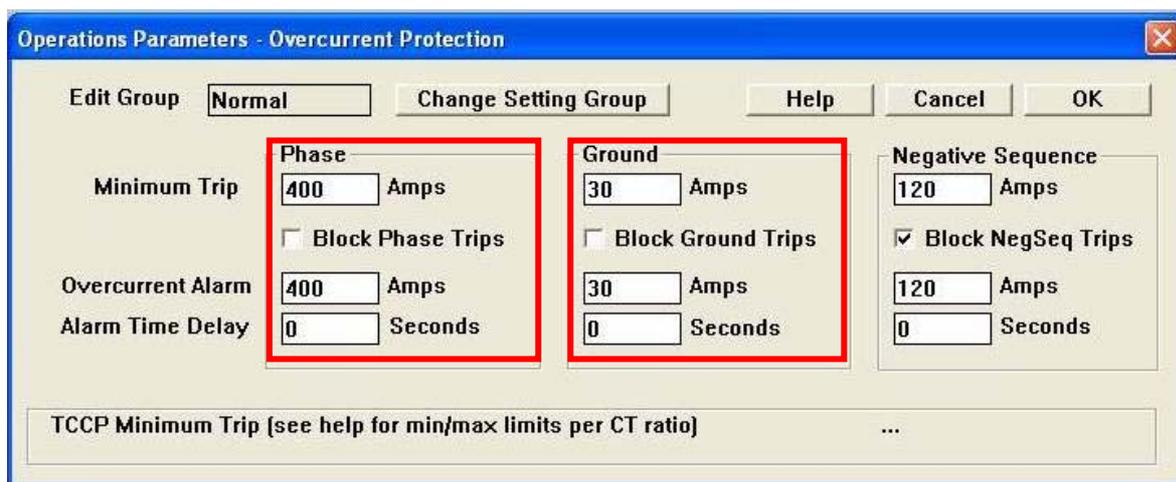


Figura 4 – Ajustes de sobrecorrente das proteções de fase e terra

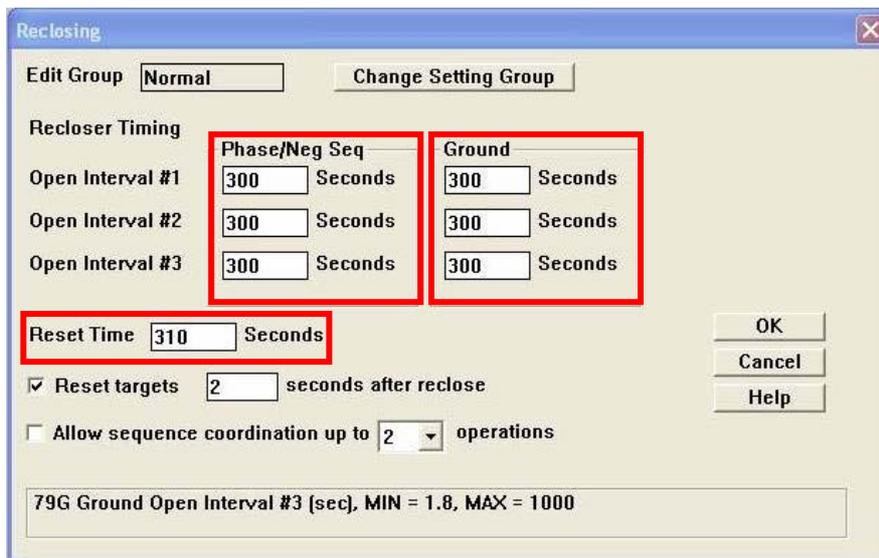


Figura 5 – Ajustes do tempo de religamento e tempo de rearme

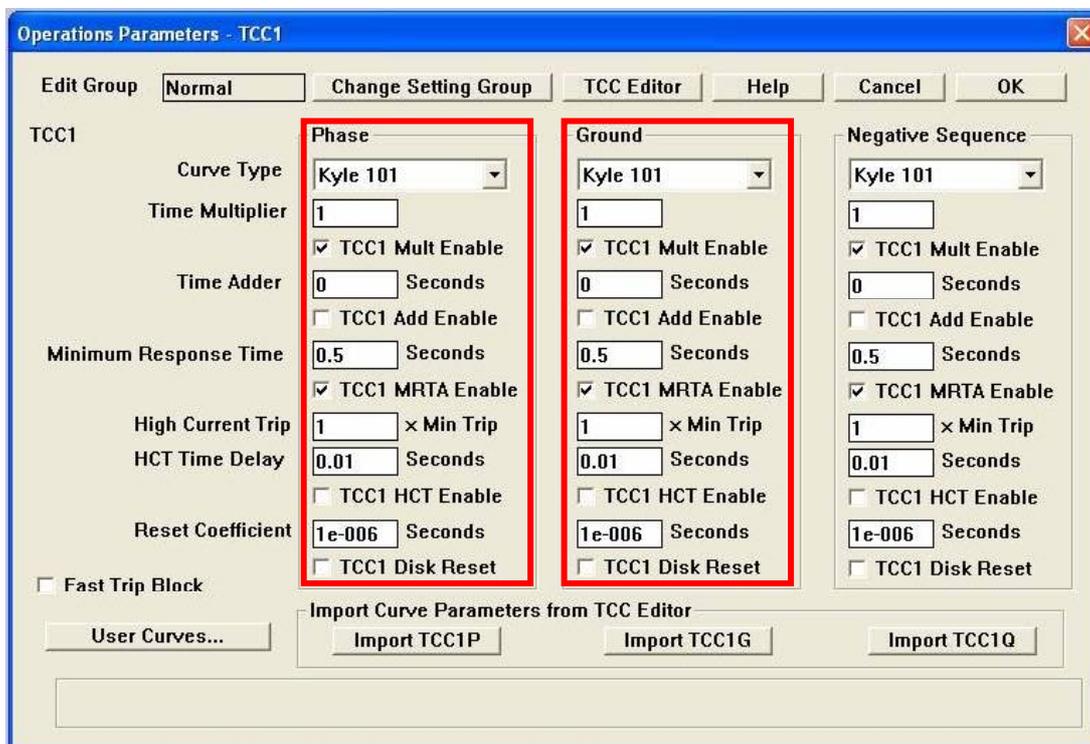


Figura 6 – Ajustes das curvas de tempo definido das proteções de fase e terra

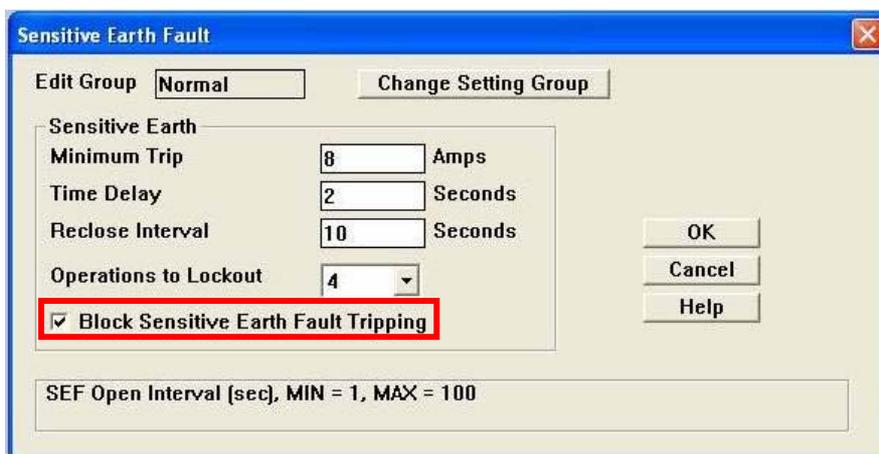


Figura 7 – Esta figura mostra que a proteção sensível de terra foi bloqueada.

Proteção contra Sub e Sobretensão:

Na situação original do sistema quando ocorre abertura das proteções a montante do ponto de acoplamento comum, os bancos de reguladores de tensão bem como os bancos de capacitores shunt permanecem no estado em que estavam, uma vez que a falta de fonte impede a operação dos controles. Com o restabelecimento do sistema e considerando o tempo de atuação dos controles, durante pequenos períodos as cargas do cliente ficam sujeitas às tensões fora dos seus limites operativos. Para evitar este tipo de problema o religador automático foi ajustado para que, na condição de abertura de proteção à montante, seja desligado e só religue após o sistema regular a tensão dentro das condições aceitáveis de operação. Este recurso é disponibilizado pela função de auto-religamento mostrada na Figura 8:

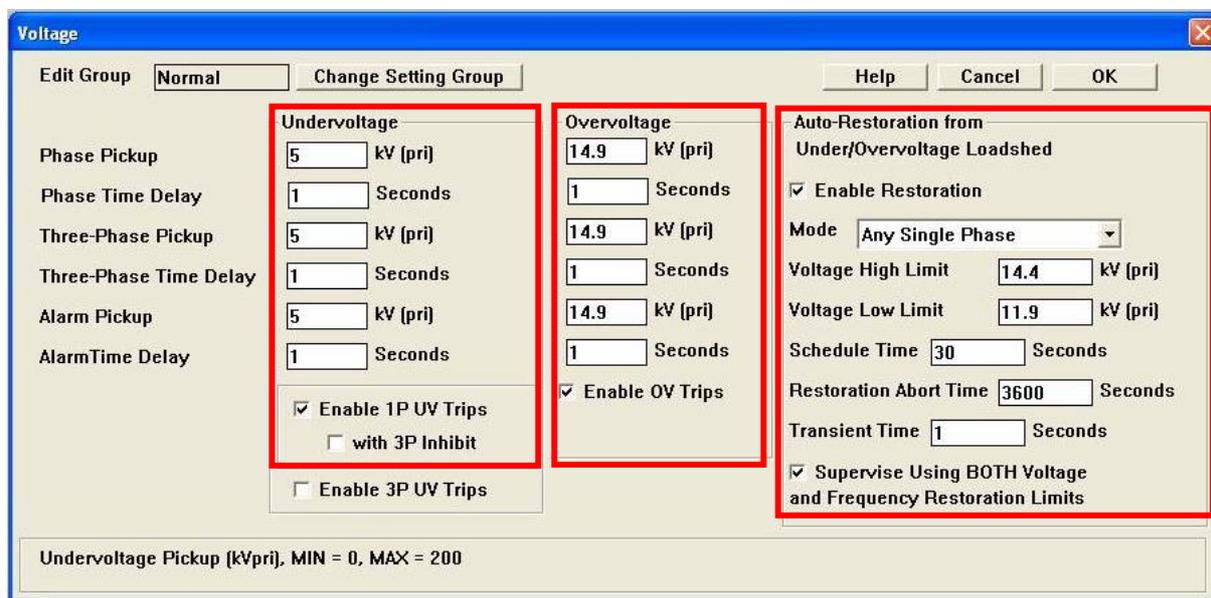


Figura 8 – Ajustes das funções de sub e sobretensão e de auto-religamento do controlador microprocessado.

A função “Undervoltage” simula a condição de abertura de proteção à montante através do sinal de tensão abaixo de 5 kV. A função de “Overvoltage” é a condição para abertura do religador em caso de ocorrer uma sobretensão. A função “Auto-Restoration” é a que libera o religamento desde que a tensão esteja dentro da faixa pré-estabelecida entre 11,9 kV a 14,4 kV. Deve-se tomar cuidado com relação ao tempo para abortar a restauração, especificamente desse religador automático. Neste caso o

tempo de 3600 segundos é o valor máximo oferecido pelo controlador microprocessado que foi utilizado. O ideal seria que este tempo pudesse ser ajustado além dos 3600 segundos de forma a evitar que, em caso de desenergização do circuito por um longo período, não ocorra o bloqueio indesejado do religador automático. Por se tratar de um controlador microprocessado dotado de protocolo de comunicação DNP3, pode-se optar pela instalação de um componente para telecomando via centro de operações caso não seja possível o restabelecimento do sistema antes dos 3600 segundos.

3. APLICAÇÕES PRÁTICAS

Com as implementações adotadas, primeiramente a CPFL realizou testes de campo, quando foi possível verificar a atuação do religador automático.

No teste de campo que verificou o comportamento do banco de capacitores série, a função de auto-religamento foi desabilitada. Com o equipamento inserido no circuito, as cargas do cliente foram ligadas paulatinamente, até próximo da energização do 20º motor, quando ocorreu a abertura do religador automático. O teste foi repetido mais duas vezes, escolhendo-se outros motores para serem ligados.

Os registros 64, 59 e 56 mostrados na Figura 9 dão os detalhes das ocorrências. O registro 53 retrata a atuação do religador pela função de subtensão, causada pela abertura intencional do religador situado à montante, quando foi possível atestar a operação adequada do religador.

Registro	Data	Hora	Evento	I a	Ib	Ic	3Io	Vc
53	30/08/2007	14:57:09.975	VOLTAGE TRIP	0	0	0	0	0
54	30/08/2007	14:12:17.059	SEQUENCE RESET	23	25	18	0	110
55	30/08/2007	14:01:56.857	FAULT DATA (pri)	555	647	746	7	76
56	30/08/2007	14:01:56.824	OVERCURRENT TRIP	555	647	746	7	21
57	30/08/2007	13:48:47.074	SEQUENCE RESET	24	26	16	1	109
58	30/08/2007	13:38:26.869	FAULT DATA (pri)	487	590	635	4	78
59	30/08/2007	13:38:26.836	OVERCURRENT TRIP	487	590	635	4	35
60	30/08/2007	13:01:20.568	gnd trip blk off	16	16	12	0	110
61	30/08/2007	13:01:17.063	GND TRIP BLK ON	17	15	12	0	110
62	30/08/2007	12:53:35.308	SEQUENCE RESET	16	15	12	0	110
63	30/08/2007	12:43:15.051	FAULT DATA (pri)	701	838	929	50	42
64	30/08/2007	12:43:15.011	OVERCURRENT TRIP	701	830	897	8	11

Figura 9 – Registro de eventos do religador

Com os registros das medições de qualidade de energia elétrica foi possível atestar que as correntes que provocaram a atuação do religador automático foram causadas pelo fenômeno de ressonância subsíncrona entre o banco de capacitores série e os motores, principalmente quando da partida dos motores de maior potência. Este fenômeno está ligado ao grau de compensação oferecida pelo banco de capacitores série, ou seja, 164%. Para contornar o problema, a CPFL concluiu que o equipamento fosse alterado para que a compensação ficasse próxima de 100%. Após estas alterações, a CPFL prosseguiu na implementação do banco de capacitores série projetado e manteve o uso do religador automático conforme havia previsto.

Durante o período de indisponibilização de uso do banco de capacitores série, o sistema operou na configuração original sendo mudado o grupo de ajustes do religador automático, alterando os valores das proteções de sobrecorrente, as curvas a tempo dependente, o tempo de religamento e a seqüência de operações. Mesmo com a mudança do grupo de ajuste, as funções de proteção de sub e sobretensão e auto-religamento foram mantidas com os mesmos valores de ajustes.

Os recursos de auto-religamento tem mostrado bons resultados pelo fato de evitar que o cliente fique sujeito a sobretensões quando da ocorrência de piscas no fornecimento de energia elétrica.

4. CONCLUSÕES

Os resultados da aplicação do religador automático atenderam as expectativas, o que possibilitou a realização de testes no banco de capacitores série dentro do prazo previsto e apresentando também um bom desempenho na configuração da rede elétrica com o banco de capacitores série desligado.

Deve-se atentar para as parametrizações de auto-religamento para que não provoque aberturas indesejadas do religador automático em situações de manutenção da rede. A experiência contribuiu para que a CPFL atue junto aos fornecedores de religadores automáticos para melhorar os recursos disponibilizados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Norma Técnica CPFL Registro Nº. 2912 – *“Proteção de Redes Aéreas de Distribuição – Sobrecorrente – Versão Maio/2003”*.

Manual de Instruções COOPER Power System – *“Guia de Programação do Controle Microprocessado de Religador Form 6 – S240-70-4P”*.

MARTINS, W. B.; CAMARGO, J.; SUZUKI, M.; FERREIRA, D. J.; CAIXETA, G. P.; *“Relatório Técnico CPFL – Novo sistema de compensação reativa – PD96, outubro, 2007.”*

CAMARGO, J.; *“Aplicação de capacitor série no sistema de distribuição de energia elétrica - X SENDI, 1988.”*.