

AS MICROTURBINAS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

FELIPE SAMUEL DE BONA

Estudante de Mestrado da Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (FEEC/UNICAMP)

PROF.DR. ERNESTO RUPPERT FILHO

Professor e Pesquisador da Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (FEEC/UNICAMP)

Resumo

A desregulamentação do setor elétrico, somada às novas e emergentes tecnologias de geração de energia elétrica e às dificuldades de investimentos no setor produzem uma mudança no modo de se gerar energia elétrica tanto no Brasil como em todo mundo. A geração centralizada em grandes usinas e a transmissão através de longas linhas de transmissão está cedendo espaço para as pequenas unidades geradoras ligadas ao sistema de distribuição e portanto localizadas perto dos consumidores. Trata-se da Geração Distribuída (GD) que abrange diferentes tipos de tecnologias, entre as quais a geração de pequenas potências através de um sistema turbina-gerador-acessórios denominado microturbina. A microturbina se apresenta como uma das mais promissoras tecnologias de GD, dados os seus inúmeros benefícios e o interesse do governo brasileiro de utilizar o gás natural, em abundância, para geração de energia elétrica.

Abstract

The deregulation of the electrical power system, the new emerging generation technologies and the difficulty of getting the high investments required by the power system changed the way to produce and transmit electricity worldwide. The centralized generation, with big power plants and long transmission lines will share the power electricity market with smaller generation units, placed near the customer. It's the Distributed Generation, which comprises a significant number of new generation technologies: microturbines, fuel cells, photovoltaic systems, combustion engines, wind generation, etc. In Brazil, the microturbine is one of the favorites technologies to do this kind of generation due to its many benefits and the interest of the Brazilian government in using the great quantity of natural gas available in the country for power generation.

Introdução

O governo de muitos países, inclusive o brasileiro, vem enfrentando grandes dificuldades para satisfazer as necessidades de crescimento e modernização dos seus setores elétricos, setor essencial para possibilitar o progresso econômico de um país.

Normalmente, o poder público não tem caixa disponível para bancar o alto investimento da construção e modernização de grandes unidades geradoras ou de linhas de transmissão. Além disso, a iniciativa privada não se interessa em fazer pesados investimentos em geração e transmissão de energia elétrica devido às incertezas geradas pela indefinição dos rumos da reestruturação do setor na maioria dos países do mundo.

A preocupação com o meio ambiente, que é totalmente justificável, é um outro empecilho à expansão da oferta de energia. Nunca foi tão complicado conseguir uma permissão para construção de usinas hidrelétricas e termoeletricas geradoras de energia elétrica ou para construção de linhas de transmissão como é hoje.

Num futuro próximo provavelmente empresas e governos serão responsabilizados através de taxas e multas por quaisquer impactos causados ao meio ambiente. Um estudo encomendado pela União Européia, realizado nos últimos dez anos, provou que se fossem levados em conta os danos ao meio ambiente e à saúde das pessoas, o custo de produção de eletricidade através do carvão e do óleo diesel dobraria. (European Commission, 2003)

De acordo com o protocolo de Kyoto os países desenvolvidos deverão reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, no período de 2008 a 2012, a pelo menos 5% abaixo do emitido em 1990. Para atingir essa meta foram criados alguns mecanismos como, por exemplo, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), através do qual os países industrializados podem investir em projetos de redução de emissões de carbono em países não desenvolvidos e receber créditos de carbono por isso. Esse mecanismo pode gerar um fluxo de bilhões de dólares para investimentos em geração distribuída e cogeração nos países em desenvolvimento, como o Brasil. (Juras, 2001)

Existe também um grande interesse pela diversificação da matriz energética de modo a se garantir uma maior confiabilidade e segurança no abastecimento de energia elétrica. No Brasil quase 85% (ELETROBRÁS, 2002) de toda sua geração é de fonte hidráulica, uma fonte que é altamente dependente de variações climatológicas.

O uso do gás natural é uma prática recente no Brasil (nos anos 70 e 80 o consumo final de gás natural no país era pequeno) e ultimamente tem sido indicada como uma grande aposta do governo brasileiro para a diversificação da matriz energética (Gomes, 2002). Os contratos de compra e a construção de gasodutos nos anos 90, em especial o Brasil-Bolívia, representaram um marco na expansão da oferta de gás natural. A oferta de gás natural, que hoje já é grande, só tem a aumentar nos próximos anos com a exploração de reservas de gás natural recém descobertas como, por exemplo, a da bacia de Santos.

O gás natural é um combustível de alto poder calorífico e de queima relativamente limpa quando comparado aos outros combustíveis fósseis. A máxima utilização do poder calorífico do gás natural através de unidades cogradoras seria, além de inteligente, ecológica e economicamente vantajoso.

Todas essas evidências indicam que dentro de alguns anos a geração distribuída poderá ser responsável por uma parte significativa da produção de energia elétrica tanto no Brasil como nos outros países do mundo

A Cogeração

Tipicamente, de metade a um terço de toda energia despendida num processo de geração de energia elétrica ou mecânica não é utilizada e é liberada no meio ambiente na forma de energia térmica. O aproveitamento de forma útil dessa energia térmica, processo conhecido como cogeração, traz basicamente três grandes benefícios. Primeiro, a quantidade de combustível utilizada é reduzida, ocasionando assim, além de menores gastos individuais de combustível, uma queda no preço do mesmo devido à diminuição da sua demanda. Segundo, as emissões de carbono e de outros poluentes atmosféricos são diminuídas. Por último, os impactos causados ao meio ambiente devido ao despejo de calor por grandes plantas geradoras diminuem muito. (CERTS, 2002)

Diferentemente da eletricidade, o calor, normalmente na forma de vapor ou água quente, não pode ser facilmente transportado por grandes distâncias. Essa particularidade obriga as unidades cogradoras a estarem próximas das instalações que utilizam sua energia térmica, o que liga intimamente a cogeração à geração distribuída.

O aproveitamento da energia térmica pode chegar até o ponto no qual, em instalações que utilizam grandes quantidades de energia térmica, o sistema de cogeração seja especificado levando-se em consideração o calor como produto principal e a eletricidade como subproduto. Nesse caso o possível excedente de energia elétrica produzida poderia ser comercializada com a distribuidora de energia.

A Geração Distribuída

Geração distribuída (GD) é uma forma estratégica de se instalar pequenas unidades geradoras (de poucos kW até algumas dezenas de alguns MW) próximas aos consumidores. Essas unidades geradoras podem ou não estar ligadas à rede de distribuição, e têm como principais vantagens uma maior confiabilidade, um maior aproveitamento da energia gerada através da cogeração ou trigeração (produção simultânea de eletricidade, calor e frio), a redução de perdas no transporte dessa energia até o consumidor e o aproveitamento das diversas fontes de energia existentes no local de consumo. Diversas tecnologias podem ser usadas em geração distribuída, entre as quais pode-se citar: geração fotovoltaica, geração eólica, geração através de microturbinas, geração através de motores de combustão interna, geração através células combustíveis, geração através de pequenas centrais hidrelétricas (PCH).

Pequenas unidades de GD podem ter seu potencial melhor aproveitado quando organizadas como MicroRedes (MicroGrids). MicroRedes são grupos de cargas e microgerações que operam em conjunto, como se fossem um único sistema provedor de eletricidade e de calor. Para o sistema elétrico a MicroRede pode ser vista como uma única célula, podendo ser considerada como uma carga única variável despachada conforme a necessidade. Para o consumidor, a MicroRede pode ser designada para atender os seus principais interesses, como por exemplo alta confiabilidade, redução de perdas, controle de tensão, alta eficiência através do aproveitamento da energia térmica despendida e ininterrupção do fornecimento de energia. De modo a assegurar que a MicroRede opere como um único sistema, é importante que a maioria de suas gerações sejam baseadas em eletrônica de potência. (CERTS, 2002)

Futuramente as unidades de GD poderão fornecer serviços ancilares, o que ainda não é permitido. Esses serviços podem ser mais bem prestados e mais bem controlados caso as unidades de GD estejam agrupadas em MicroRedes. Os serviços ancilares constituem requisitos técnicos essenciais para que o sistema elétrico opere com qualidade e segurança. Como exemplo desses serviços pode-se citar: a) controle de frequência – controle realizado pelas unidades geradoras de modo a limitar e, posteriormente, extinguir a variação de frequência causada pelo desequilíbrio entre carga e geração; b) reserva de potência - a provisão de reserva de potência ativa efetuada pelas unidades geradoras para realizar o controle de frequência; c) reserva de prontidão - é a disponibilidade de unidades geradoras com o objetivo de recompor as reservas de potência; d) suporte de reativos - fornecimento ou absorção de energia reativa, destinada ao controle de tensão da rede de operação, mantendo-a dentro dos limites de variação estabelecidos; e) auto-restabelecimento (black-start) - a capacidade que tem uma unidade geradora de sair, independentemente de fonte externa, de uma condição de parada total para uma condição de operação. (ANEEL, 2003)

As concessionárias de distribuição de energia elétrica já estão se preocupando com a conexão de unidades geradoras à sua rede. Até o momento cada uma tem tomado suas próprias precauções, contudo há um anseio pela normatização da conexão e da operação de unidades de geração conectadas à rede de distribuição, dado que estas não foram projetadas para operarem com geradores ligados a elas. Há evidentemente o perigo de ocorrerem problemas no sistema elétrico global de distribuição da concessionária que levem a interrupções de atendimento dos consumidores comprometendo a qualidade da energia elétrica fornecida pela concessionária.

O Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) criou a norma 1547 para conexão de recursos distribuídos em sistemas de energia elétrica. Recursos distribuídos referem-se a fontes de energia que não estão diretamente conectadas ao sistema de transmissão de energia, sendo a geração distribuída um subconjunto dos recursos distribuídos. (IEEE, 2003)

A microturbina

Dentre as diversas tecnologias de geração distribuída existentes e já mencionadas no item anterior, nos últimos anos a microturbina foi uma das que teve maiores avanços e maior utilização, principalmente em relação às células combustíveis. Existem hoje diversos fabricantes no mundo com unidades disponíveis para comercialização, entre os quais a Capstone, a Elliot e a Ingersoll-Rand nos E.U.A, a Bowman na Inglaterra e a Turbec na Suécia. A Capstone é a atual líder de

vendas no mundo, tendo comercializado mais de 3.000 unidades desde 1998. Atualmente, o produto custa cerca de US\$ 1,1 mil por kW nominal (valor fornecido pelo representante da Capstone no Brasil), sendo somente competitivo em instalações com cogeração. É importante ressaltar que não há fabricantes de microturbinas no país e há cerca de 13 microturbinas operando no país.

As microturbinas evoluíram das aplicações da turbina nas indústrias aeroespacial e automotiva, para as aplicações em sistemas elétricos de potência (GD) apresentando diversas inovações tecnológicas como o uso de mancais a ar, de ligas metálicas e cerâmicas resistentes a altas temperaturas e de componentes eletrônicos de alta potência. Podem ser encontradas no mercado em potências de 30kW (Capstone) até 250kW (Ingersoll-Rand) e têm como maiores benefícios os seguintes: a) emissões atmosféricas baixas devido à combustão contínua (A microturbina da Capstone apresenta emissões atmosféricas com $NO_x < 9\%$ quando operando em plena carga com gás natural); b) baixos níveis de ruído e de vibração; c) flexibilidade de combustível (pode ser utilizado gás natural, diesel, propano, biogás); d) dimensões reduzidas (uma microturbina de 30kW tem em média a dimensão de um refrigerador doméstico) e simplicidade na instalação, podendo ser instalada em locais cobertos ou ao ar livre, e) modularidade (as conexões da microturbina com a rede/carga são feitas de modo “plug-and-play”, podendo se conectar diretamente em paralelo até 20 microturbinas da Capstone sem necessidade de equipamentos adicionais); f) baixo custo e pequena necessidade de manutenção , g) alta eficiência quando utilizada em cogeração (apesar da microturbina ter uma eficiência elétrica de aproximadamente 30%, sua eficiência total, quando utilizada em instalações de cogeração, pode chegar a mais de 80%). (Hamilton, 2003)

O diagrama esquemático da figura 1 mostra o funcionamento de uma microturbina bem como seus principais componentes enquanto que a figura 2 apresenta a visualização em corte de uma microturbina Capstone.

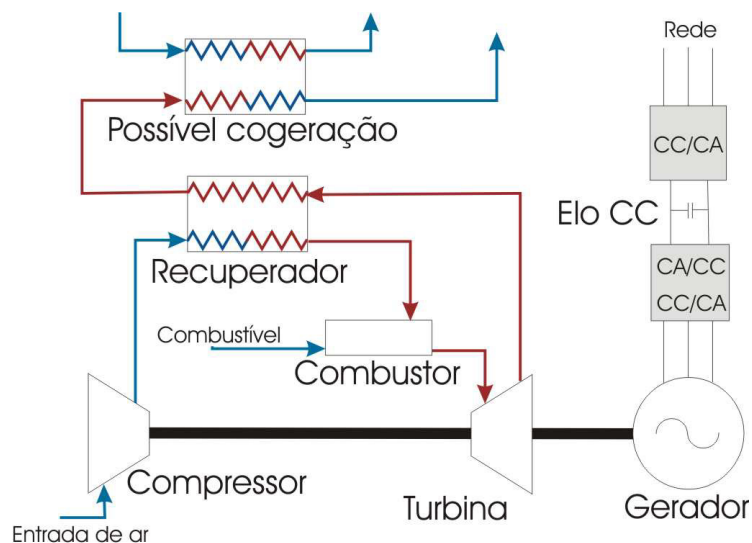


figura 1: esquema de uma microturbina

O princípio de funcionamento da microturbina baseia-se no fato de que parte da energia gerada pela turbina é utilizada para mover o compressor, já que ambos estão conectados ao mesmo eixo girante. O compressor pressiona o ar para dentro da câmara de combustão na qual se forma uma mistura de ar comprimido e combustível que alimenta um processo de combustão contínua. O gás quente e pressurizado proveniente do combustor se expande na turbina, transformando energia térmica em energia mecânica. No mesmo eixo da turbina, como se vê na figura 3, é conectado um gerador elétrico síncrono a ímã permanente (outros geradores como geradores de corrente contínua ou geradores de indução também podem ser utilizados), que gera energia com tensão em alta frequência (até 1.600Hz, que corresponde a uma velocidade angular de 96.000rpm para um gerador de 2 pólos). A tensão terminal compatível com a rede elétrica e com os equipamentos elétricos convencionais (50 ou 60 Hz) é obtida mediante o uso de um

conversor CA/CC (retificador), um elo de corrente contínua e um conversor CC/CA (inversor) ligados em cascata nos terminais do gerador elétrico.

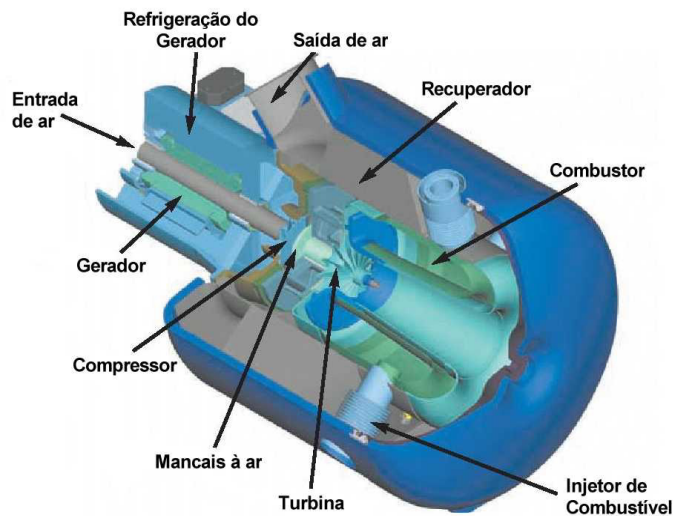


figura 2: microturbina de 30KW (Capstone Turbine Corporation)



figura 3: eixo da microturbina de 30KW (Capstone Turbine Corporation)

Um outro tipo de sistema de microturbina, utilizado pela Ingersoll-Rand, apresenta uma turbina de dois eixos. Num primeiro eixo é montado um gerador de gás, no qual uma turbina fornece energia mecânica exclusivamente para movimentar o compressor. O gás quente de alta pressão proveniente do gerador de gás é direcionado para uma turbina de potência, normalmente de menor rotação, que a movimenta, com ou sem auxílio de uma caixa redutora de velocidade, o gerador elétrico (figura 4). Esta última configuração torna a microturbina maior, mais pesada e com mais partes móveis, o que pode acarretar em menor confiabilidade e em maior necessidade de manutenção. Contudo, caso se consiga uma velocidade inferior a 3600 rpm, pode-se utilizar geradores síncronos ou de indução mais simples para gerar tensão diretamente na frequência da rede, sendo desnecessário o uso da eletrônica de potência. É importante observar que, como a frequência da tensão gerada depende da velocidade dos geradores, o fato de se conectar o gerador elétrico diretamente à rede obriga a microturbina a ter um controle de velocidade, o que aumenta o seu custo.

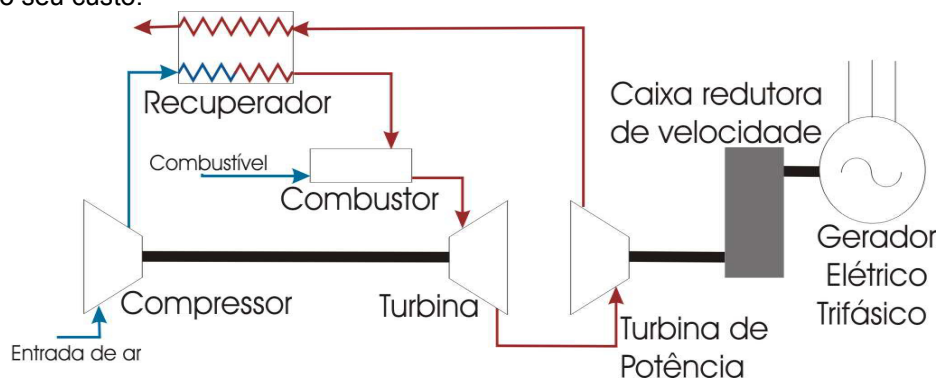


figura 4: esquema de microturbina com dois eixos

O recuperador de calor é um dispositivo que aproveita o gás de escape em alta temperatura para pré-aquecer o ar comprimido que chega ao combustor. Esse componente aumenta em muito a eficiência da microturbina (de 16% para 30% aproximadamente) e, apesar de ser caro, é utilizado em quase todas as microturbinas comerciais. Em algumas aplicações, onde a energia térmica é o principal produto desejado e a energia elétrica um produto secundário, pode ser lucrativo não se utilizar o recuperador de calor. Ao longo da vida útil da microturbina o recuperador pode falhar e precisar de manutenção ou de troca devido ao constante esforço térmico ao qual ele é sujeito (stress térmico).

A microturbina não dispõe de uma grande reserva de energia na forma de energia cinética como os grandes geradores do sistema elétrico. Essa característica, aliada com sua resposta relativamente lenta, faz necessário que haja alguma forma de armazenamento de energia para atender uma abrupta alteração da carga quando operando sem conexão com a rede. Para isso, normalmente são utilizadas baterias chumbo-ácido ligadas ao elo de corrente contínua. Outras formas de armazenamento de energia como supercapacitores ou volantes também são aceitos.

Conforme foi dito anteriormente a eficiência elétrica da microturbina atualmente chega até 30% (essa eficiência cai com o aumento da temperatura e da pressão ambiente). Com o aproveitamento do gás de alta temperatura que é expelido pela microturbina em sistemas de cogeração, a eficiência total pode ultrapassar os 80%. (Hamilton, 2003)

É importante salientar a dificuldade na obtenção de informações específicas sobre as microturbinas. Informações como parâmetros elétricos e mecânicos do gerador elétrico, eletrônica de potência utilizada, controle utilizado, material componente do rotor e do estator do gerador de ímã permanente e outros dados são confidenciais e estão em poder dos fabricantes. Alguns poucos institutos que contêm substancial informação sobre o tema, como por exemplo o EPRI, cobram quantias altíssimas para prover acesso a seus relatórios sobre as microturbinas. O acesso mais fácil à documentação possibilitaria em estudos de melhor qualidade na área, criando uma maior chance de sucesso para essa tecnologia.

Dinâmica da microturbina

Nos sistemas de geração convencionais que operam no sistema elétrico, quando ocorre um aumento de carga, a energia para suprir essa variação primeiramente é fornecida pela energia cinética armazenada no eixo do rotor, o que causa uma diminuição na velocidade do mesmo e, portanto, uma diminuição na frequência da tensão gerada. Essa diminuição de frequência é sentida pelo regulador da máquina, o que faz com que mais potência seja entregue ao gerador elétrico pela turbina, equilibrando o balanço de energia da unidade geradora.

No caso das microturbinas a energia cinética armazenada no rotor é muito pequena e insuficiente para suprir significativas alterações de carga. Deste modo, um acréscimo de carga é suprido inicialmente pela energia presente nas baterias, o que causa uma diminuição da tensão no elo de corrente contínua. O controlador da microturbina sente essa variação de tensão e, em contrapartida, injeta mais combustível na turbina para que a potência seja aumentada. É importante salientar que a frequência fundamental da tensão de saída da microturbina em conexão à rede via inversor é produzida utilizando-se um clock interno e, portanto, não varia conforme a carga. Contudo, os controles dos inversores das microturbinas, quando mais de uma unidade estiverem operando desconectadas da rede, podem ser ajustados para gerar uma tensão com frequência de valor proporcional ao da potência gerada por elas. Esse método, utilizado em sistemas convencionais de geração de energia, permite que a divisão de carga entre os geradores seja feita de imediato, de acordo as características potência gerada x frequência de cada unidade, sem a necessidade de um canal de comunicação.

Conexão com a rede

É possível operar uma microturbina alimentando-se uma carga isoladamente (modo "stand-alone") ou em conexão com a rede elétrica (modo "grid-connected"). Quando em "stand-

alone” os controles da microturbina regulam somente a tensão (magnitude e freqüência) na carga, ou seja o inversor funciona como uma fonte de tensão.

Operando em “grid-connected” a microturbina funciona como uma fonte de corrente, ligado na tensão da rede o sistema produz potência ativa (fator de potência unitário) de acordo com a determinação do operador da máquina. Caso determinados níveis de tensão ou de freqüência sejam ultrapassados ou uma condição de ilha se apresente, a microturbina se desconecta automaticamente da rede.

As microturbinas podem ser operadas remotamente. Com o auxílio de um computador, ou através de uma central, é possível, estando em qualquer lugar do mundo, fazer o despacho, ligar, desligar, adquirir dados de funcionamento, fazer ajustes e até descobrir defeitos na microturbina.

Uma das características mais desejadas na microturbina, que diminuiria bruscamente a taxa de interrupção de energia elétrica num consumidor alimentado por ela e pela rede de distribuição, seria a capacidade de transição direta e automática do modo “grid-connected” para o modo “stand-alone”. Assim, no caso da interrupção do fornecimento de energia pela rede de distribuição, a microturbina se desconectaria da rede e continuaria a fornecer energia para o consumidor. Contudo, a maioria das microturbinas não faz essa transição diretamente, sendo necessário primeiro desligá-las para só depois reiniciá-las em um outro modo de operação, processo demora pelo menos 3 minutos. A Ingersoll-Rand é a única fabricante que diz ter microturbinas com transição direta de “grid-connected” para “stand-alone”. (Hamilton, 2003)

Conversores de Potência

A utilização de eletrônica de potência para a conversão da tensão de alta freqüência produzida pelo gerador de elétrico em freqüência compatível com a da rede traz, além de menores dimensões e peso do gerador elétrico, devido à alta velocidade de rotação do seu rotor e da ausência da necessidade de um redutor de velocidade, muitas outras vantagens: a) Nos terminais dos grandes geradores a diferença de carga entre as fases não chega a 1%. Contudo, em pequenas MicroRedes essa diferença pode chegar a 50%. Nessas condições, geradores síncronos trifásicos certamente se desconectariam automaticamente da rede, já que dificilmente suportam mais do que 10% de diferença de carga entre as fases. Para efeito de comparação alguns inversores trifásicos conseguem suportar bem diferenças de 50% de carga entre fases e ainda apresentar fator de distorção harmônica (THD) < 3% e menos de 2% de diferença na tensão entre as fases (Davis, 2002). b) As microturbinas não partem sozinhas de velocidade zero, sendo necessário acelerá-las até uma certa velocidade para que elas possam começar seu funcionamento. A eletrônica de potência presente nas microturbinas torna desnecessária a existência de um motor de partida na mesma para realizar essa operação. O papel do motor de partida é realizado pelo próprio gerador elétrico que, recebendo energia através do conversor CC/AC-AC/CC (localizado entre o gerador elétrico e o elo de corrente contínua) acelera o eixo da turbina até a velocidade necessária para ela partir. c) O uso de inversores também elimina a necessidade de equipamentos caros e espaçosos de sincronismo necessários para geradores que fazem a geração diretamente através de máquinas eletromagnéticas. d) A velocidade da microturbina não precisa ser fixa. Isso permite que a microturbina opere dentro de uma grande faixa de velocidades, possibilitando um melhor ajuste das diferentes condições de carregamento de modo a se ter uma operação eficiente e com o menor desgaste possível para a microturbina. Além disso, essa característica elimina a necessidade de um regulador para controlar a velocidade do eixo da microturbina, baixando o custo da mesma. e) Os inversores sofrem danos bem menores quando alimentando cargas de alto conteúdo harmônico do que os geradores síncronos convencionais.

Essa conversão só é possível devido aos avanços dos componentes eletrônicos, que atualmente já suportam grandes tensões, grandes correntes e altas freqüências de chaveamento, e das eficientes técnicas de comutação utilizadas nos conversores. O principal semiconductor utilizado nos conversores para aplicações em microturbinas é o IGBT (CERTS 2003). O IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor - transistor bipolar de porta isolada) reúne a facilidade de acionamento dos MOSFET's e sua elevada impedância de entrada com reduzidas perdas em condução dos transistores bipolares de potência. Basicamente ele funciona como uma chave,

podendo suportar dezenas de milhares de comutações por segundo, quando uma determinada tensão é aplicada na sua porta ele conduz, quando essa tensão é retirada ele para de conduzir.

O funcionamento de um inversor pode ser entendido com a ajuda da figura 5, que apresenta o inversor monofásico. Num primeiro momento as chaves T2 e T3 conduzem por um período de $T/2$, formando o semiciclo positivo da tensão alternada a partir da tensão contínua E presente no elo de corrente contínua. Para a formação do semiciclo negativo a alimentação é feita pelas chaves T1 e T4 operando também por um período de $T/2$. A repetição sucessiva com um período T desse procedimento (lembrar que quando T1 e T4 estão conduzindo, T2 e T3 estão em aberto, e vice-versa) gera a forma de onda alternada presente na figura 5(b). O valor eficaz da tensão saída pode ser ajustado variando-se o tempo de condução, de 0 a $T/2$, dos pares de transistores em cada semiciclo. Esse tipo de modulação gera uma forma de onda muito aquém da senoidal e, logicamente, com um alto conteúdo harmônico.

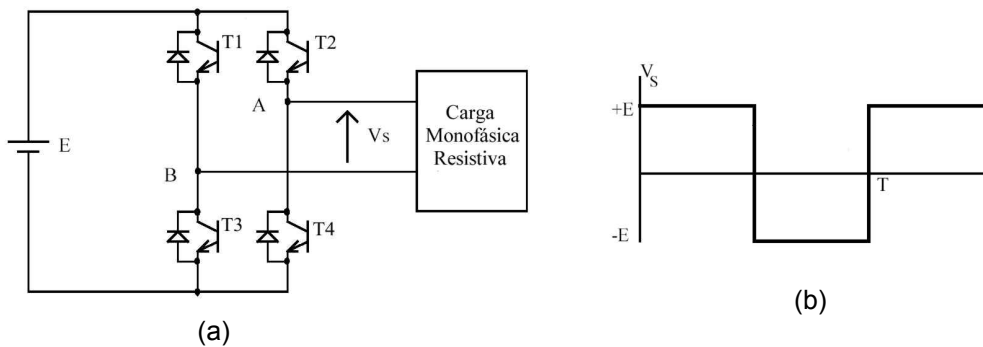


figura 5: (a) inversor monofásico; (b) tensão e corrente com carga resistiva

A qualidade da tensão gerada pode ser altamente melhorada utilizando-se diversos pulsos (com número limitado pela frequência máxima de comutação dos transistores) com diferentes larguras em cada semiciclo, num processo conhecido como modulação por largura de pulso (PWM – Pulse Width Modulation). A correta escolha da técnica de modulação que controlará o disparo dos semicondutores é muito importante para se conseguir a melhor performance possível no conversor.

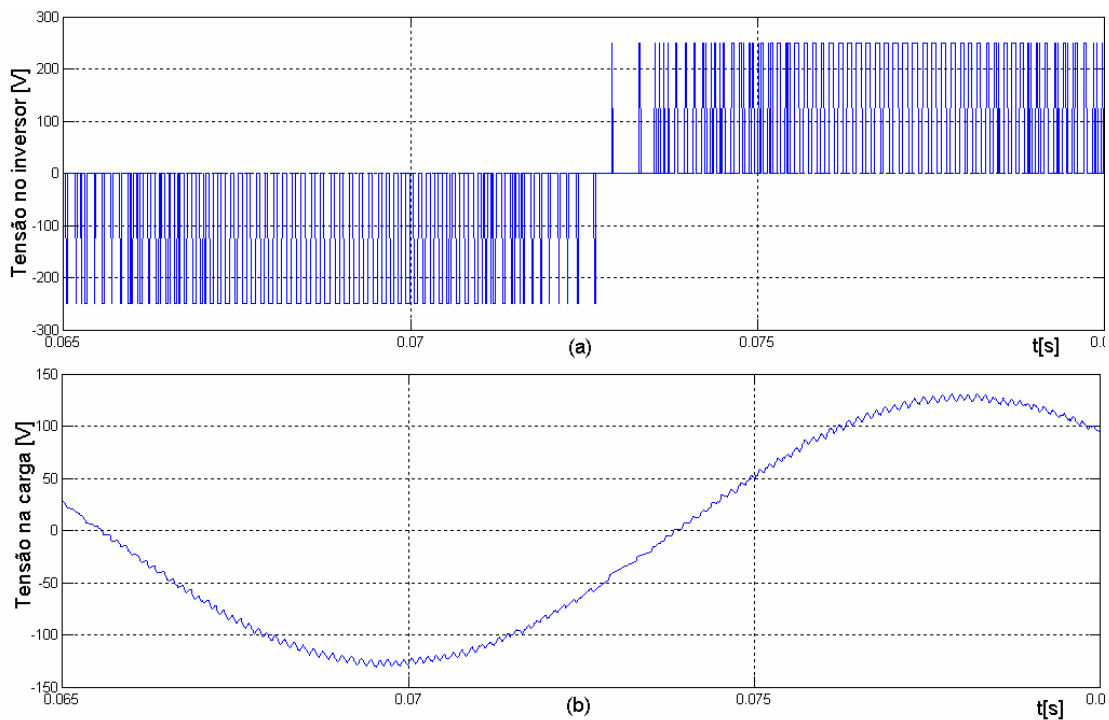


figura 6: tensão de 60Hz gerada através de modulação PWM vetorial (a) na saída do inversor e (b) na carga.

Na figura 6a pode ser visualizada uma forma de onda da saída de um conversor que utiliza modulação PWM vetorial para a geração dos seus pulsos. Apesar dessa forma de tensão não se parecer com uma senóide, sua baixa distorção harmônica, aproximadamente 1,11%, indica a sua alta qualidade. Após a filtragem da tensão de saída do conversor por um indutor observa-se uma onda visivelmente senoidal aplicada à carga (figura 6b), esta tensão tem um conteúdo harmônico ainda menor (THD = 0,29%).

Exemplos de aplicações interessantes de microturbinas

Um hotel, hospital ou condomínio pode utilizar as unidades de GD como um cogenerador obtendo-se, além da energia elétrica, água quente a serem utilizadas em lavanderias, banheiros, piscinas, cozinhas, etc. Utilizando-se chillers de absorção, o calor liberado pela microturbina pode ainda ser aproveitada para a refrigeração de ambientes. A Elliot oferece em seu catálogo de produtos um chiller de absorção para operar junto com sua microturbina de 100KW que pode fornecer até 480.000 BTU/h.

No aterro de Lopez Canyon, em Los Angeles, o gás proveniente da decomposição do lixo é tratado e utilizado para alimentar 50 microturbinas de 30 KW da Capstone que operam em paralelo. Essa é a maior instalação de microtubinas no mundo. (Hamilton, 2003)

O uso de uma microturbina numa estufa, além de gerar energia elétrica e energia térmica para uso nas instalações, fornece um gás com alta concentração de CO₂ e com uma taxa de contaminação muito baixa que pode ser direcionado diretamente para dentro da estufa resultando num aumento de produção de até 40%. (Hamilton, 2003)

Cinco unidades de microturbinas de 30KW, fornecem energia elétrica para estações de medição, controle e transmissão de dados ao longo do gasoduto Brasil-Bolívia. Como estas estações estão localizadas em regiões de difícil acesso, a facilidade de operação a distância das microturbinas se torna um grande diferencial.

O futuro das microturbinas

As microturbinas estão se desenvolvendo rapidamente, apresentando melhoras significantes a cada nova geração.

Em 2000 o DOE (U.S. Department of Energy) lançou um programa de pesquisas de mais de US\$ 60 milhões para o desenvolvimento de sistemas de microturbinas para geração distribuída. Esse programa tem duração até 2006 e tem os seguintes objetivos: a) Aumento da eficiência elétrica em até pelo menos 40%; b) Emissões de NOx menores que 7ppm para condições de operação normais utilizando-se gás natural; c) Vida útil de serviço de pelo menos 45.000 horas e necessidade de grandes inspeções a cada 11.000 horas; c) Custos do sistema menores do que US\$ 500/KW. (US DOE, 2000)

Essas características são essenciais para que essa tecnologia penetre no mercado futuro, tornando-se uma opção adicional para a infraestrutura do sistema elétrico.

Palavras Chave

Microturbinas, geração distribuída, geração descentralizada, microredes e cogeração.

Referências

[1] European Commission; **External Costs - Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport**; 2003

[2] ILÍDIA DA A. G. MARTINS JURAS; **Créditos de Carbono (Financiamento)**; Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados; 2001

[3] ELETROBRÁS; **SIESE - Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica**; 2002

[4] Eli Eber Batista Gomes; **Tese de Mestrado - Análise Técnico-Econômica e Experimental de Microturbinas a Gás Operando com Gás Natural e Óleo Diesel**; UNIEFEI – Universidade Federal de Itajubá; Novembro; 2002

[5] Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS); **White Paper on Integration of Distributed Energy Resources – The CERTS Microgrid Concept**; April; 2002.

[6] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); **Resolução nº 265, de 10/06/03 - Estabelece os procedimentos para prestação de serviços ancilares de geração e transmissão**; Junho; 2003

[7] IEEE; **Std 1547 - IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems**; July; 2003

[8] STEPHANIE L. HAMILTON; **Microturbine Generator Handbook**; PennWell Corporation; 2003

[9] Murray W. Davis; **Mini Gas Turbines and High Speed Generators – a Preferred Choice for Serving Large Commercial Customers and Microgrids Part I – Generating System**; Power Engineering Society Summer Meeting, Volume 2, July, 2002.

[10] Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS); **Microturbine Power Conversion Technology Review**; April; 2003.

[11] U.S. DOE OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY; **Advanced Microturbine Systems**; March; 2000

[12] Site das fabricantes de microturbinas:

Capstone Turbine Corporation: <http://www.microturbine.com>

Turbec: <http://www.turbec.com>

Ingersoll-Rand Energy Systems: <http://www.irpowerworks.com>

Elliot Microturbines: <http://www.elliottmicroturbines.com>

Bowman Power Systems: <http://www.bowmanpower.co.uk>