

Sistema de Compensação Reativa Dinâmica, Inteligente, Relocável e Conjugada com Filtragem de Harmônicas

M. R. Gouvêa - USP; N. R. B. Filho – CPFL; J. Camargo - EXPERTISE, R. A. Souza Jr - EXPERTISE, A. C. Naves - INEPAR.

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados obtidos dentro do primeiro ciclo de desenvolvimento do PD-69 “Sistema de Compensação Reativa Dinâmica, Inteligente, Relocável e Conjugada com Filtragem de Harmônicas”, projeto do Programa de P&D da CPFL – Companhia Piratininga de Força e Luz - Ciclo 2001/2002. Este projeto visa pesquisar, desenvolver e implantar um Sistema de Compensação Reativa: Dinâmico – monitorando e avaliando constantemente o fluxo de reativo das redes de distribuição; Inteligente – propondo uma compensação ótima de bancos de capacitores e avaliando a situação de cada banco, emitindo periodicamente propostas de relocação de bancos com o objetivo de reduzir o fluxo de reativos; Relocável – propondo um padrão de alta flexibilidade, podendo ser instalado e retirado com apenas um içamento, e até sem desligamento da rede; Conjugado – considerando a possibilidade de compensação reativa na média e na baixa tensão, sendo que nesta é proposta a filtragem passiva de distorções harmônicas, para aliviar ainda mais o carregamento dos transformadores de distribuição.

PALAVRAS-CHAVE

Compensação reativa – distorção harmônica - perdas elétricas - alívio do sistema elétrico – qualidade da energia elétrica.

I. INTRODUÇÃO

Apesar de as concessionárias possuírem grande quantidade de bancos de capacitores instalados, ainda existe falta de reativo no sistema elétrico. Isto pode ser associado à falta de um sistema que monitore de forma sistemática a operação dos bancos de capacitores, supervisione e controle o fluxo de reativo das redes.

Os altos custos dos sistemas de compensação reativa, incluindo planejamento, engenharia, equipamentos, obras de instalação, exigem que haja monitoramentos constantes

na rede primária de distribuição. Porém o que existe normalmente é apenas uma medição de corrente e tensão na saída do alimentador e serviços de inspeção nos bancos de capacitores em períodos de um a dois anos.

Um outro fato é o crescente aumento de instalação de cargas não-lineares nos consumidores residenciais, comerciais, e até industriais (Grupo B), que tem agravado os problemas de sobretensão e sobrecorrente nos circuitos secundários de distribuição, aumentando as perdas elétricas e levando os transformadores de distribuição a operar em condição de sobrecarga. Em virtude do planejamento e dos estudos de engenharia serem feitos separadamente para cada sistema de distribuição, primário e secundário, não é considerada a possibilidade do controle dos reativos e componentes harmônicos no sistema secundário. No qual as perdas podem ser maiores em função dos níveis de tensão e corrente. No secundário também há circulação excessiva de harmônicas e os investimentos em equipamentos de correção como bancos de capacitores e filtros são menores que no sistema primário.

Este projeto visa desenvolver um sistema completo de compensação reativa, que otimiza o uso dos bancos instalados e faz com que haja uma interação no controle de reativos do sistema primário com o sistema secundário de distribuição.

II. APRESENTAÇÃO DAS ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

O Primeiro Ciclo foi constituído de 4 (quatro) etapas.

São elas:

- Etapa 1 – Desenvolvimento de um protótipo de padrão versátil (relocável) para Bancos de capacitores em Poste.
- Descrição: Levantamento bibliográfico sobre inovações tecnológicas e verificação do estado-da-arte da compensação reativa para sistemas primários de distribuição; Desenvolvimento de um protótipo de padrão versátil de bancos de capacitores.
- Produtos: Relatório das inovações tecnológicas e da situação atual da compensação reativa; Protótipo de padrão versátil desenvolvido.

M. R. Gouvêa trabalha no Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: gouvêa@pea.usp.br).

N. R. B. Nogueira trabalha na Companhia Piratininga de Força e Luz (e-mail: norbertoribeiro@piratininga.net).

J. Camargo trabalha na Expertise Engenharia (e-mail: josue@expertise-eng.com.br).

R. A. Souza Jr. trabalha na Expertise Engenharia (e-mail: reynaldo@expertise-eng.com.br).

A. C. Naves trabalha na INEPAR SA (e-mail: alexandre.Naves@inepar.com.br).

- Etapa 2 – Implementação do protótipo de banco de capacitores com padrão versátil (relocável).
- Descrição: Levantamento, estudo e definição do ponto de instalação; Especificação e aquisição dos equipamentos e materiais necessários; Montagem e instalação do protótipo.
- Produto: Relatório de estudo e definição dos pontos; Especificação e compra dos materiais necessários; Protótipo instalado.
- Etapa 3 – Desenvolvimento de protótipo de padrão de compensação reativa e filtragem de harmônicas para aplicação no sistema secundário de distribuição, de baixo custo.
- Descrição: Levantamento bibliográfico sobre inovações tecnológicas e estado-da-arte da compensação reativa e filtragem de harmônicas em sistemas secundários de distribuição; Pesquisa e desenvolvimento de um protótipo de compensação reativa e filtragem de harmônica, de baixo custo, para instalação em sistemas secundários de distribuição.
- Produtos: Relatório das inovações tecnológicas e da situação atual da compensação reativa; Protótipo de padrão versátil desenvolvido.
- Etapa 4 – Implementação do protótipo da compensação reativa e filtragem harmônica de baixo custo na BT – Baixa Tensão.
- Descrição: Estudo e definição do ponto de instalação do protótipo no sistema secundário, com alto fluxo de harmônicas, pertencente ao alimentador primário onde foi instalado o protótipo do padrão de banco de capacitores versátil; Levantamento, especificação e aquisição dos equipamentos e materiais necessários; Instalação do protótipo.
- Produtos: Relatório de definição do ponto de instalação; Especificação e compra dos materiais necessários; Protótipo instalado.

As entidades executoras deste projeto são: Universidade de São Paulo, Expertise Engenharia e Inepar. Os coordenadores são: Eng. Norberto R. Batista Filho (pela CPFL); Prof. Dr. Marcos Roberto Gouvêa (pela USP); Eng. Josué de Camargo (pela Expertise).

Serão apresentadas, de forma resumida, as atividades desenvolvidas em cada etapa.

III. ETAPA 1 – DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA BANCOS DE CAPACITORES EM POSTE

A. Levantamento Bibliográfico sobre inovações tecnológicas e verificação do estado - da - arte da compensação reativa para sistemas primários de distribuição.

Foi feito um levantamento bibliográfico sobre o tema da Compensação Reativa em Sistemas Primários de Distribuição, visando obter como resultado uma proposta para desenvolvimento do Padrão Versátil (relocável) para aplicação na MT-Média Tensão.

Constatou-se que a maioria das referências procura definir os melhores métodos e pontos para a instalação dos bancos de capacitores. Também foi observada a presença de referências tratando dos problemas que surgiram nas últimas décadas com o aparecimento de distorções harmônicas significativas, as quais podem acarretar efeitos danosos sobre os bancos de capacitores instalados na rede.

Nesta análise, alguns aspectos importantes relativos à compensação reativa foram destacados como, por exemplo: Aspectos técnicos e econômicos, vantagens e desvantagens de cada tipo de localização (alimentadores ou subestações, por exemplo); Tópicos da compensação reativa relacionada ao controle de tensão; Degradação de capacitores na presença de harmônicas (ressonâncias); Estudos de transitórios provenientes do chaveamento de bancos de capacitores; Estudos de instalação de bancos em ambientes industriais, tendo em vista os efeitos da ressonância harmônica causada pelos capacitores e o fenômeno do cancelamento harmônico.

A partir desta análise, foi verificado que boa parte dos problemas encontrados na instalação de bancos de capacitores reside na circulação de harmônicas na rede, na localização e nos chaveamentos desses equipamentos. O que salientou a importância no desenvolvimento de um sistema que forneça uma configuração ótima para bancos de capacitores, reduza a circulação de harmônicos na rede e elimine problemas relacionados a energização/desenergização desses equipamentos.

B. Pesquisa e Desenvolvimento de um protótipo de padrão versátil de Bancos de Capacitores.

Foram feitas análises visando definir a forma de desenvolvimento do banco versátil (relocável) de capacitores para aplicação em Sistemas Primários. Também foram feitas análises buscando um local adequado para a instalação do protótipo.

A melhor definição para este tipo de banco foi o termo *Plug & Play*, pois se trata de um banco de fácil instalação, sem necessidade de desligamentos da rede, totalmente montado, com painéis ou estruturas apropriadas para que este possa ser içado através de um caminhão tipo MUNK e preso ao poste. Em seguida é feita a conexão, podendo esta ser através de linha viva, para depois efetuar energização do mesmo.

A definição do Banco, 300 ou 600 kvar ficou a cargo da INEPAR, após conclusão da avaliação da viabilidade técnica e econômica sobre a utilização de capacitores com fusíveis internos. Caso esta utilização se mostrasse viável, seria dispensado o uso de chaves fusíveis, o que reduziria a estrutura do banco e facilitaria os serviços de conexão com a rede.

Neste caso a capacidade do banco poderia ser de 600 kvar coincidindo com os padrões da Piratininga, o qual é de 600 a 1200 kvar, utilizando capacitores de 200 kvar, com ligação estrela aterrada.

Este primeiro protótipo também seria fixo, ou direto, visto que neste primeiro ano foi dada ênfase à estrutura do banco. Uma outra característica seria a forma rápida de içamento e conexão na rede.

Após estudos realizados pelas entidades participantes, chegou-se à conclusão que o primeiro protótipo a ser instalado na rede primária seria um capacitor trifásico de 300 kvar, direto (fixo), portanto sem chaves de manobra, para aplicação em redes de 15 kV, com sistema de içamento único, tanto para instalação quanto para retirada do equipamento. Este equipamento constitui numa inovação tecnológica, no que diz respeito à compensação reativa na distribuição.

O aspecto deste capacitor pode ser visto na figura 1 a seguir:

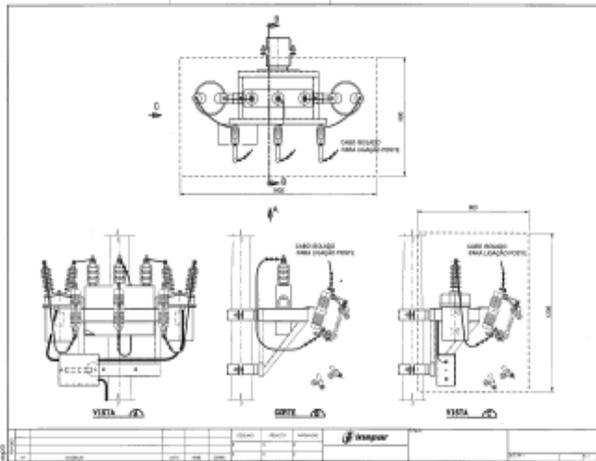


FIGURA 1 – Aspecto do capacitor trifásico relocável a ser instalado

Este primeiro protótipo será do tipo fusível externo.

Nos próximos ciclos será aprimorado o protótipo, tanto no aspecto de facilidade de relocabilidade quanto no aspecto construtivo. Será avaliada a necessidade dos capacitores relocáveis serem diretos ou automáticos. Caso haja necessidade que sejam automáticos, serão incluídas as chaves de manobras, que neste caso serão de SF6.

IV. ETAPA 2 – IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DO BANCO DE CAPACITOR RELOCÁVEL

A. Características das Áreas de Instalação do Protótipo

Ficou a cargo da CPFL a escolha dos locais para testes dos protótipos.

Foi dada ênfase aos aspectos de níveis de tensão da rede primária, para efeito de enquadramento nos patamares estipulados pela Resolução 505 da ANEEL, de 26 de Novembro de 2001. Além disso, um outro aspecto que tomou parte na decisão foi o de alívio de sobrecarga de transformadores na distribuição. Em suma, como o enfoque deste projeto é a compensação conjugada, a definição foi baseada nos critérios de sobrecarga na rede Baixa Tensão,

e também a falta de reativos na Média Tensão.

Assim, foram escolhidas três áreas - três trafos de distribuição de tensão nominal 13.8 kV - das quais uma foi selecionada para instalação deste primeiro protótipo.

A escolha foi feita baseando-se nos resultados das medições de tensão, fluxo de potência ativa e reativa e distorção harmônica no secundário do transformador. O procedimento de medição adotado foi o de realizar coletas das grandezas retrocitadas durante um período de sete dias, com intervalos de registros de 5 em 5 minutos para que, após análise desses dados, além da escolha do local, fosse feito o dimensionamento do filtro passivo a ser instalado.

O local que apresentasse as condições mais críticas seria o escolhido para instalação do primeiro protótipo.

Mais adiante está uma descrição mais detalhada sobre o local escolhido, bem como sobre os demais locais selecionados para medição.

B. Instalação do Protótipo

O fabricante fornecerá o equipamento para ser instalado até o mês de setembro de 2003.

V. ETAPA 3 - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÃO NA REDE SECUNDÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO

A. Levantamento Bibliográfico sobre inovações tecnológicas e verificação do estado - da - arte da compensação reativa e filtragem harmônica para sistemas secundários de distribuição

Da mesma maneira que na pesquisa bibliográfica relacionada à compensação na rede primária, foi feita uma análise de várias referências nacionais e internacionais, buscando conhecimento sobre as vantagens, desvantagens e principais problemas relacionados à utilização de filtros de harmônicas sintonizados nas redes secundárias de distribuição.

Várias referências destacam a capacidade de um filtro passivo de harmônicas para compensar reativos na frequência fundamental, devido à presença de um capacitor em sua estrutura.

Destacam também a sensibilidade desses filtros em relação aos parâmetros da rede onde estão instalados, razões pela qual deve ser muito bem projetado. E também, vários artigos propõem alternativas para mitigar possíveis problemas como, por exemplo, metodologias para alocação ótima de filtros bem como procedimentos para cálculo dos parâmetros R,L e C do filtro.

A partir deste levantamento bibliográfico foram constatados, portanto, tópicos importantes para escolha adequada do local na rede para instalação, bem como a importância de um estudo deste local para determinação dos parâmetros do filtro.

B. Pesquisa e Desenvolvimento de um filtro de harmônicas de baixo custo.

A idéia básica de aplicação de filtros de harmônicas com propriedades de compensação reativa na rede secundária deve-se ao fato desses equipamentos representarem soluções de baixo custo para reduzir carregamento e perdas elétricas nos transformadores de poste, aumentando a vida útil dos mesmos.

Com estas compensações no sistema secundário, reduz-se automaticamente o carregamento, perdas e circulação de componentes harmônicas no sistema primário.

Para que os parâmetros do filtro pudessem ser determinados, foi necessário utilizar os dados coletados do trafo escolhido para instalação. Uma descrição completa deste trafo está no próximo item.

Sendo as medições efetuadas ao tempo (ao ar livre), foi necessário utilizar uma das caixas de vedação, utilizada em campanhas de medição de fator de potência na CPFL-Piratininga, conforme pode ser visto na figura abaixo. O equipamento de medição utilizado foi o SMART T-IMS, de propriedade da Expertise, sendo esta a responsável pelas medições.



FIGURA 2 – Equipamento de medição junto ao transformador

Feita a análise dos dados, foi determinado que o protótipo do filtro de harmônicas seria um filtro passivo sintonizado na 5ª harmônica, para instalação em poste, ao lado do transformador. Além disso, seria de baixo custo, tanto em termos do desenvolvimento do capacitor quanto do reator.

VI. ETAPA 4 – IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DO FILTRO DE HARMÔNICAS

A. Estudo e definição do ponto de instalação

Ficou a cargo da CPFL-Piratininga escolher o local de instalação para o filtro. Basicamente, cabe salientar que as escolhas dos locais de instalação do capacitor e do filtro correram em paralelo. Foi determinado que o filtro deveria ser colocado à jusante de um trafo de distribuição situado no mesmo alimentador onde foi instalado o capacitor relocável. Além dos critérios descritos anteriormente para escolha dos pontos de instalação do capacitor relocável, um outro critério é que deveria ser um transformador com carregamento elevado ($> 80\%$), que alimentasse consu-

midores residenciais de classe média ou alta, ou consumidores comerciais, pois são os que possuem equipamentos que causam distorção na rede. E deveria pertencer ao sistema da CPFL-Piratininga.

Os locais selecionados para medição estão na tabela 1 abaixo.

TABELA 1
Locais selecionados para medição

Trafo	Alimentador	Município	Potência. Nominal [kVA]	Tap [V]
1735	MBR-139S.	Vicente	22513200/ 200-127	
1122	ESU-140	Santos	22513200/ 200-127	
595	ESU-140	Santos	22513200/ 200-127	

Com base nos requisitos descritos, e com base nas medições efetuadas nos três locais primeiramente escolhidos, foi definido que o primeiro protótipo deveria ser instalado no lado do secundário de um transformador localizado no centro comercial do município de São Vicente - SP. A seguir os dados do equipamento:

1. Estação Transformadora nº 1735
2. Potência nominal trifásica de 225 kVA
3. Ligação: Delta-Estrela Aterrada (13200/220/127)
4. Demanda Máxima: 150 kVA
5. Nº do alimentador primário de 13,2 kV: MBR-139
6. Corrente máxima do alimentador: 330 A
7. Nº clientes residenciais = 162
8. Nº clientes comerciais = 44

Uma visão panorâmica do ponto a ser instalado o protótipo do filtro é mostrada a seguir:



FIGURA 3 – Visão panorâmica o local escolhido

B. Instalação do Protótipo

O protótipo deverá ser instalado até o prazo de encerramento do primeiro ciclo deste projeto, que será em setembro de 2003.

VII. CONCLUSÃO

De acordo com o descrito neste artigo, pode-se concluir que o Projeto PD69 vem atingindo seus objetivos den-

tro do Primeiro Ciclo, conforme estava proposto na proposta de P&D aprovada pela Aneel.

Uma das grandes vantagens associadas ao sistema *Plug & Play* proposto é o ganho no tempo de instalação/retirada de capacitores na rede, o que atualmente é feito em várias horas. Com isso, serão evitadas manobras no sistema, pois não haverá necessidade de abertura de ramais para instalação, sem prejuízo dos consumidores.

Vale ressaltar que deverão ser feitas avaliações deste padrão versátil de capacitores, bem como do sistema conjugado de compensação reativa, comparando-o com o desempenho dos equipamentos convencionais existentes em alimentadores de distribuição. Para tanto, um trabalho sistemático de monitoração deverá ser feito.

Além disso, é válido mencionar que atualmente as empresas de energia têm investido em tecnologias modernas de supervisão e controle como, por exemplo, softwares de configuração de rede, que avaliam a operação da rede e sugerem o uso de equipamentos corretivos. Este sistema conjugado permitirá interações com essas ferramentas, garantindo alta eficiência operativa.

Ademais, haverá oportunidade, no contexto deste projeto, de inovações e melhorias em algumas áreas, como a metodologia atual de supervisão e controle dos bancos de capacitores, que é feita monitorando somente a corrente no alimentador, sem levar em conta a parcela reativa, o que pode conduzir a operações desnecessárias dos bancos. E também, outro aspecto interessante é a dualidade do enfoque no estudo do filtro na Baixa Tensão: a compensação reativa em si e o enfoque de *power quality*. Deverá ser tomado o devido cuidado de balancear o desenvolvimento nestas duas vertentes, além de avaliar se o equipamento está sendo eficaz em ambas.

Para os próximos ciclos está previsto o desenvolvimento de um software de comunicação entre o sistema de monitoramento existente e o sistema da CPFL. E também serão instalados outros padrões versáteis aperfeiçoados de capacitores, com base na avaliação do desempenho operativo e testes em campo efetuado com este primeiro protótipo.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. R. Gouvêa, C. M. V. Tahan, J. Camargo, - “Controle de Tensão e Compensação de Reativos no Sistema Elétrico da CPFL” – I SIDEE – Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica – Belo Horizonte, 1990 - Brasil.
- [2] [2] J. Camargo, - “Compensação Reativa Racionalizada” – XIII SENDI – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – São Paulo, 1997 – Brasil.
- [3] Relatórios Técnicos do Primeiro Ciclo do Projeto PD-69.
- [4] M. A. Barbosa, - “Cuidados para instalação de Bancos de Capacitores na presença de Harmônica” – Revista Eletricidade Moderna – Março, 1995.
- [5] D. V. S. Coury, C. J. Tavares, M. C. Oleskovicz – “Transitórios devido ao chaveamento de Bancos de Capacitores em um Sistema de Distribuição da CPFL” – XIV CBA - Congresso Brasileiro de Automática – Natal, 2002 - Brasil
- [6] M. Lehtonen, - “Método para dimensionamento otimizado de Capacitores nas Indústrias” – Revista Eletricidade Moderna – Março, 1995.
- [7] IEEE – “IEEE Std 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Systems” – 1992.
- [8] E. B. A. Santos, G. M. M. Medeiros – “Harmônicas provocadas por Cargas de Instalações Elétricas Residenciais em Sistemas de Distribuição de Energia” – XIV CBA - Congresso Brasileiro de Automática – Natal, 2002 - Brasil