

**RESUMO:**

O desenvolvimento da tecnologia denominada “compensação estática de energia reativa tempo real” ou simplesmente “compensação reativa em tempo real – CRTR”, foi desenvolvida, objetivando buscar a implementação nas instalações elétricas industriais e prédios comerciais de sistemas automáticos que efetuam a compensação reativa em tempos extremamente rápidos (equivalentes a 1 ciclo da rede elétrica) desempenhando importante papel na compensação reativa das cargas com ciclos de operação muito curtos (de alguns ciclos até centenas de ms). Este trabalho tem o objetivo de pormenorizar a concepção do equipamento e suas aplicações práticas.

**PALAVRAS CHAVES:** Compensação reativa tempo real, energia reativa, qualidade de energia ,fator de potencia, harmônicas.

**1. INTRODUÇÃO:**

As cargas presentes nos sistemas elétricos industriais e dos prédios/complexos comerciais e de serviços como os sistemas de solda a ponto, prensas, guindastes, injetoras, centrifugas de produção de açúcar, turbinas eólicas, cargas eletro médicas (pulsantes), fornos a arco e de indução, grupos de elevadores e escadas rolantes, edifícios-garagens, sistemas de refrigeração e ar comprimido, sistemas de mistura com carga variável (borracha, papel, plásticos, cimento, etc), sistemas de transporte ferroviários, cargas de parques temáticos, e outras que em função de sua velocidade de operação não permite a implantação da solução convencional, ou que não podem ser expostas aos transientes de manobra dos capacitores.

**II. DESCRIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA**



Figura 1  
Equipamento de compensação de energia reativa tempo real instalado  
430 kvar / 480V

O sistema foi desenvolvido para manter a regulação de tensão e indicadores de qualidade de energia nas redes elétricas dentro de parâmetros adequados. A energia é um dos insumos de qualquer processo e a manutenção da qualidade nestes processos e produtos finais tem forte dependência da qualidade da energia a estes fornecida. A compensação reativa adequada de cargas como as acima citadas é um ponto importante para que o objetivo seja atendido. A vantagem do uso da tecnologia é dotar a estas cargas todos os benefícios

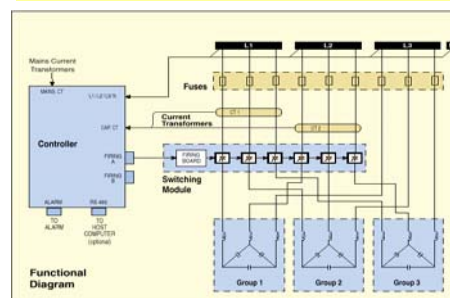
conhecidos da compensação reativa, possibilitando aos sistemas elétricos em que estas cargas estão ligadas, as melhorias nos indicadores de qualidade de energia, bem como os conhecidos reflexos na qualidade dos processos e produtividade associados. O sistema de compensação de energia reativa tempo real, tem por premissa de operação, a

manobra de grupos de capacitores ou grupos de filtros LC (neste caso com reatores ressonantes ou anti-ressonantes) por meio de dispositivos de manobra estática (SCR ou IGBT). O equipamento (figura 1 - compensador tempo real) é composto por:

- Conjuntos (grupos) de indutores e capacitores
- Controlador micro processado ultra-rápido
- Módulo(s) de chaveamento estático
- Sistema de proteção com fusíveis ou disjuntores
- Armário do conjunto e acessórios.

Os conjuntos de compensação reativa (capacitores e indutores) são manobrados individualmente ou em conjunto e inseridos na rede elétrica que os alimenta pelos elementos de manobra estática, que são comandados por um controlador (ver esquema na figura 2). A lógica de operação do equipamento depende deste controlador que em função das informações das condições da carga e da rede, controla a manobra adequada

Figura 2  
Esquema da compensação de energia reativa tempo real



dos grupos de capacitores (ou combinações de

filtros LC). Nesta situação, são manobrados (inseridos e desligados) a combinação de grupos mais adequada à compensação reativa e em intervalos de

tempo que podem ser de até 1 ciclo (16ms). Um equipamento de 350 kvar formado por 3 grupos na proporção (1:2:4) é constituído por um grupo de 50 kvar, outro de 100 kvar e um terceiro de 200 kvar. Desta combinação será possível se injetar na rede potência reativa desde 50 a 350 kvar, em combinação adequada, neste caso em múltiplos de 50 kvar. O equipamento não possui limitações quanto a manobra dos capacitores, não sendo necessário esperar que os capacitores descarreguem para voltarem a serem inseridos (como nos sistemas convencionais) [12]. De forma a manter os capacitores dos grupos sendo utilizados por períodos semelhantes, e com o objetivo de preservação da vida útil, é possível que se estabeleça a rotina, chamada de “scan” com o revezamento de grupos alternados em situação de baixa carga, em função da citada inexistência de limitações das manobra.

**A-Velocidade de manobra**

A partir das informações da carga (via TC's e TP's), o controlador processa as informações no programa interno pré-ajustado e toma a decisão quanto às manobras dos elementos

estáticos que são os responsáveis pelas manobras dos grupos LC.

A informação da necessidade de injeção de energia reativa, a tomada de decisão, o disparo adequado dos elementos estáticos e a inserção dos capacitores na rede ocorrem em tempos menores que 1 ciclo de rede (16ms em 60 Hz).

#### *Isenção de transientes*

Além da velocidade de manobra, outra característica da tecnologia é a isenção de transientes destas manobras em função do preciso processo de manobra. Estas manobras dos capacitores ocorrem no momento da passagem da corrente por zero ("zero-crossing"), evitando assim os surtos típicos de conjuntos de capacitores manobrados por contadores ou outro dispositivo de manobra eletro-mecânico [3]. A compensação tempo real possibilita a inserção e desconexão dos capacitores na rede elétrica sem transientes.

#### *B-Tratamento das harmônicas*

O uso de reatores em série com os capacitores na formação dos grupos LC, permite que se estabeleça o tratamento e controle das harmônicas que circularão (ou não) no conjunto. Na condição de anti-ressonância com o uso de filtros anti-ressonantes, a impedância do ramo série (L+C) impossibilitará a circulação expressiva de correntes harmônicas neste ramo[17]. A impedância dos conjuntos LC é especificada e definida em função da ordem das correntes harmônicas presentes, além da energia reativa que se deseja injetar. Na situação ressonante ou sintonizada, o conjunto LC é especificado para frequência(s) de ressonância próxima(s) aquelas que compõem o espectro da carga e que se deseja sintonizar e filtrar. Nesta situação o sistema opera como um filtro passivo manobrado em curtos intervalos de tempo.

#### *C-Regulação de tensão e Perdas Elétricas*

A tecnologia possibilita uma precisa interação da injeção de reativos com o perfil da carga (ou conjunto de cargas) a cada ciclo da rede elétrica, mantendo os indicadores de regulação de tensão adequados. A possibilidade de injeção de energia reativa exatamente na medida em que esta energia é absorvida pela carga, possibilita que seja aplicada esta compensação em cargas cujo regime seja extremamente variável, obtendo-se os benefícios já conhecidos, relacionados a qualidade de energia, redução de perdas, isenção de cobrança de reativos, etc.

#### *D - Carregamento e rendimento dos transformadores*

A garantia de uma "fonte de reativos" e a manutenção da potência aparente nos mesmos níveis que a potência ativa, possibilita que sejam revistos os níveis de carregamentos praticados nos transformadores ou ainda que sejam evitados novos investimentos em possíveis ampliações. Em qualquer um dos casos, a redução de perdas seja com o desligamento de transformadores, ou evitando a instalação de novos é considerável e significativa. Obviamente as cargas alimentadas por uma fonte de energia com tais características apresentam ainda um rendimento operacional e de desempenho muito superior. A redução das correntes elétricas das cargas que circulam pelos circuitos e transformadores com a correta compensação dos reativos reduz na proporção quadrática da corrente as perdas por efeito Joule nos mesmos. A possibilidade de manutenção da tensão operacional próxima da nominal reduz a perda nos circuitos magnéticos, sendo também um método de melhoria do fator de potência. Notar

que costumeiramente as industriais mantêm seus transformadores com ajustes dos TAP's acima dos valores de tensão nominal, objetivando justamente compensar os afundamentos causados pelas operações de cargas cujo comportamento apresenta alto consumo de energia reativa, principalmente em condições de partida [9]. A manutenção do fator de potência em valores próximos a 100%, garante sensíveis reduções das perdas em sistemas elétricos. A redução das perdas obedece a equação (1):

$$\% \text{ redução das perdas} = 100 \{ 1 - (FP_1 / FP_2)^2 \} \quad (1) \quad [7]$$

O incremento do fator de potência de uma carga qualquer de 90% para 100%, incorre na redução de aproximadamente 20% das perdas elétricas no sistema. Conclui-se que a possibilidade de manter o fator de potência durante todo o ciclo da carga em 100% garantirá ao sistema sensível redução das perdas (ótima eficiência), além de garantir às cargas plenas condições operacionais. Ainda, em um ciclo de carga extremamente variável, só se conseguirá manter o fator de potência em 100%, na medida em que a injeção de reativos opere em tempo real com a variação da própria carga, evitando a sobre compensação e a sobre tensão associada.

#### *E - Aumento da capacidade da instalação*

Do ponto de vista de otimização de investimentos nas instalações, tanto na implantação como na operação, a potência aparente (kVA) de uma instalação deve ser tão próximo quanto possível da potência ativa (kW). Numa situação ideal kW=kVA. A injeção de reativo compensando aquele consumido pela carga, reduz investimentos nos equipamentos elétricos de um sistema elétrico, em função da redução da potência aparente e das correntes elétricas previstas. A seguir são detalhadas algumas aplicações típicas de sistemas de compensação em tempo real bem como suas vantagens operacionais.

### III-APLICAÇÕES

#### *A - Compensação de reativos na partida de motores*

O exemplo de aplicação mais elementar para a CRTR é a compensação de reativos na partida de motores. Como boa parte da elevação da corrente de partida e quedas de tensão associadas são consequência da corrente (e energia) reativa; a compensação em tempo real evita esse fenômeno, e os desligamentos intempestivos de cargas ligadas aos mesmos barramentos, ou mesmo da própria carga que se esta tentando partir.

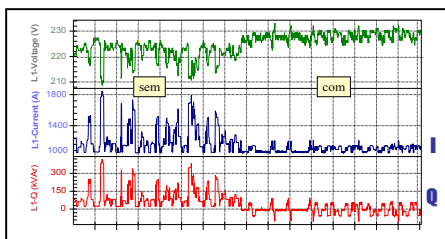
#### *B-Solda a ponto*

Os sistemas de soldas a ponto de larga aplicação nas indústrias automobilísticas e de bens duráveis, possuem linhas elétricas que alimentam diversas estações de solda. Como o uso das estações é aleatório, nem sempre que o agente de solda (operador ou robô) vai executar a operação, a tensão no equipamento é adequada devido a simultaneidade de uso com as outras estações naquela linha. Nesta situação, ou o próprio sistema evita que o agente efetue a ação, postergando a operação até que a qualidade da energia seja aceitável ou a solda é feita e sua qualidade pode não ser a mais adequada, devendo a operação ser refeita ou causando ainda o refugo da peça pelo controle de qualidade. Os afundamentos decorrentes das soldas simultâneas em várias estações ocasionarão perda de qualidade na solda, proporcionais ao quadrado da queda de

tensão. Uma queda de tensão de 10% incorrerá numa redução na potência entregue a estação de solda de 19%. A compensação reativa convencional não possui velocidade para responder no período em que a solda é executada (valores típicos entre 20 e 30 ciclos). Existem mudanças bruscas do consumo de reativos na rede e conseqüentes afundamentos de tensão. Simultaneamente os valores de THDI sobem consideravelmente. A inserção de bancos fixos poderia elevar dramaticamente a tensão em determinados instantes levando a queima precoce os próprios capacitores ou ainda comprometendo as estações de solda em operação, bem como seus dispositivos de controle associados [18].

Além do tempo extremamente rápido de operação desta carga, é comum a existência de sistemas de solda ligados entre duas fases ou fase e neutro, causando desbalanceamento significativo de fases e a necessidade de injeção de reativos em cada fase

Figura 3 – Monitoração das variáveis elétricas antes e após a CRTR



3 ilustra a monitoração das variáveis elétricas de uma instalação de soldas a ponto em que a compensação é inserida.

*C-Compensação de energia reativa no uso de geradores como fonte alternativa.*

Um dos requisitos para operação adequada de geradores em instalações elétricas comerciais e industriais é o cuidado com o fator de potência da carga. A curva de capacidade dos geradores define este range, e sob o ponto de vista prático se o gerador “enxergar” a carga capacitiva haverá sobre excitação e desligamento na seqüência. Não faltam “cases” de cargas capacitivas (mesmo que em curtos instantes) alimentadas por geradores, que causaram o desligamento da fonte.

No racionamento de energia do início desta década no Brasil, quando os geradores diesel foram bastante utilizados em geração suplementar, esta lição foi aprendida pelos mantenedores e operadores de instalações [17]. A situação de carga capacitiva ocorre quando a carga varia e a inércia dos bancos de capacitores convencionais não permite a manobra simultânea. Caso seja desejável que o gerador compartilhe a compensação reativa com a situação de alimentação pela rede, será necessária a implementação de sistema com velocidade de manobra adequada e até com valores de fator de potência de ajuste diferente para a condição “rede” e “gerador”. Caso contrário os capacitores deverão ser desligados durante a operação dos geradores. Observa-se ainda que com a mudança da fonte (transformador para gerador), a impedância da fonte é também modificada sendo necessário esta avaliação, do ponto de vista de ressonância, para a operação correta do sistema de compensação reativa. A CRTR possibilita a injeção do reativo e todas suas vantagens na proporção adequada em função da fonte (transformador ou gerador). A situação deve ser

avaliada em todas as possibilidades de perfil de carga incluindo eventual regime de “peak-shaving”, “backup”, geração localizada, geração com divisão de cargas e outras. A atual tendência de plantas de geração localizada em consumidores com capacidade para auto-produção como o setor sucro-alcooleiro é uma potencialidade de ganhos.

*D-Uso da compensação tempo real na solução dos afundamentos de tensão (“sag’s”)*

Os afundamentos de tensão são causados por razões internas das instalações (comportamento da própria carga), ou por razões externas no circuito de alimentação da concessionária. Das observações efetuadas em industriais e prédios comerciais pode-se constatar que a maioria dos afundamentos são causados por razões internas. A principal razão dos afundamentos de origem interna é a operação de cargas com alto consumo de energia reativa na partida e mesmo durante o regime de operação. Algumas destas cargas são as de transporte vertical e horizontal como os elevadores, guindastes, esteiras e pontes rolantes; equipamentos eletro médicos (raio X, ressonância e outros), equipamentos industriais como as injetoras, extrusoras, trefilas, misturadores, prensas, estações de soldas principalmente as de solda a ponto, fornos, compressores e outros equipamentos. Nota-se nestes casos a ocorrência de afundamentos da tensão, simultaneamente com o consumo da energia reativa. A injeção controlada da energia reativa evita ou atenua o fenômeno. Afundamentos ocorrem em tempos desde 1/2 ciclo (8 ms) a 1 minuto com variações da tensão desde 0,1 a 0,9 pu [2]; portanto caso se deseje prevenir os afundamentos com a compensação de reativos a manobra dos capacitores deve estar adequada a estes tempos típicos [7]. Caso contrário haverá sobre compensação de reativos e seus efeitos decorrentes, com o comprometimento da qualidade de energia.

*E - Compensação de flicker*

Entre diversas definições, o fenômeno também tratado por cintilação, ocorre quando a tensão de um sistema varia sucessivamente em tempos considerados como curtos. O fenômeno considera o valor do afundamento (em % da tensão de alimentação) e o número de vezes que ocorre numa determinada base de tempo. As ocorrências são então comparadas a valores aceitáveis. Em uma instalação que contenha lâmpadas incandescentes, o fluxo das mesmas varia conforme a tensão de alimentação e o fenômeno pode ser até visualmente constatado somente com a observação da variação da intensidade do “brilho” (fluxo luminoso) destas lâmpadas. A injeção de energia reativa no instante em que o fenômeno ocorre evita os afundamentos, prevenindo e atenuando o efeito dos mesmos.

*F-Compensação reativa tempo real em Média/Alta Tensão com uso de transformadores elevadores.*

A compensação reativa em média tensão prevê em geral o uso de sistemas fixos. A manobra de disjuntores ou chaves seccionadoras nestas condições podem gerar indesejáveis transientes de manobra relativos. O ajuste fino de injeção de reativos nestas situações fica comprometido. As aplicações mais freqüentes consideram um banco fixo na média tensão e o ajuste fino na baixa tensão. O uso de transformadores em conjunto com sistemas de compensação reativa tempo real, permite uma compensação reativa com ajuste fino na

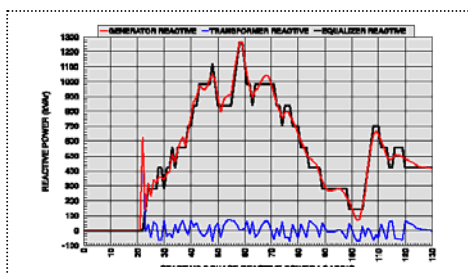
media/alta tensão com as mesmas vantagens de sistemas na baixa tensão. As justificativas técnicas para esta especificação consideram:

- Compensação de grupo de motores de Média Tensão
- Compensação de grupo de transformadores com primário em média/alta tensão.
- Sistemas de geração eólica, ver capítulo específico sobre o assunto na seqüência.
- Sistemas especiais, ferroviários e outros.
- Uso de capacitores e filtros construídos em 480V ou 690V aplicados em instalações 220V (com menor custo).

*G - O uso de compensação tempo real em sistemas de geração eólica*

A compensação de energia reativa nos turbo-geradores eólicos construídos com geradores assíncronos é também um importante ponto de aplicação para a CRTR, pois estes equipamentos consomem energia reativa sob todas as condições de carga e também durante as partidas que ocorrem durante qualquer instante do período normal de operação. As etapas que na seqüência são demonstradas

Figura 4- Medições de potências na partida



passo a passo ilustram a importância dos compensadores de energia reativa durante diversas etapas do processo. Os valores da

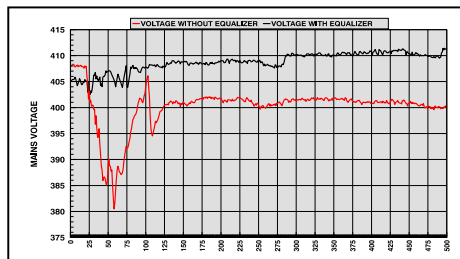
energia reativa de partida são extremamente altos, equivalendo numericamente algumas vezes, a própria potência nominal da turbina em kW. Esta energia reativa é sempre importada da rede elétrica [21].

*Regime de partida*

De forma a reduzir o impacto da conexão do gerador à rede, o procedimento de “start-up” da turbina é extremamente controlado. Depois da liberação dos rotores, existe um intervalo de tempo até que uma rotação suficiente seja alcançada. Neste momento os tiristores de partida da turbina começam a disparar em uma condição de partida suave reduzindo os impactos mecânicos e elétricos quando da conexão do gerador a rede. Neste período, da ordem de 30 a 35 ciclos de rede, a distorção de corrente é extremamente alta, com baixa presença ou até inexistência da corrente fundamental. O sistema de compensação de reativos próprio da turbina é desabilitado neste período, de forma a prevenir a amplificação da distorção e proteger o sistema de compensação de danos inevitáveis. Quando os tiristores completam a seqüência de conexão, (entre 1 e 2 segundos) o contator principal fecha, assumindo a operação no lugar dos tiristores, conectando a turbina a rede. O sistema de compensação de energia reativa da turbina é então habilitado. O impacto do alto consumo de energia reativa de partida (na rede) é considerável. A tensão cai dramaticamente e pode atingir níveis inaceitáveis. Esta situação é piorada

sensivelmente quando vários sistemas estão acoplados a uma mesma rede elétrica e partem simultaneamente. Apesar das turbinas serem equipadas com sistemas de compensação de energia reativa, estes são normalmente dimensionados para operação em regime e conforme exposto não operam no regime de partida. A aplicação de sistemas de compensação em tempo real permite a sensível redução da potencia reativa de partida do gerador, minimizando o efeito da corrente de partida. Observa-se durante os primeiros 30 a 35 ciclos, antes da manobra do contator principal que a corrente que atingira inicialmente pico de 600 A, chega a 1000 A nos próximos 25 ciclos. Esta corrente é praticamente reativa e com forte conteúdo de harmônicas. A corrente máxima ocorre quando o contator fecha (1200 A), neste ponto a potencia ativa começa a ser gerada e exportada para a rede. A aplicação da compensação em tempo real manterá no sistema somente a corrente relativa a potencia ativa, além das harmônicas geradas. Observa-se que após o primeiro ciclo de entrada em operação, a corrente nos primeiros 35 ciclos é reduzida para

Figura 5 - Tensões com e sem a CRTR



valores abaixo de 100 A, menos que 10% dos valores iniciais. No instante da manobra do contator os valores de corrente atingem a ordem de 500 A, 42% dos valores iniciais. Como seqüência, a tensão da rede, se mantêm em condições bem mais estáveis, com variações da ordem de apenas 2% a 3%, ver figura 5.

*Fator de potência e rendimento durante operação normal.*

O consumo de energia reativa em turbinas eólicas, depende da carga de saída do gerador. Os geradores podem operar em todas as condições de carga (0% a 125%). O fator de potência, varia inversamente com a potência de geração, isto é, nos períodos de baixa carga o sistema opera com baixo fator de potencia. Períodos de baixa carga (30% da carga) demandam 50% dos reativos demandados em condições de carga plena.

A compensação destes reativos nas condições clássicas com contadores manobrando capacitores possui as limitações já consideradas, isto é, a limitação própria do sistema convencional as flutuações da carga, e a necessidade dos capacitores serem descarregados para novo ciclo de operação. Estas limitações fazem com que, consideradas as premissas de compensação convencional, sejam instalados o dobro de capacitores do que aqueles inicialmente necessários, possibilitando o “rodízio” dos capacitores, permitindo seu descarregamento. Considera-se que durante a operação normal, o sistema de compensação convencional não consegue compensar as flutuações típicas da carga, obtendo-se uma seqüência de sobre e sub-compensações de energia reativa e seus reflexos diretos na tensão de fornecimento. Cita-se a condição em que a carga do sistema diminui e o sistema convencional não desliga o banco de capacitores, dando origem ao desligamento da turbina por instabilidade no sistema. A figura 4 mostra o registro das potencias ativas e

reativas de uma turbina de 1,3 MW operando em condições normais de regime, sem compensação de reativos.

A situação ideal, que é promovida pela compensação em tempo real, possibilita a compensação reativa ciclo a ciclo, mantendo o fator de potência em 100%. A corrente no transformador é basicamente devido a potência ativa e o gerador não consome reativo da rede.

Quanto maior for a presença dos sistemas eólicos nas redes de distribuição, mais exigentes serão as premissas operacionais das mesmas. O gráfico mostra que em quaisquer condições de carga o fator de potência será sempre unitário. Testes recentes indicam que em comparação a sistemas convencionais, a compensação tempo real pode ser incrementada em aproximadamente 3% com manutenção do fator de potência em 100%. A cada 30 turbinas, será disponibilizada a energia de uma outra adicional. O sistema ajuda também a manter a turbina operando mesmo em condições adversas na rede, atendendo as premissas das normas dinamarquesas e alemãs, quanto ao comportamento dos sistemas frente a anormalidades na rede elétrica em que os mesmos são conectados.

#### *H-Injeção de energia reativa no aumento da regulação de tensão*

A possibilidade do uso de sistemas de controle que injete reativo para o controle de tensão de distribuição é uma ferramenta disponível e que pode ser eficiente por parte de concessionárias, indústrias e outras instalações de grande porte. Ao contrário do algoritmo clássico de injeção de reativos que quando do baixo fator de potência solicita a conexão de capacitores; o algoritmo específico de regulação de tensão comanda a manobra de capacitores independente do fator de potência da carga, pois a premissa é atender a esta característica de qualidade de energia. Este sistema tem sido implementado com sucesso em locais supridos por turbinas eólicas compensadas (que possuem internamente sistemas de compensação reativa em tempo real) e que alimentam os “grids” das concessionárias. Apesar de originalmente o sistema de compensação reativa estar especificado para operação nos instantes de conexão das turbinas ao “grid” ou mesmo em regime quando a demanda de reativos da carga assim o exigia, a possibilidade da injeção de reativos no “socorro” ao sistema da concessionária trouxe grandes benefícios, com a injeção de reativos no controle de sub-tensões. O algoritmo com funções combinadas de controle de tensão e de fator de potência, ou simplesmente com controle de tensão, são excepcionais ferramentas.

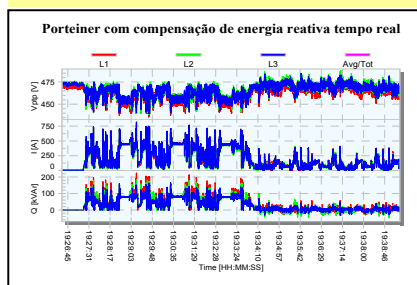
#### *I- Transporte vertical de cargas*

Guindastes em geral, especificamente os descarregadores de navios (ou “portainers” - específicos para descarregamento de containeres), com potencial de deslocamento de cargas de até 40 Toneladas, tem o acionamento de seus motores DC e CA por conversores (SCR's ou IGBT's) adequados. Estes equipamentos executam diversos movimentos seqüenciais, que do ponto de vista da rede elétrica e de suprimento de energia à carga possuem características bem distintas. Em determinado instante a carga consome da rede consideráveis valores de energia ativa e reativa, em movimento seguinte poderá haver uma regeneração da energia ativa para a rede, porém com consumo de reativo da rede (apesar da energia ativa ser injetada para a rede, a energia reativa é continuamente

consumida). Por conta do consumo elevado em curto espaço de tempo de energia reativa, o que se observa é uma pobre regulação de tensão. Por conta desta variação de reativos a diferença de tensão entre dois instantes muito próximos (ciclos) atinge valores da ordem de 10%. Além da velocidade de troca dos estados da carga, nota-se também a significativa presença das correntes harmônicas devido ao controle executado pelos conversores, sendo necessário se dotar o sistema de compensação com dispositivos que garantam a operação confiável e adequada.

O gráfico da figura 6 apresenta as medições de parâmetros elétricos de uma instalação típica sem e com compensação reativa.

Figura 6 : Comportamento das variáveis elétricas em portainers sem e com compensação reativa tempo real



Os elevadores aplicados em grandes prédios comerciais possuem varias concepções de construção de modo a garantir aos usuários velocidade e conforto. Nos últimos anos a eletrônica de potência possibilitou sensível evolução nos sistemas

elétricos dos elevadores. Os atuais elevadores possuem compactos sistemas de controle com o uso de inversores de frequência. Semelhantemente ao caso anterior os elevadores também apresentam rápidas variações de regime que influenciam significativamente na rede elétrica de alimentação.

#### *J-Prensas*

As prensas são equipamentos que possuem operação muito rápida, podem ser hidráulicas ou mecânicas. Nas hidráulicas existe um montante de energia reativa constante consumida pela bomba, sendo significativamente incrementado em pequenos intervalos quando o trabalho é executado pela prensa. Nas prensas mecânicas o que se observa é um consumo de energia reativa somente quando o trabalho é executado.

#### *K-Centrífugas em indústrias de açúcar e álcool*

O processo de centrifugação para a obtenção do açúcar nas indústrias de açúcar e álcool apresentam consumo variável de energia ativa e reativa. Como a variação da carga é muito rápida, a CRTR é uma forma bem interessante de se efetuar a compensação do reativo, acompanhando a forma de operação da carga. O uso de acionamentos estáticos nos equipamentos mais modernos inclui a presença das harmônicas em função do tipo do conversor aplicado (normalmente as 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> harmônicas relativas aos conversores de 6 pulsos).

#### *Pontes rolantes*

As pontes rolantes possuem processo de operação similar a dos guindastes, com vários motores sendo operados em combinação em função do serviço necessário. O que ocorre são partidas simultâneas de vários motores, consumindo porções de energia reativa diferentes a cada instante.

#### *L-Fornos a arco e de indução*

Os fornos de indução e a arco possuem comportamento dependente do tipo de carga, e conseqüentemente do tempo em que são operados, recarga do forno, tamanho, processo, etc. A variação de carga elétrica é sensível, e não linearidade da mesma forma, refletindo no consumo de reativos e características de distorção harmônica destas cargas.

#### *M-Injetoras*

As injetoras têm o propósito de produzir normalmente materiais de compostos plásticos a partir de matéria prima que aquecida pela maquina é injetada formando o material. O consumo de energia reativa da maquina varia de acordo com a etapa do processo. Um grupo de injetoras tem um comportamento do ponto de vista de consumo de energia reativa bastante variável, dependendo da diversidade dos ciclos das diversas maquinas operando.

#### *N-Formação de Baterias automotivas*

O processo de formação de baterias do tipo automotivo depende da alimentação destas por sistemas de retificadores que as carregam. O fator de potencia dos retificadores normalmente é baixo, e de forma a minimizar o investimento em subestações a CRTR com os devidos cuidados com as harmônicas é uma solução indicada e de muito bom resultado.

#### *O-Sistemas ferroviários*

Sistemas elétricos ferroviários são compostos por complexas combinações de equipamentos e sub-sistemas, desde a alimentação primaria, transformação e distribuição da energia para as composições ou trens propriamente ditos. O que ocorre na maioria dos sistemas, é a condição de subestações elétricas distribuídas ao longo do percurso. A especificidade deste sistema é que conforme a composição avança fisicamente entre duas subestações, a carga fornecida por estas subestações para a composição é proporcional a proximidade desta composição(trens) as mesmas. A medida que o trem deixa uma estação que possui uma subestação elétrica, a carga vai progressivamente diminuindo, aumentando na mesma proporção da estação para onde o trem se dirige. A implementação da CRTR permite que o reativo da carga seja compensado conforme necessário alem de outras compensações necessárias como as capacitâncias das linhas. A isenção de transientes é fundamental em função dos sistemas de sinalização alem do correto tratamento das harmônicas.

#### *P - Equipamentos de Tecnologia de Informação (TI:)*

As cargas TI (tecnologia de informação) são sensíveis a variações da qualidade da energia, a curva ITIC[3] define os parâmetros aceitáveis quanto a desvios da tensão nominal e tempos associados. Sua sensibilidade aos fenômenos de qualidade de energia deve ser considerada e a isenção de transientes promovida pela CRTR é um ponto importante a ser tratado.

#### *Q-Equipamento eletro médicos*

Os eletro médicos (ressonância magnética, raio X e similares) possuem característica operacional pulsante A compensação reativa deve ser rápida o suficiente para compensar a entrada destas cargas e principalmente a retirada dos capacitores após o desligamento, pois a sobre compensação reativa proporciona condições a ocorrência de sobre tensões e flicker.

#### *R-Compressores e sistemas de refrigeração*

Compressores de ar e de sistemas de refrigeração e de ar condicionado podem possuir ciclo de carga variável em um ou

em grupos de equipamentos. Se acionados por conversores, a característica de correntes harmônicas também deve ser levada em conta.

#### IV-CONCLUSÃO:

A compensação reativa tempo real é uma poderosa ferramenta, sendo capaz de reduzir perdas elétricas, operacionais e de produção, sendo o investimento plenamente justificado.

O uso de capacitores em instalações elétricas sem a consideração e tratamento de determinadas condições operacionais, o tornam nocivos a estas instalações a tal ponto de ser melhor a não utilização dos mesmos.

#### V-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1]-Dugan, Roger C.; McGranaghan ,Mark F.;Beaty, H.Wayne – Electrical Power Systems Quality
- [2]-Dias, Guilherme Alfredo Dentzien – Harmônicas em sistemas industriais
- [3]IEEE 1159-Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
- [4]IEEE 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- [5]IEEE 1100-Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment
- [6]IEEE 141-1993-Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants
- [7] Nizemlat, Pol – ELSPEC; General Overview of Harmonics in Power Networks with PFC Capacitors
- [8]Moreno, Hilton; Starosta, José –Apostila de curso Harmonicas em Instalações Elétricas; Barreto Engenharia
- [9]Starosta, José – Avaliação de perdas nas instalações elétricas industriais-Enershow 2001
- [10]Ação Engenharia e Instalações Ltda.- relatórios técnicos de medições de parâmetros elétricos
- [11]Ação Engenharia e Instalações Ltda. – Sistemas de Compensação de Energia Reativa
- [12]Elspec Ltd- Fast Response, transient free, Reactive Power Compensation systems
- [13]Wodrick, Rudy T.- Compensation Systems for Welding Applications
- [14]ANEEL – Resolução 456
- [15]Starosta, José- Distorções harmônicas:Evolução histórica e avaliação de casos práticos - Revista EM março/99
- [16] Starosta, Jose – Compensação de Energia reativa em instalações de grande porte; revista Eletricidade Moderna Julho /2002
- [17] Starosta, Jose –Mas afinal para que servem os capacitores em instalações elétricas de BT- Revista Setor Elétrico Fevereiro, Maio e Junho /2006.
- [18] Starosta, Jose –Qualidade de Energia nos processos industriais e produtividade- Revista Setor Elétrico Outubro de 2006.
- [19]-Freitas Jr, Nosor; Starosta, Jose - Aplicação de compensação reativa em terminal de containeres; revista Eletricidade Moderna Abril/2003
- [20]- O.N.S. “Sub módulo 2.2” - Padrões de Desempenho da Rede Básica
- [21]- Elspec Ltd- Equalizer controls 3 voltage levels and 4 different parameters-win power applications

#### VI-SOBRE O AUTOR

Nascido em 30/09/59,Engenheiro Eletricista pela Escola de Engenharia Mauá em 1982, Mestre em engenharia pela Escola Politécnica USP em 1998. Diretor de Engenharia da Ação Engenharia e Instalações Ltda desde 1993. Diretor da ABESCO e membro do IEEE. Áreas de Interesse: Instalações elétricas, Qualidade de Energia e Eficiência energética.