



Por que explodem os capacitores em instalações elétricas?

Eng. Jose Starosta, Msc
jstarosta@acaoenge.com.br

Os capacitores aplicados em instalações elétricas apresentam uma série de benefícios e estão cada vez mais presentes nas mesmas. As principais justificativas estão associadas a necessidade de regulação de tensão, qualidade de energia, redução das perdas elétricas, aumento da capacidade dos transformadores e circuitos e pela compensação do fator de potência com a consequente isenção da cobrança de energia reativa excedente pelas concessionárias.

A norma IEC 831-1 para capacitores até 660 V, especifica os limites de atendimento dos capacitores, em outras palavras até onde os capacitores podem suportar as condições operacionais impostas pelas instalações em que são inseridos e quanto perdem em vida útil por isso.

De uma forma geral os aspectos e variáveis que contribuem para a queima, ou redução da vida dos capacitores são:

- Temperatura de Operação
- Tensão de Operação
- Correntes de operação
- Condições de Manobra
- Efeitos externos

Ainda, sob o ponto de vista da integridade da instalação elétrica deverão ser considerados os pré-requisitos no dimensionamento e construção dos circuitos e componentes de alimentação de um capacitor ou banco de capacitores.

Notar que capacitores operando em condições adequadas possuem uma vida estimada em até 130.000 horas, isto é, mais de 15 anos operando sem interrupção. Portanto a prática da substituição de capacitores da mesma forma como se substituem lâmpadas incandescentes é no mínimo imprudente, sem que as causas destas queimas sejam avaliadas.

Passamos a analisar cada uma das variáveis acima especificadas:

a) Temperatura de Operação:

De acordo com a IEC 831, os capacitores possuem as categorias de temperatura B, C e D, ilustradas na tabela 1. Representam as condições extremas de regime de operação.

| Categoria de temperatura | Temperatura Máxima Absoluta | Temperatura Média Máxima em 24 horas | Temperatura Média Máxima em 365 dias |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| B | 45°C | 35°C | 25°C |
| C | 50°C | 40°C | 30°C |
| D | 55°C | 45°C | 35°C |

Tabela 1 – Limites máximos de temperatura ambiente dos capacitores conforme IEEE 831-1 [1]

A operação de capacitores em temperaturas superiores as especificadas reduzirão sua vida útil; tipicamente um aumento de 7°C reduzirá a vida estimada do capacitor em 50%.

Para que os capacitores sejam mantidos nas condições indicadas na tabela 1, são necessários alguns cuidados, como:

-Instalação de capacitores em locais ventilados em com temperatura ambiente adequada

-Quando inseridos em painéis, os mesmos deverão apresentar condições térmicas adequadas.

-Quando aplicados junto a indutores ou barramentos na construção de filtros, a troca de calor necessária não deverão influenciar o ambiente em que os capacitores estão instalados.

b) Tensão de Operação:

A tensão de operação é outro importante cuidado a ser tomada objetivando a integridade dos capacitores. A tabela 2 exprime estes limites.

| Sobre tensão | duração | Observações |
|--------------|--------------------|--------------------------------------|
| 0% | 24 horas por dia | Contínuo |
| 10% | 8 horas por dia | Incluindo harmônicas |
| 15% | 30 minutos por dia | Livre de Harmônicas |
| 20% | 5 minutos | 200 ocorrências na vida do capacitor |
| 30% | 1 minuto | |

TABELA 2 – LIMITES DE TENSÃO DE OPERAÇÃO CONFORME IEC 831

Alguns fabricantes especificam limites próximos aos expostos da tabela 2, mas a conceituação é a mesma, isto é, a pequenas variações de tensão acarretam desproporcional redução da vida útil.

Diante deste fato, vale a pena considerar em quais circunstâncias os capacitores podem ser submetidos à tensões superiores as nominais

-Ajuste do TAP do transformador acima dos valores nominais

Esta prática comum em industriais tem por objetivo garantir valores de tensões mínimas de operação em casos de operação de cargas com características de alta corrente de partida, muitas vezes incompatíveis com a própria fonte (transformador), ou ainda quando a fonte apresenta baixa regulação de tensão. A fim de se evitar a ocorrência de valores de tensão abaixo daqueles tolerados pelas cargas, assume-se a operação em tensões superiores a nominal, aumentando as perdas elétricas e reduzindo-se significativamente a vida dos capacitores e equipamentos alimentados pelo sistema.

Por outro lado, motores alimentados com tensão superior a nominal consomem mais energia reativa durante sua operação, solicitando a conexão de mais capacitores em caso de bancos automáticos. Os capacitores por sua vez aumentam a tensão de operação do sistema na relação aproximada da sua própria capacidade, relacionada as potências e impedâncias do transformador. Ou seja, e até ironicamente, a inserção dos capacitores nesta situação aumentará ainda mais a tensão, agravando a já complicada situação.

-Sobretensão por Ressonância

A ocorrência de ressonância harmônica decorrente da passagem de correntes harmônicas nos capacitores, (tratado em tópico na seqüência), culmina na ocorrência de sobre tensões em todo o sistema (transformador, carga e capacitores) com valores bem acima daqueles tipicamente esperados quando o sistema possui uma compensação adequada de reativos.

Ao invés das ocorrências típicas de sobre tensões de 1% a 2% a ocorrência de ressonância leva estes valores maiores que 6%, sem limitação de valores.

Portanto registros de tensões de operação muito acima das nominais, após a energização de capacitores é um sinal importante da ocorrência de ressonância.

c) Correntes nos capacitores

Como dispositivos passivos e com impedância característica, os capacitores devem responder ao sinal de tensão (no caso em questão tensão alternada) a que são submetidos, desenvolvendo correntes típicas e características.

Como por construção as capacitâncias dos capacitores apresentam tolerâncias e desvios permitidos, a corrente nos capacitores são também função destas variações além das possíveis variações de tensão de alimentação.

Correntes superiores àquelas máximas permitidas, darão início a um processo de aquecimento interno, incorrendo em redução de vida útil. A relação entre a corrente máxima e nominal dos capacitores varia em função da construção, potência e configuração das células capacitivas da montagem dos capacitores, podendo atingir valores de 30% a 60%. Contudo as causas da sobre corrente verificada deve ser pesquisada.

-influências externas:

Estes parâmetros de operação dos capacitores devem ser considerados quando do dimensionamento dos componentes de alimentação dos mesmos (dispositivos de manobra, proteção, circuito, etc). Recomenda-se considerar como corrente nominal do circuito de alimentação dos capacitores aquela máxima especificada pelo fabricante, ou na ausência da mesma a aplicação de coeficientes de correção adequados.

Em casos de tensões acima das nominais, as correntes também serão incrementadas.

Por outro lado, a especificação de capacitores com tensões nominais maiores que as de operação, comprometerá a injeção de energia reativa, na proporção do quadrado da relação das tensões de operação e nominais dos capacitores.

d)ressonância harmônica

Em sistemas industriais existem duas possibilidades de ressonância harmônica, a ressonância série e a paralela. Ambas causam a circulação de correntes em frequências diferentes da frequência fundamental nos capacitores, causando aquecimento, sobre tensões e levam os capacitores a queima.

As harmônicas são geradas pelas cargas não lineares, que são aquelas que operam com correntes de diversas frequências além da frequência fundamental

(no Brasil 60 Hz). O acionamento de um motor por inversor de frequência típico de 6 pulsos apresenta a presença de correntes em 60 Hz (frequência fundamental), 300Hz (chamada de 5^a harmônica), 420 Hz (7^a harmônica), 660 Hz (11^a harmônica), e outras harmônicas com menor intensidade. A identificação da presença destas correntes harmônicas em uma instalação só é possível mediante a medição com equipamento específico.

Da mesma forma que a medição clássica de variáveis elétricas, deve-se definir se a medição será instantânea (caso de cargas com perfil constante) ou ao longo do tempo (perfil de carga) e ainda qual a resolução desta medição.

A instalação de capacitores em sistemas elétricos que alimentam cargas não lineares (conversores AC citados, retificadores, sistemas de iluminação, fornos, prensas, sistemas de soldas, cargas de informática (IT) entre outras) deve ser precedida de uma análise do comportamento desta rede quando da instalação dos capacitores. A implantação de capacitores em uma rede elétrica tipicamente indutiva incorre em uma frequência de ressonância que é função da potencia de alimentação (impedância da fonte) e da potencia reativa a ser implementada.

Caso uma das correntes harmônicas presentes nesta instalação estiver próxima e esta frequência de ressonância, ocorrerá o fenômeno chamado de ressonância que pode ser tratado como a penetração de correntes harmônicas nos capacitores, causando a queima dos mesmos além de fenômenos indesejados como sobre tensão e aumento da distorção de tensão na rede entre outros.

O fenômeno de ressonância é classicamente modelado em circuitos RLC, considerando-se a componente RL da rede elétrica de alimentação e a componente capacitiva dos próprios capacitores.

A ressonância série ocorrerá com a circulação de correntes harmônicas no circuito série formado pelo transformador e capacitor, com fonte externa de correntes harmonicas; como a limitação de corrente é só devida a resistência do circuito, é de se esperar altos valores de corrente circulando pelos componentes.

A ressonância paralela considera o circuito paralelo formado pelo transformador e pelos capacitores e a carga não linear também conectada em paralelo, de forma que a corrente harmônica da carga circule nos capacitores causando sua deterioração.

Alguns casos apontam para a ocorrência de ressonância de diferentes formas. Os bancos automáticos convencionais, que manobram células capacitivas, variam a cada manobra a capacitância do sistema, podendo em uma delas causar

ressonância. Alguns casos reportados dão conta da ocorrência de ressonância em instalações existentes após o aumento de carga, ou seja, na medida em que o banco automático aumenta a capacitância do sistema. A ressonância ocorre, mesmo que muito tempo após o start-up da planta. Outra possibilidade ocorre quando a rede de alimentação é modificada e a componente RL em geral diminui, devido ao aumento da potência de curto-circuito.

A ligação de capacitores com geradores em sistemas de back-up também apresenta problemas, uma vez que os geradores possuem limitação em alimentação de cargas capacitivas e a mudança de impedância da rede pode também causar ressonância.

e) Transientes de manobra de capacitores

Os transientes elétricos gerados por manobra de capacitores é um dos mais conhecidos e documentados. A condição de manobra conhecida por “back to back” é reportada na citada norma IEEE 1159. A inserção de capacitores instalados em bancos, na condição em que algumas células já estejam energizadas gera correntes de “in rush” elevado causando severos efeitos na tensão de alimentação deste sistema. Algumas soluções paliativas têm sido introduzidas, contudo a solução definitiva é a aplicação de manobra dos capacitores na condição chamada de “zero crossing” isto é, os capacitores são desligados do sistema elétrico quando suas correntes passam por zero e a conexão também é efetuada em condição específica isentando a rede dos transientes nas duas condições de manobra. Esta possibilidade é típica de manobra de capacitores por tiristores ou IGBT, e aplicada nos equipamentos de compensação de energia reativa tempo real, que possuem manobra por elementos semi-condutores, com precisão na manobra e tempo de comutação bastante reduzidos.

Capacitores manobrados por contatores, são passíveis de re-energização em carga comprometendo os elementos de manobra e os capacitores, além de causar transientes na rede. Este fenômeno chamado também de “repique” é comum e ocorre quando alguma falha na tensão de alimentação dos contatores faz com que os mesmos em manobra instantânea desliguem e voltem a energizar os capacitores ainda em carga, com sérios comprometimentos.

Manobras acidentais de capacitores pré-energizados ou pré-carregados devem ser evitadas.

f) A solução para os fenômenos acima descritos deve atender os pontos:

-criteriosa medição e diagnóstico que atenda as premissas de análise do perfil de carga, incluindo as harmônicas com período de avaliação adequado bem como quanto a resolução da medição.

-Implementação de sistemas anti-ressonantes com reatores adequados e de boa procedência quando da presença das harmônicas. Análise de condições de ressonância e respostas do sistema elétrico em todas as condições de operação.

-Sistemas que possuam adequados dispositivos de manobra associados aos capacitores ou conjuntos capacitores e reatores. Atualmente são disponíveis modernos sistemas que manobram os capacitores por tiristores, com tempos de resposta extremamente curtos compatíveis aos períodos de operação de cargas extremamente variáveis.

-A isenção de transientes de manobra de capacitores também tem sua implementação viabilizada com a manobra efetuada com dispositivos semi-condutores.

Conclusão:

O uso de capacitores de forma adequada em sistemas elétricos industriais é um poderoso recurso de redução de perdas, eficiência energética e incremento da qualidade de energia e conseqüente aumento da produtividade.

Por outro lado o uso dos mesmos 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.



Bibliografia:

IEC 831

NBR5410

IEEE 519

IEEE 1159

Elspec Ltd - Technical Report

Elspec Ltd- Catalogo técnico

Ação Engenharia e Instalações – Relatórios técnicos

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

Catalogo técnico: Electronicon

Catalogo técnico:TLA