

Boletim dos Engenheiros

volume 35–1

• informações para projetistas do sistema HVAC da atualidade

as aparências podem enganar Como os VFDs afetam o dimensionamento do gerador

do editor...

Soluções de energia distribuída, como conjuntos motor-gerador (também conhecidos como “grupos geradores” ou simplesmente “geradores”) são cada vez mais comuns como um meio para os gerentes de instalações e proprietários de edifícios fornecerem energia de emergência, reduzirem a dependência da rede elétrica e obterem controle sobre os custos de energia.

Os avanços na tecnologia acessível de controle microeletrônico criam mais oportunidades para economizar energia e reduzir os custos operacionais das instalações. Um dos avanços mais empolgantes é o VFD (inversor de frequência variável), que regula a velocidade do motor para corresponder à quantidade de trabalho necessária. Os motores em um sistema HVAC (ventiladores, bombas e compressores, que representam, coletivamente, cerca de um terço do consumo de energia de um edifício) raramente funcionam a plena carga; portanto, o potencial de economia de energia durante a vida útil do sistema pode ser significativo. Os VFDs também podem reduzir

a corrente de partida de um motor para menos do que os amperes a plena carga, não apenas reduzindo a demanda de pico de energia do edifício, mas também implicando possíveis economias de custo inicial.

Menos evidente é o efeito da operação do VFD no sistema de distribuição elétrica. Os VFDs (e outros dispositivos controlados microeletronicamente) introduzem variações de tensão e frequência que afetam a qualidade da energia — variações que são ampliadas quando a fonte de energia é um gerador em vez de uma rede elétrica. Evitar que essas variações interrompam a operação do equipamento requer uma compreensão prática dos problemas de distribuição elétrica e características de carga, bem como atenção cuidadosa ao dimensionamento do gerador.

Este artigo analisa a diferença entre energia de rede elétrica e energia de gerador, e descreve como os VFDs afetam o sistema de distribuição elétrica. Ele também identifica táticas que podem promover aplicações bem-sucedidas de gerador-VFD.

Baixa impedância é bom — mais mudanças podem ser absorvidas com menos impacto prejudicial. A impedância do sistema está relacionada à “rigidez” ou à “suavidade” da fonte de alimentação.

A rede elétrica pública fornece energia “rígida”

A enorme capacidade da rede de energia elétrica, sua baixa impedância e sua alta inércia mecânica a tornam uma fonte de energia rígida. A inércia mecânica é resultado dos milhões de toneladas de aço e cobre girando na forma de turbinas, volantes de motores e alternadores.

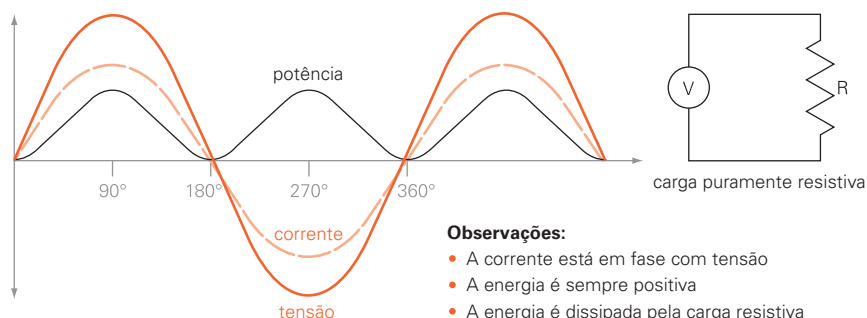
Cada carga de motor, seja de uma bomba de 30 kW ou um chiller de 500 kW, representa apenas uma pequena porcentagem da capacidade da rede; a inércia mecânica na rede mais do que compensa o efeito elétrico transiente causado pela partida de qualquer um desses motores. O aumento do consumo de energia pode criar uma queda de tensão temporária que é “sentida” localmente por outras cargas no edifício. Mas a capacidade relativa dos geradores

Inércia e qualidade da energia

Para a maioria de nós, “qualidade da energia” é um conceito vago. Sabemos que é definida, em parte, pelo nível de distorção da forma de onda senoidal para tensão e corrente CA. (Figura 1). O quanto de distorção uma carga específica causa está relacionado à sua característica de uso da energia, à localização dessa carga em relação a outras cargas conectadas e à impedância do sistema de distribuição elétrica da instalação.

Pense na impedância como a oposição à mudança no fluxo de energia em um circuito CA. Um sistema com baixa impedância pode reagir rapidamente a mudanças na demanda por energia.

Figura 1. Tensão de CA e ondas senoidais da corrente



elétricos permite que a rede forneça tensão estável a uma frequência constante para outras cargas.

Os geradores proporcionam energia “suave”. Ao contrário de uma rede elétrica, um sistema alimentado por gerador é pequeno, medido em centenas de quilowatts em vez de milhares de megawatts, portanto, a inércia mecânica e elétrica são muito inferiores também. Agora, cada carga representa uma porcentagem significativa da capacidade do gerador, o que significa que menos inércia está disponível para anular distorções elétricas induzidas pela carga. Dada a alta impedância característica de uma fonte de energia de gerador, um critério importante ao dimensionar um gerador é fornecer capacidade suficiente para minimizar as quedas de tensão e frequência quando cargas grandes entram na linha.

Cargas elétricas

Um dispositivo que usa eletricidade é uma carga elétrica. As cargas podem ser categorizadas de várias formas, dependendo de quando são usadas (para serviço normal ou emergencial), como são usadas (contínua ou não contínua) e sua importância relativa à instalação (essencial, não essencial ou ininterrupta). As cargas também podem ser categorizadas por suas características de consumo de corrente.

As *cargas lineares* consomem a corrente de modo uniforme e proporcional à tensão durante todo o ciclo de trabalho; a forma de onda senoidal da potência de entrada permanece intacta. Os exemplos incluem iluminação incandescente, aquecedores de resistência e motores de indução.

As *cargas não lineares* distorcem as formas de onda de corrente e tensão originais, extraíndo corrente em pulsos instantâneos que são desproporcionais à tensão. Os exemplos incluem os semicondutores em inversores de frequência, fontes de alimentação ininterrupta e equipamentos de computação; e os equipamentos de núcleo magnético saturado em luzes fluorescentes e alguns transformadores.

Como os VFDs afetam uma fonte de energia

Para entender por que cargas não lineares — e VFDs especificamente — têm tais efeitos disruptivos nos sistemas de distribuição de geradores, vamos revisar brevemente como cada um dos principais componentes do inversor funciona.

A mecânica de um VFD. Um VFD (inversor de frequência) consiste em três seções principais: um retificador, um barramento CC e um inversor (Figura 2).

O *retificador* é o “front end” do VFD; é onde a energia CA recebida entra na unidade. Usando SCRs (retificadores controlados por silício) ou IGBTs (transistores bipolares de porta isolada), o retificador converte a energia CA em energia CC e a distribui ao barramento CC.

Os capacitores no barramento CC armazenam a energia CC fornecida pelo retificador até que seja necessária pelo inversor. O barramento CC também pode incluir indutores, links CC e Indutores de filtro para ajudar a suavizar a ondulação elétrica causada pela conversão de CA para CC.

No “back end” da unidade está o inversor, que consome energia armazenada do barramento CC e simula uma forma de energia CA. Em inversores modernos, os IGBTs usam modulação por largura de pulso (Figura 3) para criar uma onda senoidal de energia CA na tensão e frequência necessárias para alimentar o motor na velocidade desejada.

A conversão de energia cria harmônicas. Quando o retificador converte a energia CA de entrada em CC, sua demanda por corrente liga e desliga rapidamente (Figura 4). Esse consumo cíclico de energia distorce a forma original da forma de onda de

Figura 2. Peças básicas de um inversor de frequência

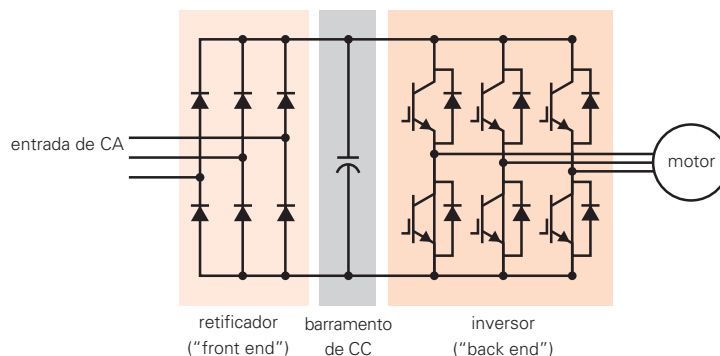
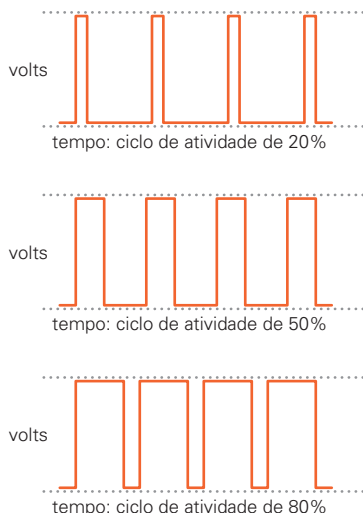


Figura 3. Pulsação com modulação



A modulação por largura de pulso liga e desliga rapidamente a energia fornecida ao motor. A tensão CC é convertida em um sinal de onda quadrado que se alterna entre totalmente ligado e zero, dando uma série de “impulsos” ao motor. Se a frequência alternada for alta o bastante, o próprio impulso do motor permitirá que ele mantenha uma velocidade de funcionamento constante.

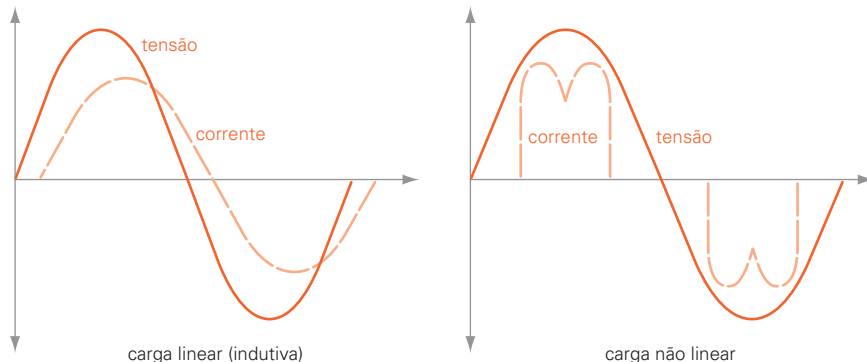
Modular o ciclo de atividade (fração de tempo ou largura de pulso) em que o sinal está “ligado” varia a energia média do motor, que, por sua vez, varia a velocidade do motor.

corrente, “cortando” a forma senoidal e impondo novas formas de ondas que são múltiplas — harmônicas — do sinal original. Essas harmônicas são refletidas de volta para a fonte de alimentação. * A combinação da onda senoidal fundamental e de suas múltiplas causa uma “distorção harmônica”, uma nova forma de onda de formato totalmente diferente (Figura 5).

As harmônicas são objeto de um volume considerável de pesquisa, e a ciência por trás é complexa.

* A norma IEEE 519–1992 define limites aceitáveis para harmônicas em sistemas de energia elétrica. Para obter mais informações, acesse <http://standards.ieee.org>.

Figura 4. Características elétricas de cargas lineares vs. não lineares (VFD)



Nesta discussão, o que é mais importante é o efeito geral no sistema elétrico. As harmônicas podem interferir na operação de eletrônicos de estado sólido, aumentar o consumo de corrente e elevar as temperaturas do enrolamento do motor. Os geradores não estão imunes aos efeitos das harmônicas. O consumo de corrente pulsada eleva a temperatura operacional interna do gerador. O superaquecimento pode impedir o gerador de produzir sua saída projetada na frequência nominal.

Para compensar esses efeitos, os fabricantes de geradores recomendam superdimensionar o gerador para o requisito de kVA, adicionar cargas lineares e/ou dividir as cargas não lineares entre geradores paralelos para reduzir a proporção de cargas não lineares para lineares em relação à capacidade do gerador.

As harmônicas afetam o sistema de distribuição. Pense nas harmônicas como as ondulações causadas pelo arremesso de pedrinhas em um lago. Em um grande lago, as ondulações se dissipam ao longo da distância e deixam grande parte da água intacta. Em um pequeno lago, as ondulações atingem as margens próximas e refletem de volta, resultando em um caos de ondas interativas. Da mesma forma, o tamanho do sistema de distribuição e a “rigidez” ou “suavidade” da fonte de alimentação influenciam o grau em que as harmônicas afetam outros equipamentos. Um sistema grande com potência rígida não só reduz a flutuação de tensão que ocorre quando uma carga elétrica é adicionada ao sistema, como também reduz os efeitos disruptivos das harmônicas.

Figura 5. Formas de ondas harmônicas

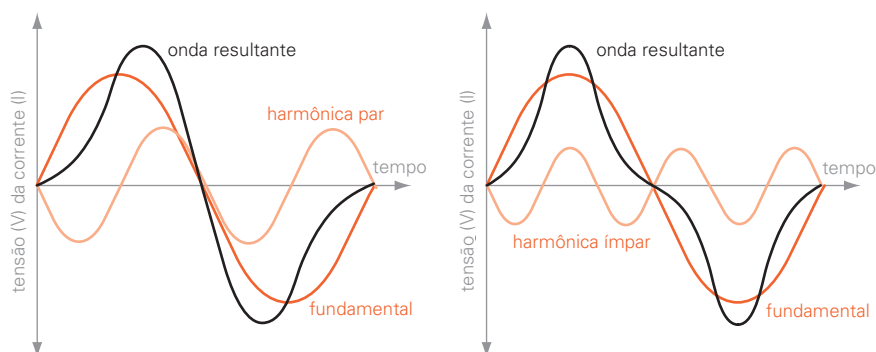
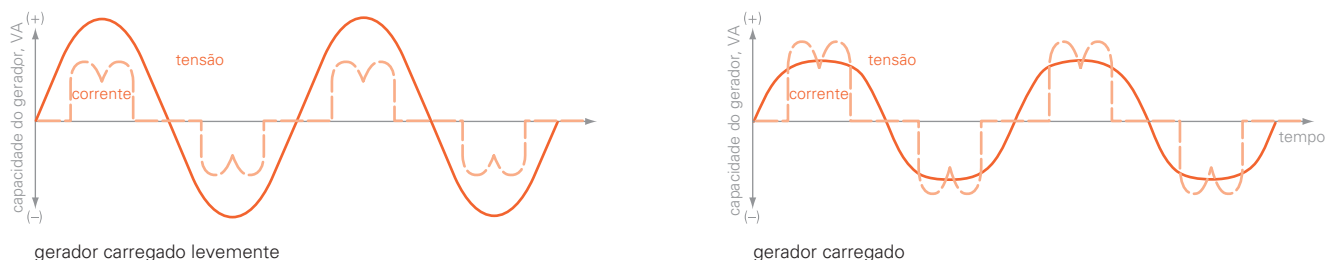


Figura 6. Efeito flat-topping do consumo de corrente do VFD em uma fonte de tensão do gerador



Ao aplicar uma carga não linear a um sistema de distribuição grande com potência rígida, a consideração principal é a impedância de 3 a 5 por cento que é introduzida pelo transformador de energia. Uma baixa impedância melhora a capacidade do sistema de distribuição para fornecer energia de alta qualidade.

Quando os dispositivos elétricos são classificados em termos de consumo de energia e distorção harmônica, as classificações são baseadas em condições de estado estacionário com rede elétrica rígida. A diferença entre o desempenho nominal e real instalado de um dispositivo elétrico pode ser significativa quando a fonte de alimentação de entrada é originada de uma fonte de energia em standby, como um gerador.

Lembre-se de que a baixa inércia também corresponde à alta impedância. Uma maior resistência a mudanças no fluxo energético torna os dispositivos elétricos mais suscetíveis a distorções de sinal, como correntes harmônicas. Isso também amplia as distorções que os VFDs e outras cargas não lineares refletem de volta para a fonte de alimentação. Quanto mais suave a potência de entrada, maior será a distorção criada.

A THD (*distorção harmônica total*), que mede o conteúdo da harmônica em um circuito, pode afetar a operação de dispositivos eletrônicos, fazendo com que luzes e mostradores eletrônicos pisquem, desarmando disjuntores e outros dispositivos de segurança e causando falsas leituras em medidores. Os motores de indução e alguns dispositivos eletrônicos antigos podem tolerar níveis de THD tão altos quanto 20 por cento. Mas muitos dos controles microeletrônicos modernos de hoje, inclusive aqueles em equipamentos de HVAC e VFDs, estão suscetíveis a níveis de THD tão baixos quanto 5%.

O consumo de corrente seletivo pode levar ao flat-topping.

O barramento CC do VFD também cria distorção, porque seus capacitores só podem extrair corrente quando a tensão da onda senoidal de entrada é maior que a tensão CC dentro do barramento — geralmente, nos picos de tensão CA. Quando o VFD representa uma grande parte da carga do gerador e seu consumo de corrente seletivo é alto o suficiente, ocorre o “flat-topping” da forma de onda de tensão (Figura 6). Essa distorção achata a forma de onda, reduzindo os picos de tensão.

Conforme a tensão cai devido ao aumento da carga, o regulador de tensão do gerador tenta compensar aumentando o fornecimento de tensão; embora esse aumento atenda à tensão de RMS†, pouco serve para restaurar os picos de tensão reduzidos. Quando ocorre o flat-topping, a tensão pico-a-pico pode ser reduzida para até 70% da tensão de RMS.

Portanto, a leitura digital no gerador pode mostrar (por exemplo) uma saída de 480 volts, mas a tensão real pico-a-pico do sistema pode ser tão baixa quanto 340 volts.

Uma redução na tensão de pico-a-pico cria um fluxo de corrente indesejável que sobrecarrega os componentes do sistema; pode causar superaquecimento dos condutores e conectores e, em casos graves, queimar transformadores e motores. Também pode afetar a operação do VFD reduzindo a tensão CC que está disponível no barramento CC, causando uma condição de “subtensão”. (Lembre-se de que os capacitores só podem extrair corrente quando os picos de tensão CA forem maiores que a tensão CC no barramento.) Embora o gerador possa manter a tensão de RMS desejada, a tensão de pico-a-pico reduzida pode fazer com que o VFD limite a saída de energia ou inicie um modo de falha que interrompe a energia ao motor enquanto a inversor aguarda uma tensão de barramento CC suficiente para reiniciar.

† “Tensão de RMS (raiz quadrada média)” é uma medida da energia efetiva no sinal de tensão. Ela é encontrada elevando ao quadrado os valores dos picos de tensão positiva e negativa instantâneos, calculando sua média e encontrando a raiz quadrada do valor médio. Uma determinação exata da tensão de RMS pode ser difícil quando a forma de onda da tensão é algo diferente de uma onda senoidal repetitiva.

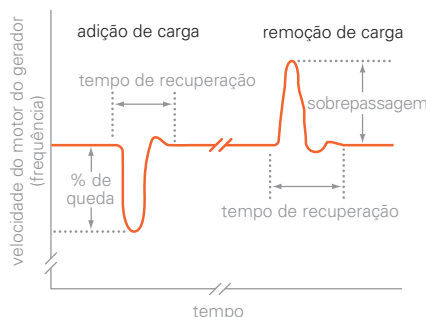
Conforme o motor desacelera, a distorção de tensão se dissipa, e a tensão do barramento CC retorna ao normal. Se o aplicativo do VFD permitir partidas “flying” (rápidas), o inversor poderá retomar a operação antes que o motor se descarregue completamente. Reaplicar potência a um motor parcialmente carregado causa uma distorção harmônica alta instantânea que pode desencadear outra condição de “subtensão” no barramento CC, repetindo o ciclo.

Variações de tensão e frequência de entrada

Quando uma carga grande é adicionada a um sistema energizado por gerador, o alternador do gerador desacelera momentaneamente — reduzindo a tensão e a frequência em todo o sistema — até que o regulador e o controlador de tensão corrijam a condição. Da mesma forma, quando uma carga grande é removida, a redução repentina da demanda aumenta brevemente a tensão e a frequência até que os controles do gerador corrijam a condição. Todas as cargas do sistema “enxergam” essas variações (Figura 7), apesar da correção rápida.

Muitos VFDs podem tolerar uma flutuação de tensão de ± 10 por cento. Outros tipos de equipamentos não são tão tolerantes (Tabela 1). As variações de frequência, no entanto, geralmente afetam o VFD mais do que os equipamentos que ele controla. Alguns VFDs só podem tolerar variações de frequência do lado da linha de ± 1 – 2 Hz em uma aplicação de 60 Hz.

Figura 7. Queda de tensão e frequência



Implicações para dimensionamento e aplicação de geradores

Os efeitos harmônicos e transitórios dos VFDs (e outras cargas não lineares) podem dificultar o fornecimento de uma fonte de energia “limpa” confiável por parte dos engenheiros de serviços prediais. A tecnologia está disponível para moderar esses efeitos. Mas também é importante garantir que o tamanho do gerador, em relação ao VFD, minimize a magnitude e a duração de quaisquer variações na fonte de alimentação.

Os VFDs requerem geradores grandes.

Dimensionar geradores não é fácil. Isso requer um cronograma de carga preciso e detalhado e a resolução das influências de diferentes tipos

de cargas no dimensionamento do gerador. Os cálculos são complexos, e as opções disponíveis podem estar limitadas por orçamento e/ou questões de espaço. Cada aplicação representa uma combinação exclusiva de requisitos e cargas e exigirá uma solução única que será melhor identificada com a ajuda dos fabricantes de grupos geradores e VFD.

Apesar da natureza específica do local das aplicações de gerador-VFD, os fabricantes de geradores fornecem diretrizes que podem contribuir para o dimensionamento e a operação bem-sucedidos dos equipamentos. Na essência dessas diretrizes (abaixo), está uma qualificação: Os VFDs requerem geradores grandes em relação a suas classificações de kVA. O superdimensionamento do alternador do gerador reduz a impedância da fonte e diminui as variações de tensão e frequência. (Consulte a barra lateral, “Um experimento para ver como as características de carga afetam o dimensionamento do gerador”, na página 6.)

Diretrizes para a aplicação bem-sucedida de gerador-VFD

- Considere os limites de instabilidade de tensão e seus efeitos no VFD, no gerador e em todas as cargas conectadas.
- Use a potência nominal máxima do VFD, não sua capacidade aplicada, para dimensionar a carga do gerador.* (Essa estratégia acomoda a expansão futura e a reclassificação da aplicação.)
- Quando possível, distribua cargas não lineares de forma que representem < 25% da capacidade do gerador.
- Tenha cuidado com o uso de filtros “passivos” de harmônica, como reatores de linha ou filtros trap. Esses filtros alteram

Tabela 1. Limitações típicas de queda de tensão^a

Instalação	Aplicação	Queda de tensão permissível
Hospitais, hotéis, motéis, apartamentos, bibliotecas, escolas e lojas	• Carga de iluminação grande • Carga de energia grande • Cintilação altamente objetável	2% infrequentes
Cinemas ^b	• Carga de iluminação grande • Cintilação objetável	3% infrequentes
Bares e resorts	• Carga de energia grande • Alguma cintilação aceitável	5 a 10% infrequentes
Lojas, fábricas, moinhos, lavanderias	• Carga de energia grande • Alguma cintilação aceitável	3 a 5% frequentes
Minas, campos de petróleo, pedreiras, usinas de asfalto	• Carga de energia grande • Cintilação aceitável	25 a 30% frequentes

Fonte: Caterpillar 2002, página 12

^a Flutuações de tensão maiores permitidas com sistemas elétricos emergenciais

^b O efeito sonoro requer frequência constante; o neon pisca de forma errática

† Para estimativas preliminares de tamanho de gerador, um fabricante sugere um fator de multiplicação de 1,4 a 2 vezes a classificação da capacidade total do VFD (Cummins Power Generation 2004, página 16).

fator de potência e harmônicas à medida que a carga do inversor muda, dificultando a previsão da estabilidade do gerador e complicando mais a programação de carga. A impedância adicionada por filtros “passivos” de harmônicas também pode ampliar efeitos de harmônicas.

- Ao especificar VFDS de seis pulsos convencionais, exija filtros “ativos” de harmônicas ou front ends “ativos” para minimizar a distorção de harmônica.

Observação: Esteja ciente de que os VFDs de seis pulsos com front ends “passivos” produzem distorção de harmônica significativa. A exigência de um front end “ativo” ou de um filtro de harmônica “ativo” torna o desempenho de harmônicas de uma um inversor de

seis pulsos comparável ao de projetos multipulsos (inversores com 12, 18 ou mais pulsos).

- Desative o recurso de “partida rápida” (flying start) do VFD para impedir que a unidade reinicie (após uma condição de subtensão no barramento CC) antes que o motor descarregue completamente. É mais provável que isso ocorra ao operar com energia do gerador ou ao alternar da energia da rede elétrica para a energia do gerador.
- Crie uma sequência de partida diferente para a operação energizada pelo gerador para diminuir os efeitos harmônicos e transitórios dos VFDs e de outras cargas não lineares.

- Se possível, considere usar contadores de bypass para desativar o VFD durante a operação do gerador.

VFDs em motores grandes: Qual é o objetivo? Os VFDs são aplicados por inúmeras razões. Dois dos objetivos mais comuns são economizar energia em condições operacionais de carga parcial e reduzir a corrente de entrada da partida do motor para minimizar o tamanho do gerador. Se minimizar o tamanho do gerador for o objetivo principal, muitos fabricantes de geradores sugerem considerar outros dispositivos de carregamento suave em vez de um VFD. Dependendo da aplicação, uma ou mais dessas tecnologias podem ser apropriadas:

Um experimento para ver como as características de carga afetam o dimensionamento do gerador

A capacidade apropriada do gerador é uma função dos tipos de cargas que o gerador atenderá, qual porcentagem da carga total cada tipo de carga representa e os limites permitidos para queda de tensão, queda de frequência e THD (distorção harmônica total).

Para ilustrar este ponto, fizemos uma série de seleções de geradores para um motor de 300 kW com a ajuda do programa QuickSize™ da Kohler, que pode ser baixado em http://www.kohlerpowersystems.com/on-site/onsite_software.html. As seleções comparam os efeitos de uma carga não linear em dois cenários — como a única carga no gerador e como 25% da

capacidade total do gerador com cargas lineares representando os 75% restantes. Em cada caso, especificamos limites máximos de 20% para a queda de tensão permitida e 10% para THD. (Esses limites são flexíveis; os limites reais de aplicação podem ser muito mais estritos, dependendo das características da carga dos equipamentos conectados.)

Os resultados mostrados aqui são a determinação do programa da menor capacidade do gerador que atenderia cada conjunto de critérios de seleção. Esses resultados são fornecidos apenas como exemplo. Eles não representam uma seleção

ideal para qualquer instalação específica porque os critérios de projeto neste exemplo não levam em consideração as características de carga de todo o sistema de distribuição elétrica da instalação.

Dito isso, a partir dessas seleções, é evidente que o tipo de carga e a distorção elétrica permitida na fonte de alimentação afetem significativamente o desempenho do gerador. Determinar o dimensionamento ideal do gerador para uma instalação específica exigirá uma análise completa da aplicação do cliente, do cronograma de carga, das classificações do motor e dos critérios de seleção do gerador caso a caso. •

Resultados da seleção do gerador para uma carga de motor de 300 kW^a

Tipo de carga	Potência de funcionamento total, kW	Corrente de partida de pico, kVA	Capacidade do gerador		Queda máxima, % ^c		THD de tensão, % ^c
			Classificação, kW ^b	Usado, % ^c	Tensão	Frequência	
<i>Motor de 300 kW = 100% de carga do gerador</i>							
• Linear: Dispositivo de partida estrela-triângulo	323	785	420	77	19	3	0
• Não linear: VFD de 6 pulsos (front end “passivo”, sem filtro)	359	498	660	54	10	7	9
• Não linear: VFD de 6 pulsos (front end “ativo”)	359	498	450	80	13	0	0
<i>Motor de 300 kW = 25% de carga do gerador (os 75% restantes consistem em cargas lineares)</i>							
• Linear: Dispositivo de partida estrela-triângulo	1.400	1.454	1.750	80	5	0	0
• Não linear: VFD de 6 pulsos (front end “ativo”)	1.436	1.541	1.820	79	3	1	0

^a Os resultados da seleção são baseados nos limites máximos permitidos de 20% de queda de tensão e 10% de THD (distorção harmônica total); os limites permitidos para uma aplicação real podem ser mais rigorosos.

^b O programa de dimensionamento retornou vários resultados para cada conjunto de critérios de entrada; o menor gerador para cada caso é mostrado aqui.

^c As porcentagens foram arredondadas para o número inteiro mais próximo.

- Dispositivos de partida de enrolamento parcial
- Dispositivos de partida estrela-triângulo
- Dispositivos de partida de estado sólido com contadores de bypass automáticos
- Dispositivos de partida de tensão reduzida de autotransformador

Cada uma dessas tecnologias permite que o motor exiba características de carga linear, o que reduz a proporção de cargas não lineares no sistema de distribuição do gerador. Sua aplicação pode realizar melhor o objetivo de redução do tamanho do gerador e, ao mesmo tempo, melhorar a confiabilidade do sistema, especialmente se o gerador também for compatível com outras cargas não lineares, como sistemas UPS (fonte de alimentação ininterrupta).

Conclusões

Este artigo chama atenção para as considerações especiais necessárias para o alcance de uma operação confiável em todo o sistema elétrico que combine VFDs com fontes de alimentação de gerador. Ele não se destina a desencorajar o uso de inversores de frequência em aplicações de "soft power". Os VFDs são controladores efetivos de velocidade que, quando aplicados adequadamente, podem contribuir com economias de custo de ciclo de vida significativas.

O aumento nos custos de energia estimulou o interesse em sistemas de energia locais que permitem as instalações controlarem os custos operacionais e fornecerem energia

Referências

- Carrier Corporation. 2005. *Variable Frequency Drives: Operation and Application of Variable Frequency Drive (VFD) Technology*. <www.carrier.com>.
- Caterpillar. 2002. *Electrical Power Application and Installation Guide: Engine and Generator Sizing (LEBX0026-01)*. Available from: <<http://www.cat-engines.com>>.
- Cummins Power Generation. 2004. *Application Manual: Liquid-Cooled Generator Sets*. Available from: <<http://www.cumminspower.com/libra ry/appengineering/T030.jhtml>>.
- Eaton Electrical Inc. "Learning Module 20: Adjustable Frequency Drives." 101 Basic Series. <www.eatonelectrical.com>.
- Iverson, J. 2005. "Getting Down to Business." *On-Peak Performance* 11, 5-11.
- Rockwell Automation. 2001. *Straight Talk about PWM AC Drive Harmonic Problems and Solutions (DRIVES- WP011A-EN-P)*. <www.rockwellautomation.com>.
- Streicher, J. 1999. *Applying Variable Speed Drives on a Generator Power Source*. <<http://www.ab.com/drives>>.
- Thiesen, J. 2005. "Variable-Frequency Drives: Achieving Energy Efficiency and Maintaining Power Quality." *Pumps & Systems* 12, 20-22.
- Trane. 2002. *Boletim de Engenharia: Variable Frequency Drive/Generator Application (CTV-PRB011-EN)*. <www.trane.com>.

de standby. A crescente popularidade dos VFDs e outras cargas não lineares ressalta a importância do entendimento e do gerenciamento de seus efeitos. O dimensionamento adequado do gerador é fundamental para garantir que a qualidade da energia possibilite a operação eficiente e confiável dos equipamentos conectados. A melhor forma de alcançar esse objetivo é trabalhar em conjunto com os fabricantes de geradores e VFD quanto antes possível no processo de projeto. •

Por Court Nebuda, engenheiro de suporte de produto, e Brenda Bradley, designer de informação, ambos da Trane. É possível encontrar a edição atual e as anteriores do Boletim dos Engenheiros em <http://www.trane.com/commercial/location.aspx?item=5>. Para fazer comentários, envie um e-mail para comfort@trane.com.



Trane
Uma empresa da American Standard Companies
www.trane.com

*Para obter mais informações, entre em contato
com o escritório local da Trane ou envie um e-mail
para comfort@trane.com*

A Trane acredita que os fatos e as sugestões apresentados aqui são precisos. No entanto, as decisões finais de projeto e aplicação são de sua responsabilidade. A Trane se isenta de qualquer responsabilidade por ações tomadas com relação ao material apresentado.