

Capítulo IV

Variações de tensão de longa duração

Por Gilson Paulilo e Mateus Duarte Teixeira*

Dos problemas relacionados às variações na tensão, citamos os efeitos de longa duração por um período superior a um minuto, sendo, portanto, consideradas como distúrbios de regime permanente que podem ser caracterizados como desvios que ocorrem no valor eficaz da tensão, na frequência do sistema. Estas variações podem estar associadas a sobre ou subtensão e a faltas sustentadas. No caso de sobre ou subtensão, geralmente, não resultam de falhas do sistema, mas são causadas por variações na carga e/ou operações de chaveamento sobre ele. Tais variações são tipicamente apresentadas e analisadas como gráficos do sinal de tensão (RMS – root meansquare) versus o tempo.

As variações de tensão de longa duração são causadas por variações de carga ou por perda de interligações no sistema elétrico e são classificadas em sobretensão, subtensão e interrupção sustentada. A seguir será analisado cada um destes eventos.

Sobretensões

Podemos designar uma sobretensão como sendo um aumento no valor eficaz da tensão CA, maior do que 110% (valores típicos entre 1,1 pu e 1,2 pu) na frequência do sistema, por uma duração maior do que 1 minuto. Sobretensões usualmente resultam do desligamento de grandes cargas ou da energização de um banco de capacitores. Taps

dos transformadores incorretamente conectados também podem resultar em sobretensões no sistema.

Variações de tensão de longa duração incluem as variações normais de tensão do dia a dia, como as variações causadas pela variação da carga e pelos equipamentos de regulação (mudanças de taps, reguladores de tensão, banco de capacitores, etc.). Estas variações são tipicamente caracterizadas pela plotagem dos perfis de tensões em relação a longos períodos de tempo, como 24 horas (veja a Figura 1).

Geralmente, são instalados nas indústrias bancos de capacitores, normalmente fixos, para correção do fator de potência ou mesmo para elevação da tensão nos circuitos internos da instalação. Nos horários de ponta, quando há grandes solicitações de carga, o reativo fornecido por estes bancos é desejável. Entretanto, no horário fora de ponta, principalmente no período noturno, tem-se um excesso de reativo injetado no sistema, o qual se manifesta por uma elevação da tensão.

Com relação às consequências das sobretensões de longa duração, estas podem resultar em falha dos equipamentos. Os dispositivos eletrônicos podem sofrer danos durante condições de sobretensões, embora transformadores, cabos, disjuntores, TCs, TPs e máquinas rotativas, geralmente, não

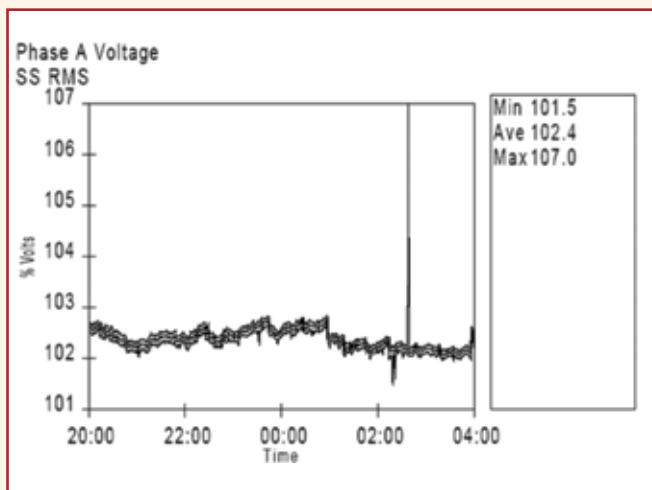


Figura 1 – Exemplo ilustrando o perfil da tensão para uma variação de longa duração.

apresentem falhas imediatas. Entretanto, tais equipamentos, quando submetidos a repetidas sobretensões, poderão ter a sua vida útil reduzida. Relés de proteção também poderão apresentar falhas de operação durante as sobretensões. Uma observação importante diz respeito à potência reativa fornecida pelos bancos de capacitores, que aumentará com o quadrado da tensão, durante uma condição de sobretensão.

Dentre algumas opções para a solução de tais problemas, destaca-se a troca de bancos de capacitores fixos por bancos

automáticos, tanto em sistemas das concessionárias como em sistemas industriais, possibilitando um maior controle do nível da tensão e a instalação de compensadores estáticos de reativos.

Subtensões

Já a subtensão apresenta características opostas, sendo que agora um decréscimo no valor eficaz da tensão AC para menos de 90% na frequência do sistema é caracterizado também com uma duração superior a 1 min.

As subtensões são decorrentes, principalmente, do carregamento excessivo de circuitos alimentadores, os quais são submetidos a determinados níveis de corrente que, interagindo com a impedância da rede, dão origem a quedas de tensão acentuadas. Outros fatores que contribuem para as subtensões são: a conexão de cargas à rede elétrica, o desligamento de bancos de capacitores e, conseqüentemente, o excesso de reativo transportado pelos circuitos de distribuição, o que limita a capacidade do sistema no fornecimento de potência ativa e, ao mesmo tempo, eleva a queda de tensão.

A queda de tensão por fase é função da corrente de carga, do fator de potência e dos parâmetros R e X da rede. Dessa forma, pode-se concluir que aqueles consumidores mais distantes da subestação estarão submetidos a menores níveis de tensão. Além disso, quanto menor for o fator de potência, maiores serão as

perdas reativas na distribuição, aumentando a queda de tensão no sistema.

Para evidenciar a influência do fator de potência na tensão, a Figura 2 ilustra o perfil de tensão ao longo de um alimentador.

Dentre os problemas causados por subtensões de longa duração, destacam-se:

- Redução da potência reativa fornecida por bancos de capacitores ao sistema;
- Possível interrupção da operação de equipamentos eletrônicos, tais como computadores e controladores eletrônicos;
- Redução de índice de iluminação para os circuitos de iluminação incandescente;
- Elevação do tempo de partida das máquinas de indução, o que contribui para a elevação de temperatura dos enrolamentos; e
- Aumento nos valores das correntes do estator de um motor de indução quando alimentado por uma tensão inferior à nominal. Desta forma, tem-se um sobreaquecimento da máquina, o que certamente reduzirá a sua expectativa de vida útil.

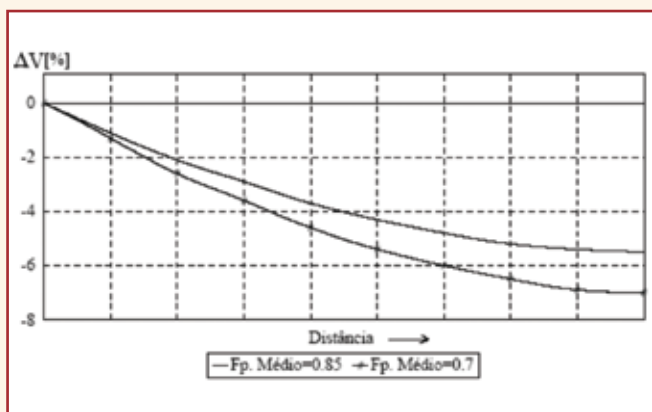


Figura 2 – Perfil de tensão ao longo de um alimentador em função do fator de potência

Como solucionar problemas de VTLDs

Para minimizar estes problemas, as medidas corretivas geralmente envolvem uma compensação da impedância Z ou a compensação da queda de tensão causada pela impedância.

As opções para o melhoramento da regulação de tensão são:

- Instalar reguladores de tensão para elevar o nível da tensão;
- Instalar capacitores shunt para reduzir a corrente do circuito;
- Instalar capacitores série para cancelar a queda de tensão indutiva;
- Instalar cabos com bitolas maiores para reduzir a impedância Z ;
- Mudar o transformador de serviço para um de capacidade maior, reduzindo, assim, a impedância Z ; e
- Instalar compensadores estáticos de reativos, os quais têm os mesmos objetivos que os capacitores, para mudanças bruscas de cargas.

Existe uma variedade de dispositivos usados para regulação de tensão. Tais dispositivos são tipicamente divididos em três classes:

- Transformadores de tap variável: Existem transformadores de tap variável com acionamento mecânico ou eletrônico. A maioria destes é do tipo autotransformador, embora existam numerosas aplicações de transformadores de dois e três enrolamentos com comutadores de tap. Os do tipo mecânico são para cargas que variam lentamente, enquanto os eletrônicos podem responder rapidamente às mudanças de tensão;
- Dispositivos de isolamento com reguladores de tensão independentes: dispositivos de isolamento incluem sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply), transformadores ferroressonantes (tensão constante), etc. Estes são equipamentos que isolam a carga da fonte de suprimento por algum método de conversão de energia. Assim, a saída do dispositivo pode ser separadamente regulada e manter constante a tensão, desprezando as variações provenientes da fonte principal;
- Dispositivos de compensação de impedância: Capacitores shunt ajudam a manter a tensão pela redução da corrente de linha ou pela compensação de circuitos indutivos. Estes capacitores podem ser fixos ou chaveados dependendo do tipo e da necessidade do sistema. Capacitores em série são relativamente raros, mas são muito úteis em algumas cargas impulsivas como britadeiras, etc. Estes capacitores compensam grande parte da indutância dos sistemas. Se o sistema é altamente indutivo, a impedância é significativamente reduzida. Se o sistema não é altamente indutivo, mas tem uma alta proporção de resistência, os capacitores série não serão muito efetivos. Compensadores estáticos de reativos podem ser aplicados tanto em sistemas das concessionárias como industriais. Eles ajudam a regular a tensão pela rápida resposta ao suprir ou consumir energia reativa. Existem três tipos principais de compensadores estáticos de reativos: o reator controlado a tiristor, o capacitor chaveado a tiristor e o reator a núcleo saturado. Estes equipamentos são muito usados em cargas geradoras de flutuações (flicker), tais como fornos a arco e em outras cargas que variam randomicamente.



Figura 3 – Reator a núcleo saturado.

Interrupções sustentadas

Quando o fornecimento de tensão permanece em zero por um período de tempo que excede um minuto, a variação de tensão de longa duração é considerada como uma interrupção sustentada. As interrupções maiores do que um minuto são geralmente permanentes e requerem intervenção humana para reparar e retornar o sistema à operação normal no fornecimento de energia.

As interrupções sustentadas podem ocorrer de forma inesperada ou de forma planejada. A maioria delas ocorre inesperadamente e as principais causas são falhas nos disjuntores, queima de fusíveis, falha de componentes de circuito alimentador, etc. Já as interrupções planejadas são feitas geralmente para executar manutenção na rede, ou seja, serviço como troca de cabos e postes, mudança do tap do transformador, alteração dos ajustes de equipamentos de proteção, etc.

Seja a interrupção de natureza inesperada e/ou sustentada, o sistema elétrico deve ser projetado e operado de forma a garantir que:

- O número de interrupções seja mínimo possível;
- Uma interrupção dure o mínimo possível; e
- O número de consumidores afetados seja pequeno.

Ao ocorrer uma falta de caráter permanente, o dispositivo de proteção do alimentador principal executa três ou quatro operações na tentativa de se restabelecer o sistema, até que o bloqueio definitivo seja efetuado. A duração desta interrupção pode atingir de

vários minutos a horas (em média 2 horas), dependendo do local da falta, do tipo de defeito na rede e também da operacionalidade da equipe de manutenção. Em redes aéreas, a localização do defeito não demora muito tempo, ao passo que em redes subterrâneas necessita-se de um tempo considerável, o que contribui para o comprometimento da qualidade do fornecimento. Entretanto, a probabilidade de ocorrer uma falta em redes subterrâneas é muito menor do que em redes aéreas.

**GILSON PAULILO é engenheiro eletricista, com mestrado e doutorado em qualidade de energia elétrica pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente, é consultor tecnológico em energia no Instituto de Pesquisas Eldorado, em Campinas (SP). Sua atuação é voltada para áreas de qualidade de energia elétrica, geração distribuída, eficiência energética e distribuição.*

MATEUS DUARTE TEIXEIRA é engenheiro eletricista e mestre em sistemas de potência - qualidade de energia elétrica. Atua há mais de dez anos em projetos de tecnologia aplicada ao setor elétrico nas áreas de qualidade da energia, geração distribuída, eficiência energética e proteção de sistemas elétricos para empresas do setor.

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atituedeeditorial.com.br