



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Julio Shigeaki Omori
Companhia Paranaense de Energia
julio.omori@gmail.com

AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES DE 34/13 kV E A INTEGRAÇÃO COM A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Palavras-chave

Automação de Redes de Media Tensão
Automação de Subestações
Redes Inteligentes

Resumo

Neste trabalho é apresentada a experiência da Copel (Companhia Paranaense de Energia) na automação da rede de distribuição através de subestações de baixa potência distribuídas na rede de média tensão. A conexão em larga escala destas subestações automatizadas apresenta desafios e grandes oportunidades de desenvolvimento de novas funções inteligentes. São apresentados resultados do desenvolvimento de funções de reconfiguração automática baseadas no conceito de transferência de cargas entre fontes distintas e o intertravamento de operação entre subestações, estes conceitos podem ser aplicados naturalmente para redes de distribuição, automatizando ações que normalmente são realizadas pelos centros de controle.

1. Introdução

A automação dos sistemas elétricos de distribuição de energia é uma área fundamental para a aplicação plena do conceito de redes elétricas inteligentes. Dentre as quatro áreas principais de desenvolvimento deste conceito: infraestrutura avançada de sistemas de medição (AMI), automação de sistemas elétricos de distribuição de energia, geração distribuída – carro elétrico e automação residencial dos consumidores é a automação dos sistemas elétricos de distribuição que não depende de nenhuma ação política, regulatória, tecnológica, ou de padronização para que possa ser implantada em larga escala em curto prazo.

A automação de subestações de distribuição além de ser uma realidade passa a ser um pré requisito, para que as concessionárias de distribuição possam atender os objetivos de eficiência operacional indicados pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica), que se apresentam cada vez mais rígidos a cada nova versão de metodologia empregada nas revisões tarifárias.

As redes de distribuição de média tensão automatizadas são a próxima fronteira a ser alcançada. Principalmente devido a ausência de robustez das redes de média tensão no Brasil cuja maioria das instalações são aéreas com cabo descoberto, e também pela aplicação de multas cada vez mais severas por baixa qualidade no fornecimento de energia, sendo representadas pelos indicadores de DIC, FIC e DMIC estabelecidas no Módulo Oito do PRODIST (Procedimentos de Distribuição).

Este cenário de necessidade de melhoria no fornecimento de qualidade da energia com menor custo operacional adicionado ao fomento gerado pelos projetos para implantação do conceito de redes elétricas inteligentes, principalmente devido aplicação em larga escala de comunicação e conectividade entre os dispositivos que compõe o sistema elétrico de distribuição, apresentam oportunidades fundamentais para expansão dos sistemas de automação distribuídos pelas redes de distribuição de média e futuramente baixa tensão. A Copel devido a particularidade do seu sistema de 34,5 kV aproveitou este segmento para implantação da automação distribuída em vários níveis, que passaram da telesupervisão e do controle automático de funções básicas como dos dispositivos de proteção e controle de tensão e reativos, para sistemas de reconfiguração automática mais complexos que tem proporcionado melhoria contínua no fornecimento de energia aos consumidores.

2. Desenvolvimento

2.1 - SISTEMA DE SUBTRANSMISSÃO EM 34,5 kV DA COPEL

A origem do sistema de 34,5 kV da Copel é nas subestações de 138 ou 69 kV (denominadas de subestações fontes), com a instalação de transformadores de três enrolamentos, onde a alta tensão é transformada para dois níveis de média tensão: 34,5 e 13,8 kV. A Figura 1 ilustra este processo.

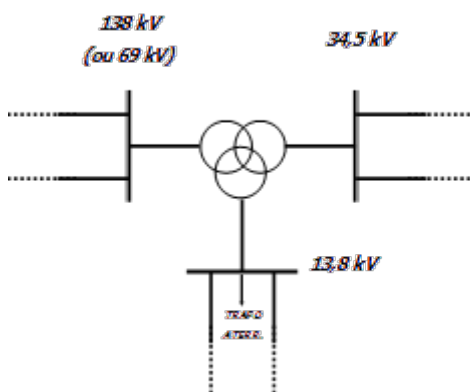


FIGURA 1 – Origem do Sistema de 34,5 kV da Copel

O sistema de 34,5 kV da Copel possui a função de distribuição e de subtransmissão de energia. No segmento de distribuição destaca-se a configuração MRT (monofásico com retorno pela terra) principalmente para atendimento de consumidores rurais, onde existem circuitos de mais de 6.000 kM, totalizando aproximadamente 120.000 transformadores de média para baixa tensão em todo o sistema de 34,5 kV. No segmento de subtransmissão são utilizadas linhas que alimentam pequenas subestações de 34/13 kV, que normalmente atendem pequenas cidades, mantendo regulação de tensão, controle, proteção, segmentação de circuitos e possibilidade de teleoperação pelos centros de operação regionais. A Figura 2 apresenta as características descritas.

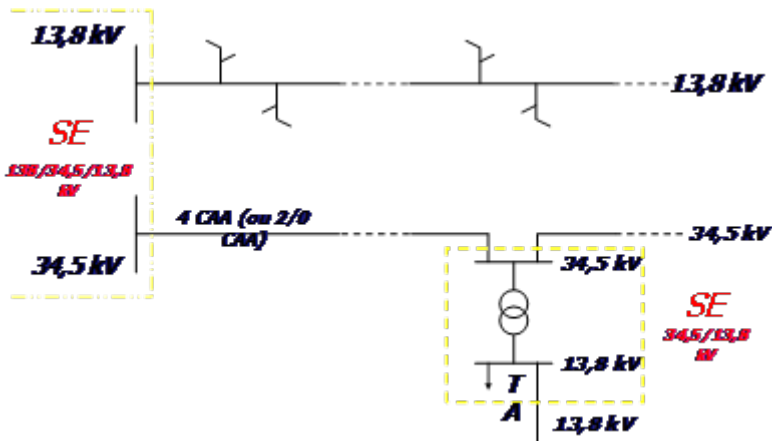


FIGURA 2 – Funções do Sistema de 34,5 kV

Ao todo são 265 subestações de 34/13 kV, que normalmente são constituídas de dois transformadores, totalizando até 14 MVA de potência, banco de capacitores de até 3x1200 kvar, banco de reguladores de tensão de 12 MVA, barramento com possibilidade de fluxo de potência reversível, no máximo de quatro circuitos de 34,5 kV e quatro circuitos de 13,8 kV. Também deve ser enfatizado que normalmente as subestações possuem uma ou mais fontes alternativas de alimentação através de um sistema radial, no entanto pode haver restrição na alimentação da subestação caso a fonte não seja a principal. A Figura 3 ilustra o conceito de barramento reversível, onde a alimentação das cargas pode ser realizada pela fonte principal ou pela secundária (alternativa), com regulação de tensão e seletividade de proteção. Nesta configuração a fonte secundária pode ser alimentada pela fonte principal e vice versa. A configuração do barramento conta com quatro conjunto de chaves unipolares (29-01, 29-02, 29-03 e 29-04) onde são adicionadas duas chaves de operação sob carga automatizadas para automatizar a transferência entre fontes. Esta configuração com barramento reversível foi idealizada inicialmente em condições onde os reguladores de tensão e religadores automáticos não poderiam operar com fluxo inverso.

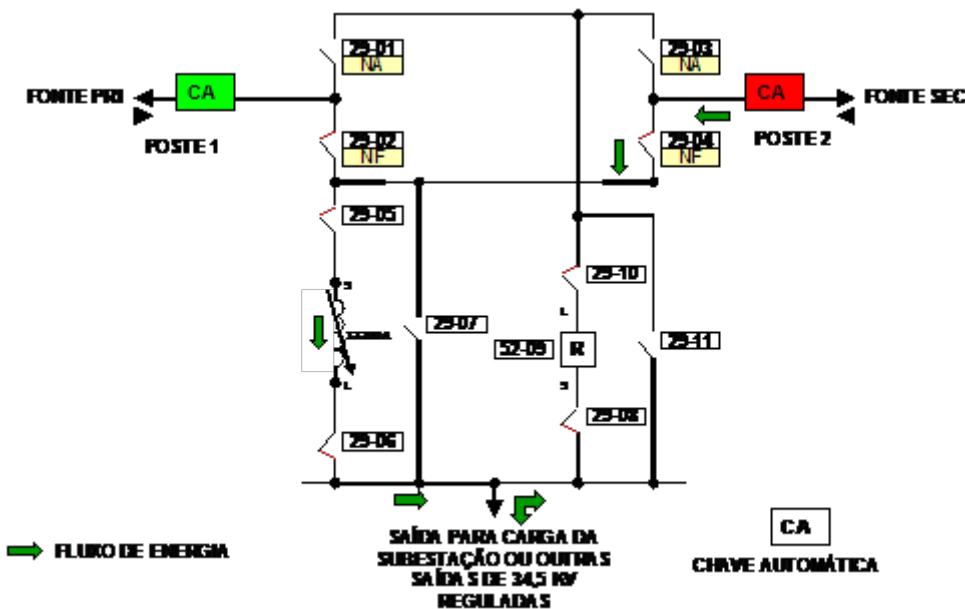


FIGURA 3 – O Barramento Reversível de Subestações de 34/13 kV

A Figura 4 ilustra uma visão geral dos setores de uma SE de 34/13 kV.



FIGURA 4 – Setores de uma SE 34/13 kV

2.2 - AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES DE 34,5 kV

A automação das subestações de distribuição da Copel teve início em 1992 quando foi publicado o Plano Diretor de Automação da Copel, onde definia-se que a operação das subestações da empresa seria baseada em sistemas de controle e supervisão digitais. Para a definição da tecnologia foi adotada a utilização de módulos desenvolvidos na Copel e instalados internamente em microcomputadores padrão PC adaptados para aplicação em sistemas elétricos. Este sistema foi adotado na época pois os sistemas disponíveis não atendiam a maioria dos requisitos previstos no Plano Diretor. A Figura 5 ilustra esquematicamente o processo de automação de subestações de 34/13 kV da Copel, onde a topologia constitui-se de Unidades de Aquisição e Controle (UAC) responsáveis pelo interfaceamento com o processo elétrico e Unidade Central de Controle (UCC), responsável pelo sistema SCADA, UTR e o processamento de funções automatizadas.

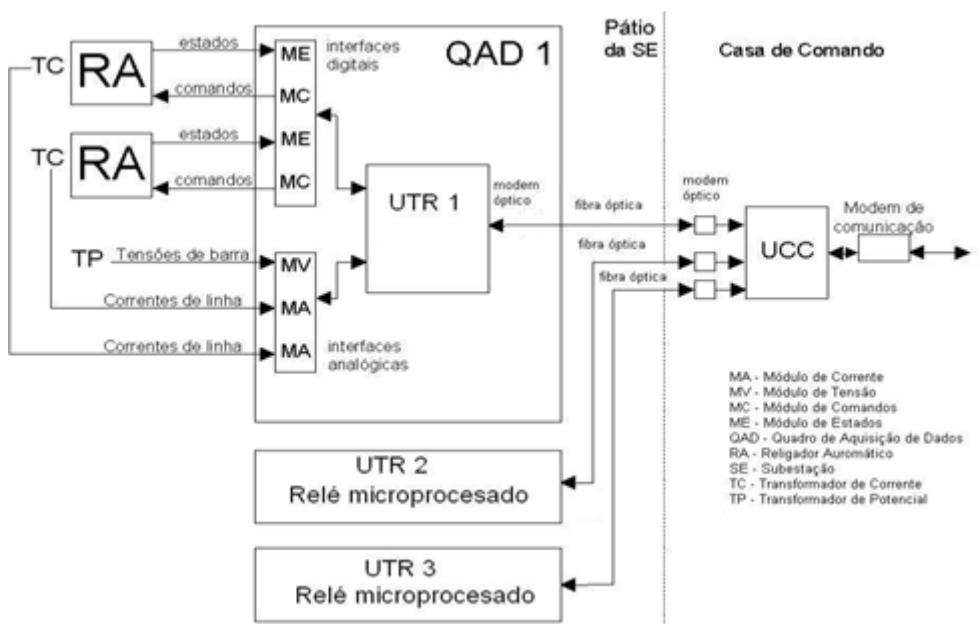


FIGURA 5 – Esquemático da Automação de Subestações de 34/13 kV

Com a evolução tecnológica dos equipamentos instalados nas subestações surgiu a opção de automatizar estes equipamentos utilizando-se protocolos de comunicação abertos, sem haver a necessidade de instalação de Unidades de Aquisição e Controle. A análise realizada apontou para utilização do protocolo DNP3. Estes dispositivos e as UACs comunicam-se via fibra ótica com a Unidade Central de Controle (UCC), responsável pela comunicação da subestação com o Centro de Operação. A comunicação das subestações com o Centro de Operação também é realizada utilizando protocolo DNP3 e canal de comunicação via fibra ótica, sistema de rádio UHF ou satélite. A Figura 6 ilustra o fluxo do processo desde a aquisição de dados realizada pelas unidades remotas ou dispositivos inteligentes, passando pelo controle automático de nível de subestação (UCC) e supervisão pelos centros de controle COD/COS.

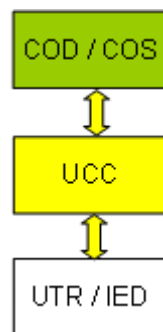


FIGURA 6 – Fluxo de Processo de Automação de Subestações da Distribuição

As principais funções de automação são: controle automático de tensão, controle automático de potência reativa, imagem térmica de transformadores, funções de seletividade lógica de proteção, corte automático de cargas, função de racionamento de energia, sistema de transferência automática de carga além de alarmes e de telemedição, todas estas funções elétricas foram desenvolvidas internamente na própria Copel.

2.3 - DESENVOLVIMENTO DA FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA DE CARGAS

Conforme descrito normalmente uma subestação de 34/13 kV apresenta mais de uma fonte para alimentação das cargas em regime de contingência. Esta configuração permitiu que através da instalação de chaves de operação sob carga e unidades remotas adicionais fosse possível automatizar a transferência de carga da fonte principal para a fonte alternativa utilizando requisitos mais detalhados de controle. A Figura 7 apresenta a filosofia básica da função de transferência automática de cargas. O monitoramento de tensão e de corrente da fonte principal e alternativa é realizado continuamente pela sistema constituído pelos sensores localizados nas chaves, unidades terminais remotadas que efetuam a aquisição e tratamento destes sinais e das unidades de Controle Central (UCC) que processam a lógica do algoritmo de transferência automática de cargas.

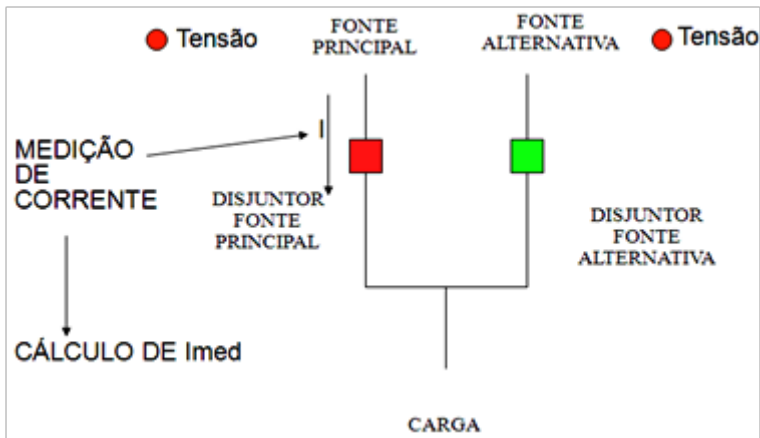


FIGURA 7 – Transferência Automática de Cargas em Subestações

Quando existe ausência de tensão na fonte principal o sistema é temporizado e caso situação permaneça a mesma a chave ou disjuntor da fonte principal é aberto e na seqüência a chave da fonte alternativa é fechada. Esta operação é realizada em menos de um minuto, garantindo que não haverá acréscimo nos índices de DIC, FIC e DMIC dos consumidores.

O critério adotado para implantação da função transferência automática em subestações tinha como pré requisito que a fonte alternativa pudesse atender a carga da subestação independentemente do patamar (pesada, média ou leve) com previsão de até cinco anos de crescimento vegetativo das cargas. Este critério restringia muito a aplicação na configuração do sistema elétrico. Desta forma foi desenvolvido dentro da função de transferência automática uma rotina de monitoramento da carga da instalação como pré requisito para transferência da fonte principal para a alternativa. Desta forma a corrente é medida e integralizada dentro de uma janela deslizante que pode ser configurada. Quando houver a contingência da fonte principal é verificado se a fonte alternativa suporta atender aquela carga em tempo real, caso não seja possível a transferência não é realizada. O incremento desta função de controle de carga permitiu a aplicação da função de transferência automática de cargas em todas as subestações cuja configuração era possível independentemente da carga envolvida. A Figura 8 apresenta a aplicação da Função na Subestação Mandirituba de 34/13 kV.

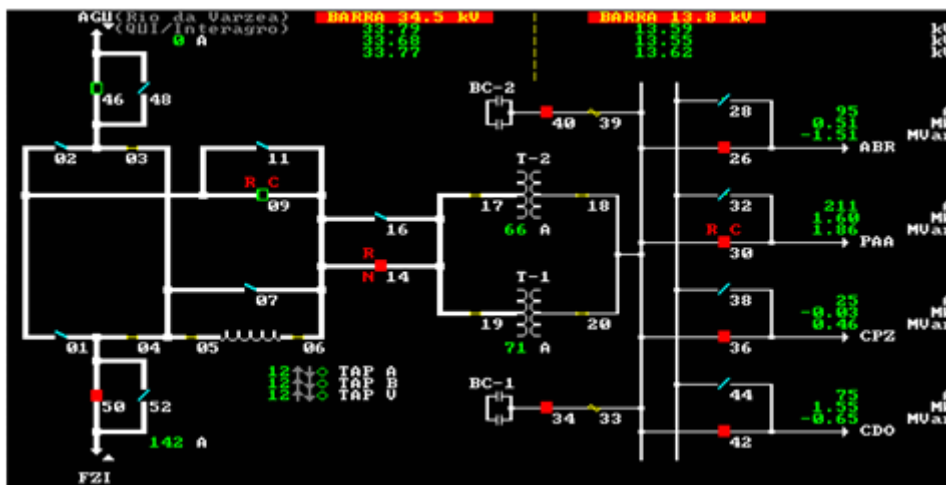


FIGURA 8 – Função Transferência Automática – Subestação Mandirituba

Como a maioria das aplicações de transferência automática em subestações é realizada por chaves de operação sob carga que não podem operar com fechamento sobre falta, também foi desenvolvido algoritmo para identificação de falta interna na subestação. As unidades terminais remotas identificam através de curva de atuação de corrente de fase e neutro se houve falta interna na subestação, caso haja coincidência entre a atuação de falta interna com a ausência de tensão nas fontes principais ou alternativas a função de transferência é bloqueada. Também deve ser destacado que o retorno a configuração normal, pode ser realizado automaticamente com interrupção, sem interrupção (conexão em paralelo das fontes) ou com interrupção realizada remotamente pelo Centro de Operação.

A implantação da função de transferência automática de cargas apresentou resultados expressivos de melhoria na qualidade de fornecimento de energia desde os primeiras aplicações em 2002, resultando num plano de obras específico para implantação desta em 2007, que deve terminar em 2012 com a implantação em todas as subestações possíveis da Copel. A tabela 1 apresenta os valores de melhoria do DEC e FEC da Subestação Uraí, cuja implantação foi realizada em 2009.

Tabela 1 – Indicadores de DEC e FEC da SE Uraí após Aplicação da Função Transferência Automática

ANO	DEC	FEC	DEC	FEC
	PADRÃO	VERIFICADO	PADRÃO	VERIFICADO
2010	21	21,99	22	25,37
2011	23	10,19	23	10,92

Os indicadores de DEC e FEC foram reduzidos pela metade após a implantação da função.

2.4 - CONVERGÊNCIA COM A AUTOMAÇÃO DA REDE E AS REDES INTELIGENTES

Neste capítulo é apresentada a convergência da automação distribuída de subestações de 34/13 kV com a rede de distribuição e a integração com os conceitos reconfiguração automática de rede no futuro.

2.4.1 A Automação Distribuída do Sistema de Subtransmissão

O plano de implantação de funções transferência automática em subestações compreendeu a implantação em centenas de subestações, mudando a característica das redes de média tensão de 34,5 kV. A Figura 9 ilustra as aplicações em subestações na região metropolitana de Curitiba.

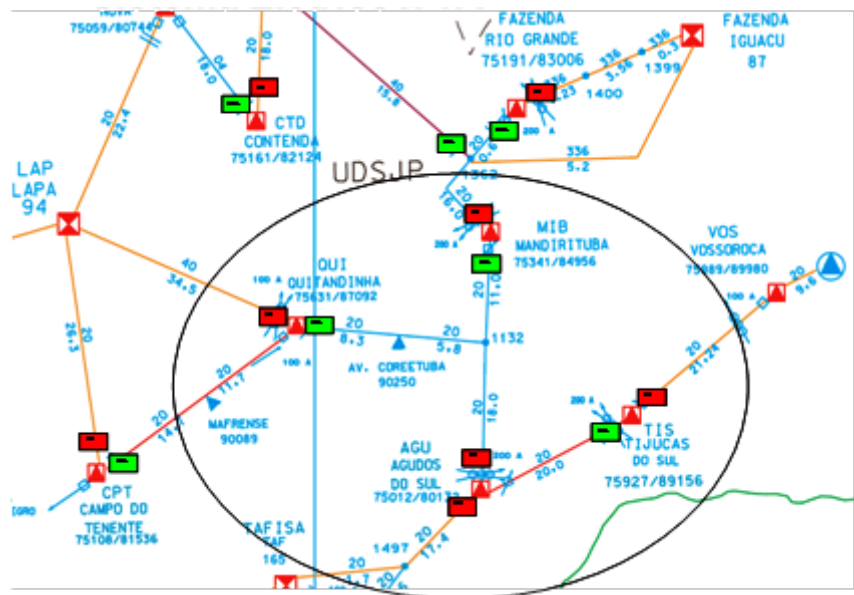


FIGURA 9 – Subestações com Transferência Automática na Região Metropolitana de Curitiba

Esta aplicação em larga escala de sistemas de reconfiguração de carga apresentou muitos benefícios com a melhoria dos índices de qualidade no fornecimento de energia e a flexibilidade operacional, no entanto também acarretou desvantagens devido ao aumento de complexidade do sistema elétrico.

2.4.2 O Problema da Transferência em Cascata das Subestações de 34/13 kV

A transferência automática de cargas entre subestações que estão interligadas poderia acarretar efeito cascata entre transferências e eventualmente um Black Out de toda a configuração. Esta operação errática poderia ocorrer, pois a ação de controle e transferência automática de cargas de uma subestação era realizada apenas mediante os parâmetros elétricos locais. O bloqueio de transferência automática de uma subestação devido a atuação deste sistema em outra subestação interligada somente poderia ser realizado pelo centro de controle que supervisiona todos os pontos, no entanto esta ação não ocorreria automaticamente. Desta forma um grande salto tecnológico nos sistema de automação de subestações da Copel foi automatizar esta operação, fazendo com que ocorra o bloqueio na transferência de carga de uma subestação mediante ocorrência de atuação da função de transferência automática de cargas em outros pontos do sistema elétrico. Este tipo de atuação automática abre caminho para aplicações de funções inteligentes de controle distribuído em pequenas subestações e a respectiva integração com os sistemas de restabelecimento automático da rede primária de média tensão, indicando os próximos passos para implantação das Futuras Redes de Distribuição Inteligentes.

As Figura10 ilustra o problema que poderia ocorrer com contingências múltiplas que acarretariam o desligamento geral da configuração.

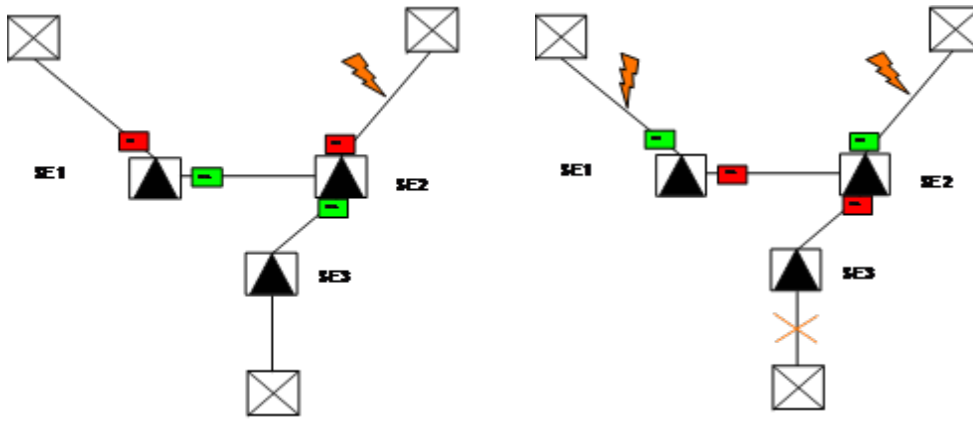


FIGURA 10 – Bloqueio da Transferência Automática em Cascata

A função de transferência automática de tensão é configurada de modo que uma subestação possa efetuar o bloqueio da transferência de outra, devido a restrições de carga das fontes do sistema elétrico.

Para efetuar este bloqueio automaticamente, a função elétrica precisa supervisionar o estado das chaves das fontes alternativas de todas as subestações envolvidas. Devido a esta necessidade de informações oriundas de diversas subestações, essa funcionalidade é implantada no centro de operações.

A subestação que ao ser transferida bloqueia a transferência de outra é denominada condicionante, as bloqueadas são chamadas de condicionadas.

Motivos que levam ao bloqueio da transferência automática por intertravamento:

- Uma das subestações condicionantes esteja transferida para fonte alternativa;
- A informação do estado da chave da fonte alternativa de uma subestação condicionante não esteja disponível no sistema, seja devido a uma falha de comunicação com a subestação ou uma falha no equipamento de supervisão;
- Uma subestação condicionada perde a comunicação com o centro de operações, neste caso o bloqueio por intertravamento é feito localmente.

Assim que uma subestação retorna para sua fonte principal, seja automaticamente ou manualmente pela operação, as transferências automáticas de todas as subestações que eram por ela condicionada são liberadas. Se houver mais de uma subestação cuja fonte necessite transferência apenas uma irá ser transferida, sendo que as outras aguardarão sua vez. Neste caso não existe prioridade de qual vai ser a próxima subestação a ser liberada, se isso for necessário a transferência deve ser feita de modo manual. Uma subestação pode ter sua transferência automática bloqueada por mais de uma subestação condicionante. Neste caso se faz necessário que todas as condicionantes voltem para as suas fontes principais para que a subestação condicionada tenha sua transferência automática liberada. Se uma subestação já se encontra transferida para sua fonte alternativa, o bloqueio de intertravamento não é ativado, evitando que o retorno automático para fonte principal seja bloqueado.

Se por algum motivo o comando de bloqueio da transferência automática efetuado pela função falhar, a operação é avisada através de um alarme, indicando que o comando deve ser realizado manualmente.

2.4.3 Novas Funcionalidades e a Automação da Rede de Distribuição de Média Tensão

A Copel permanece desenvolvendo novas funcionalidades para a função de transferência automática de cargas, com a possibilidade de corte de carga para proporcionar a transferência incluindo o corte nos circuitos terminais da rede de média tensão em 13,8 kV. Estas funcionalidades incluindo a reconfiguração dos circuitos terminais serão uma realidade tendo em vista a implantação que está em andamento da infraestrutura para sistemas de reconfiguração em circuitos de 13,8 kV conforme ilustra a Figura 11.

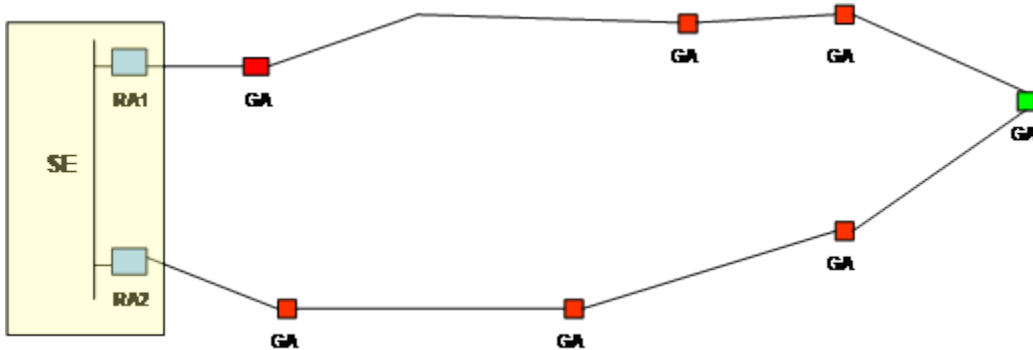


FIGURA 11 – Implantação de Sistemas de Reconfiguração de Circuitos Terminais

3. Conclusões

A implantação em larga escala de subestações de 34/13 kV na rede de média tensão com a respectiva automação das funções de controle, proteção e reconfiguração automática de cargas, proporciona maior desempenho e redução de custos operacionais no sistema elétrico de distribuição. As ações de controle automático de uma subestação podem ser realizadas mediante os valores ou ações combinadas de outras subestações ou elementos de rede, proporcionando uma nova dimensão de controle, automatizando as operações realizadas manual e remotamente pelos centros de operação.

Com a instalação de novos dispositivos inteligentes na rede, a implantação em larga escala de conectividade entre os dispositivos, a automação da medição de faturamento dos consumidores e os sistemas informatizados de apoio a automação dos sistemas de distribuição terão um papel fundamental na consolidação das redes inteligentes do futuro.

4. Referências bibliográficas

- (1) Portela, Juliano. Automação de Subestações Através de Substituição de Religadores, XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2002.
- (2) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Prodlist Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica – Brasil.