



Compensação de Energia Reativa e Correção do Fator de Potencia em Instalações Elétricas.

Por: Eng. Jose Starosta; MSc.

jstarosta@acaoenge.com.br

Introdução: O artigo apresenta uma abordagem das variáveis envolvidas para a implantação de compensação de energia reativa em instalações industriais e prédios comerciais, comentando ainda sobre aplicações específicas como sistemas de geração de energia eólica.

A INJEÇÃO CLÁSSICA DE REATIVOS

A injeção de reativos é uma valiosa ferramenta para a melhoria da regulação de tensão, melhoria da eficiência de equipamentos, redução de perdas e das correntes elétricas nos circuitos de instalações industriais e comerciais de grande porte. Não trataremos do dimensionamento de capacitores de forma a injetar energia reativa de acordo com aquela consumida pela carga (ou próximo), mas as características e cuidados necessários.

Historicamente e muito antes da proliferação de cargas não lineares nas instalações e também do início da regulamentação da cobrança desta energia reativa (excedente) pelas concessionárias de energia, os capacitores já vinham sendo aplicados na obtenção de melhoria da regulação de tensão das instalações, ou seja, a correta aplicação de capacitores em uma instalação elétrica impõe significativo incremento na qualidade de energia de alimentação das cargas, com fortes conseqüências na produtividade, aumento da capacidade, redução de perdas elétricas e redução de investimentos de infra-estrutura. O tema, sempre discutido, é relacionado à estreita relação da energia reativa (gerada pelos capacitores) e a qualidade de energia fornecida às cargas da instalação.

As perdas de processo industrial relativas a problemas com consumo de energia reativa e qualidade de energia tendem a ser mais importantes e consideráveis que as próprias cobranças de excedente de energia reativa pelas concessionárias devido ao baixo fator de potência que este consumo de reativos possa causar.

Tal condição pode ser entendida como a necessidade da adequabilidade da tensão de fornecimento (regulação, desbalanceamento, ausência de afundamentos, distorção harmônica entre outras), sob pena de perdas no processo de produção.

A popularização do uso dos capacitores do ponto de vista do consumidor ocorreu em maiores proporções justamente quando as concessionárias passaram a multar ou sobre taxar os consumidores que apresentassem valores médios mensais de fator de potencia menores que um valor fixo definido, inicialmente 85%.

A mudança deste valor para 92% junto com a mudança do período/intervalo de medição para média horária com um grau bem maior de sofisticação de avaliação, permitido pelos medidores eletrônicos que chegavam ao mercado. Esta mudança que ocorreu no Brasil na primeira metade da década de 90, seguiu uma tendência mundial presente até hoje, e trouxe a necessidade de ajuste fino da injeção de reativos, pois diversas instalações que estavam incólumes ao critério anterior passaram a ser consideradas na cobrança.

O que se observou foi uma verdadeira corrida pela adequação do fator de potencia aos níveis e padrões estipulados. Consumidores desavisados assistiam seus capacitores explodirem até descobrirem (ou não) as causas e soluções.

Entre outras mudanças o que era tratado como "multa por fator de potência" passou a ser tratado como "tarifação de energia reativa excedente" ou outras terminologias similares muitas vezes ainda não absorvidas até hoje por consumidores que pagam as contas de energia sem que as mesmas sejam analisadas adequadamente em todos os seus pontos.

Alguns consumidores consideram o "*faturamento de energia reativa*" como uma cobrança normal de energia tal qual a energia ativa o é,



sem a mínima idéia de seu potencial em “gerar” sua própria energia reativa com a correta aplicação de capacitores.

Outros consumidores ainda absorvem tais custos, pois consideram equivocadamente a inexistência de tecnologia para adequação do fator de potencia e compensação reativa da instalação; cansados de observarem sistemas simplesmente explodirem com fortes implicações na produção, se permitem arcar com os custos de uma energia mais cara, por conta da preservação da capacidade de produção.

Por outro lado, não são todas as concessionárias que alertam e orientam seus consumidores para a situação, informando da possibilidade de se evitar o faturamento adicional de forma adequada e com ganhos técnicos agregados.

Outra observação importante é que o projeto de compensação de energia reativa deve necessariamente considerar análise do perfil de carga, e a análise do fator de potencia médio induzirá a escolha de solução inadequada. Este perfil de carga pode ser obtido com o uso de instrumento adequado, ou mesmo solicitado para a concessionária, que em geral possui condições de fornecê-lo.

Outra discussão importante e pertinente refere-se a própria legislação sempre referida ao termo fator de potencia, sem nenhuma referencia as componentes harmônicas. Como a definição do fator de potencia acima exposta incorpora não só as componentes de 60Hz mas também as outras, os novos medidores eletrônicos implementados para atender a portaria (atual ANEEL 456) de energia reativa consideram indiretamente o incremento do “consumo de energia reativa” na presença de cargas distorcidas. Isto é, as cargas distorcidas consideradas pelo novo sistema de medição, acabam por reduzir o fator de potencia em relação ao conceito anteriormente empregado no uso dos medidores eletromecânicos, ou mesmo eletrônicos de primeira geração, onde somente a componente fundamental era considerada.

A resolução ANEEL 456

Conforme já abordado, a grande maioria dos sistemas de capacitores presentes nas instalações elétricas teve como justificativa de suas



instalações e aplicações o propósito de se obter a isenção de pagamento de energia reativa excedente junto às concessionárias que suprem estas instalações.

Sob o aspecto normativo de cobrança da energia reativa no Brasil a resolução ANEEL 456 de 2000, em seu artigo 64, determina o modelo desta cobrança de energia reativa. A resolução 456 esta disponível no site da ANEEL.

Conceitualmente o modelo aplicado na cobrança considera a necessidade da medição das energias ativas e reativas, estas por sua vez tratadas por indutivas e capacitivas, consumidas em cada intervalo de integração de uma hora. A cada um destes intervalos de integração, calcula-se o fator de potência médio, comparando-o ao "Fator de Potencia de referência" estabelecido de 0,92.

Se em determinado intervalo, o fator de potencia registrado for menor que os 0,92 estipulados; caberá ao consumidor uma cobrança adicional que será proporcional a energia consumida naquele intervalo e pela relação do fator de potencia de referência e aquele medido. Ao final do mês, os períodos em que o fator de potencia registrado não tenham atingido ao de referencia serão tomados para o calculo da energia reativa excedente; assim o calculo da energia reativa excedente no período de medição é uma somatória de excedentes de diversos intervalos em que o fator de potencia registrado tenha sido menor que 92% (indutivo durante o dia) ou menor que 92% (capacitivo durante a madrugada). Ainda, esta parcela poderá sofrer outro incremento relativo a demanda reativa, isto é, naqueles mesmos intervalos em que o fator de potencia registrado tenham sido menores que o de referencia, observam-se as demandas relacionadas. Caso a demanda de cada um dos intervalos (1 hora) medidos, multiplicada pela relação dos fatores de potencia de referencia e medido for superior a demanda faturável do mês; estabelece-se um critério de cobrança de demanda reativa (DMCR), complementando a cobrança anteriormente exposto relativo ao consumo de energia reativa (FER). O modelo prevê ainda medições independentes nos períodos de ponta e fora de ponta se aplicável, alem da mudança do fator de potencia de referencia para -0,92 ou 92% capacitivo no período da madrugada; ou seja, entre 0:00 e 6:00 (aproximadamente). Tolera-se a operação de cargas indutivas sem compensação, todavia a sobre compensação (quando o reativo

injetado pelo sistema de compensação é superior aquele consumido pela carga) é limitado a condição em que o fator de potência não seja menor que 92% (capacitivo).

Configurações típicas de capacitores em instalações elétricas

As formas clássicas de compensação e injeção de reativos na rede elétrica por capacitores podem ser encontradas de forma bastante completa na IEEE 141-1993.

a) Banco fixo:

Os capacitores são instalados junto as cargas ligados diretamente nos barramentos. A injeção de energia reativa é fixa e independe da carga, tem como principais características:

- Baixo custo
- Impossibilidade de controle.
- Possibilidade de sobre tensões devido a sobre compensações em período de baixa carga.
- Possibilidade de pagamento da tarifação de energia reativa no período da madrugada (reativo capacitivo)

b) Banco semi-automático

Os capacitores são instalados e inseridos no sistema simultaneamente a carga, podendo ser ligados (e alimentados) no mesmo dispositivo de manobra desta, esta configuração possui as características principais:.

- Aumento do investimento inicial, devido a necessidade de associar cada carga a um respectivo capacitor. Quanto maior for a diversidade operacional das cargas mais capacitores serão necessários ao sistema.
- Nem sempre o dispositivo de manobra da carga permite fisicamente a ligação dos capacitores, sendo as vezes necessário dotar os mesmos de dispositivo de manobra independente comandando pelo dispositivo de operação da carga (alimentação da bobina do contator do capacitor por

contato auxiliar do contator (ou sinal de operação) da carga, aumentando os custos.

- Problemas operacionais e defeitos devido a ligamentos consecutivos ou “repiques de contadores” sem que os capacitores tenham sido descarregados.
- Queimas de dispositivos de acionamentos estáticos a semi-condutores na manobra dos capacitores (inversores de frequência e soft starters)

c) Banco automático

O sistema foi concebido para atendimento a cargas variáveis e pode ser entendido, sob aspecto de controle como uma evolução das outras configurações.

Os capacitores são montados em bancos centralizados manobrados em grupos por contadores distintos. O acionamento destes contadores é feito através de um controlador eletrônico dedicado que recebe informações da corrente da carga através de TC instalado na entrada do quadro geral da instalação.

Com esta informação e com o ajuste do fator de potencia desejado, o controlador manobra os capacitores conforme lógica programável e interface com o usuário.

A aplicação deste sistema em cargas com perfil sem muita variação é uma solução bastante empregada e sua aplicação deve estar vinculadas a alguns cuidados:

- Transitórios na rede causados pela manobra dos capacitores, podendo causar interferências em outras cargas e redução da vida dos capacitores.
- Efeito de sobre tensão, devido a sobre compensação de reativo, uma vez que a resposta do sistema pode ser lenta. Os capacitores podem levar dezenas de segundos até serem desligados, após o desligamento da carga. Neste período a sobre compensação pode comprometer as outras cargas que continuam operando no sistema.

- Cuidados quando aplicados em conjunto a dispositivos de acionamentos estáticos (inversores de frequência e soft-starters)

Compensação Estática de reativos ou compensação de energia reativa "tempo real"

As restrições apontadas nos modelos apresentados podem ser minoradas com a injeção de energia reativa com a aplicação de elementos estáticos de manobra de capacitores (ou conjuntos LC), também chamada de compensação tempo real, devido a rápida comutação dos componentes é outra forma de compensação do fator de potencia, notadamente quando o ciclo da carga é muito rápido impedindo a especificação dos sistemas convencionais.

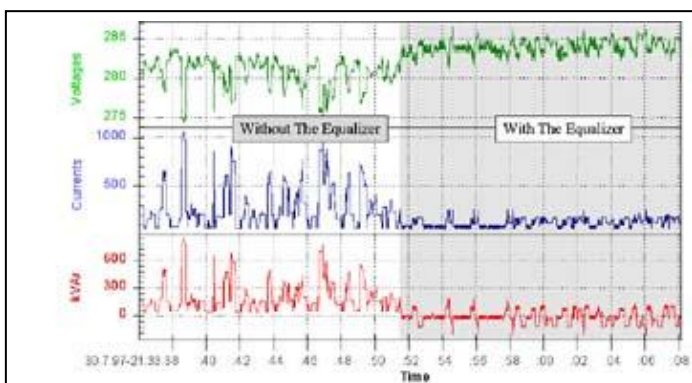


Figura 1 - compensação tempo real em sistema de solda a ponto

As principais características do sistema de compensação estática são:

-tempos de manobra desde 16 ms, aplicados em cargas "rápidas" como prensas, sistemas de solda a ponto (ilustrados na figura 1, cargas de indústria),

fornos a arco, guindastes, elevadores, sistemas de geração eólica, injetoras, equipamentos para indústria gráfica e papelaria, eletromédicos, centrífugas para indústria de açúcar e outras cargas que apesar de tratadas por "especiais", estão cada vez mais presentes em todos os processos.

-isenção de transientes de manobra: A característica conhecida como "zero crossing" da manobra estática, permite compensação reativa com isenção de transiente de manobra.

-Possibilidade de compensação reativa monofásica: Cargas ligadas entre 2 fases ou entre fase e neutro como soldas a ponto podem ter sua energia reativa compensada com a inserção de capacitores

ligados da mesma forma que as cargas, promovendo injeção reativa adequada.

-Eficiência na regulação de tensão: Quanto mais rápida for a compensação melhor a regulação de tensão

-Equivalência entre as potências ativa e aparente: Pode-se assumir que a potência aparente (kVA) e a potência ativa (kW) serão iguais durante todo o tempo de operação da carga; desde que o compensador reativo seja dimensionado para tal.

-Compensação de flicker: A compensação instantânea de energia reativa confere ao sistema competência para compensar o flicker; cintilação causada por afundamentos de tensão provocados em geral por cargas que consomem consideráveis quantidade de energia reativa em curtos intervalos de tempo e em ciclos repetitivos.

Cuidados com a compensação reativa em instalações com sistemas “back-up” por geradores.

Geradores de “back-up” ou de emergência, cada vez mais presentes nas instalações comerciais possuem restrição na alimentação de cargas capacitivas. Esta constatação pode ser observada na chamada curva de capacidade típica dos mesmos. Fato é que, as cargas podem se tornar por alguns instantes capacitivas, quando da manobra (desligamento) das cargas indutivas não acompanhadas pelos bancos de capacitores. Nesta situação, os geradores enxergam carga com fator de potência capacitivo, causando alteração na excitação e conseqüente atuação da proteção com desligamento.

Sistemas rápidos de compensação, típicos da compensação estática possibilitam alteração do fator de potência de referência quando a fonte é alterada para o gerador, melhorando inclusive a performance da carga mesmo quando alimentada pelo gerador.

A outra possibilidade é desligar o sistema de compensação reativa quando os geradores assumem a carga.

Compensação de energia reativa na presença de cargas não lineares/ressonância harmônica. Cuidados com a ressonância

Capacitores de potência ligados em uma rede elétrica indutiva podem ser modelados com boa aproximação em um circuito LC, que possui uma frequência de ressonância.

Por outro lado as cargas não lineares popularizadas nas instalações, possuem espectro harmônico típico do seu controle e acionamento. As cargas industriais acionadas por conversores de 6 pulsos possuem componentes de correntes harmônicas nas harmônicas 5^a, 7^a, 11^a, 13^a e outras com menores intensidades.

De uma forma geral se a frequência de ressonância da rede (circuito LC) ficar próxima da frequência de uma das correntes típicas do espectro harmônico da carga, haverá o fenômeno da ressonância.

Esta frequência *de ressonância* possui avaliação clássica como:

$$hr = \sqrt{Pcc / kVAr} \quad fr = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

onde:

- fr é a frequência de ressonância
- L é a indutância típica da rede
- C é a capacitância total dos capacitores
- hr é a ordem harmônica
- Pcc é a potencia de curto circuito trifásico na barra em que os capacitores são instalados
- KVAR é a potencia dos capacitores em operação

Explicando melhor, o circuito composto por um transformador de 1000 kVA e por banco de capacitor de 350 kvar possui frequência de ressonância próxima da 7^a harmônica. Nesta situação haverá circulação de correntes superiores aquelas geradas pela carga no circuito LC, causando sobrecorrentes nos capacitores e sobretensão na rede. A solução para esta situação é a inserção de reatores anti-ressonantes, (ou ressonantes quando se deseja filtrar as harmônicas). A compensação de energia reativa das cargas atualmente empregadas não pode ser feita sem a consideração da inserção destes reatores série com os capacitores, sob pena de queima precoce, além de outras anomalias possíveis.

A análise cuidadosa de cada um dos pontos relacionados merece especial atenção. De outra forma a queima dos capacitores e destruição de equipamentos associados será inevitável. Note-se que capacitores operando sob as condições nominais podem sobreviver mais de 15 anos. Aliás uma compensação reativa bem projetada e especificada mantém a instalação elétrica em que a mesma é inserida livre de perdas desnecessárias, sem afundamentos de tensão por razões internas, otimização no uso de transformadores, distorções de tensão e formas de onda em níveis adequados, livre de queima de capacitores por causas “desconhecidas” e outros fenômenos sem explicações aparentes.

Bibliografia:

ANEEL resolução 456

IEC 831

NBR5410

IEEE 141

IEEE 519

IEEE 1159

Elspec Ltd - Technical Report

Elspec Ltd- Catalogo técnico

Ação Engenharia e Instalações – Relatórios técnicos

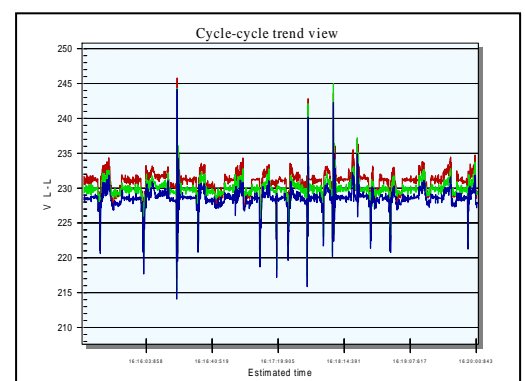
Starosta, Jose - matérias técnicas nas revistas Eletricidade Moderna, Setor Elétrico e Lumière.

Catalogo técnico: Electronicon

Ilustrações



Compensador tempo real



Variação de tensão causando flicker