

Aerogeradores, conceitos das turbinas e suas principais tecnologias

Balbiere Barbosa da Silva*
Denis Paulo da Silva Azeredo**

Resumo

Nesta pesquisa elucidaremos alguns conceitos sobre turbinas eólicas, suas tecnologias e características de conexão à rede, bem como as expectativas de desenvolvimento e utilização deste tipo de geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Turbinas eólicas. Desenvolvimento.

Introdução

Nos dias de hoje, a eólica é a tecnologia para geração de energia renovável que mais se desenvolve em todo mundo. A enorme penetração das turbinas eólicas de grande porte nos sistemas elétricos de potência estimula os projetistas a desenvolverem continuamente projetos customizados de geradores e dispositivos de eletrônica de potência, bem como a implementação de modernas estratégias de sistemas de controle.

Os objetivos dos projetos de turbinas eólicas mudaram ao longo dos anos, passando da operação convencional para a aperfeiçoada, levando em conta o ambiente em que serão empregadas (onshore ou offshore) e o ambiente de mercado. Além de as turbinas eólicas estarem se tornando maiores, os conceitos dos projetos correspondentes evoluíram de velocidade fixa, controle de stall (a velocidade do vento superando a velocidade nominal do rotor, o escoamento do perfil da pá do rotor “descola” da superfície da pá, o que aumenta a força de arrasto do mesmo) e caixa de engrenagem para velocidade variável, controle de passo com ou sem caixa de engrenagens. Algumas das características globais sobre os conceitos atuais de turbinas eólicas serão mostradas aqui. As turbinas eólicas que existem hoje possuem diversos conceitos inovadores, com tecnologia comprovada tanto para geradores quanto para a eletrônica de potência. Os conceitos normalmente mais utilizados em indústrias são resumidos e caracterizados por sua capacidade de controlar velocidade e potência e sua capacidade de conexão à rede elétrica.

Conceito de turbina eólica e sua capacidade de conexão ao sistema de potência

Os projetos de turbinas são caracterizados em quatro tipos de conceitos atualmente:

- Tipo A
- Tipo B
- Tipo C
- Tipo D

Tipo A – Conceito de turbina eólica com velocidade fixa.

- Esta configuração, também conhecida como “conceito dinamarquês”, consiste na turbina eólica controlada com velocidade fixa, usando um gerador de indução tipo gaiola de esquilo conectado diretamente à rede através de um transformador. Uma vez que o gerador sempre absorve potência reativa da rede, este conceito usa um banco de capacitores para compensação da potência reativa. Para obter uma conexão mais suave com a rede, usa-se um soft-starter.

Tipo B - Conceito de turbina eólica com velocidade e resistência do rotor variáveis.

- Esta configuração corresponde à turbina eólica controlada com velocidade variável limitada, usando um gerador de indução OptiSlip e controle de passo. O enrolamento do rotor do gerador é conectado em série com uma resistência externa controlada opticamente. Esse acoplamento óptico elimina a necessidade de anéis de escorregamento. Variando a resistência do rotor, o escorregamento e a potência de saída do sistema podem ser controlados. A faixa de controle dinâmico da velocidade é normalmente 0-10% acima da velocidade síncrona do rotor. Assim como no tipo A, este conceito requer o uso de um soft-starter para uma conexão mais suave com a rede e compensação da potência reativa.

Tipo C - Conceito de turbina eólica com velocidade variável e conversor de potência de escala parcial.

* Técnico em Eletrônica pelo IF Fluminense, Campus Campos-Guarus

** Técnico em Eletrônica pelo IF Fluminense, Campus Campos-Guarus

- Esta configuração consiste na turbina eólica controlada com velocidade variável, usando um gerador de indução com dupla alimentação. E controle de passo. O estator é conectado diretamente à rede, enquanto o rotor é conectado através de um conversor de potência de escala parcial. Normalmente, esse conversor é apenas 25-30% em relação à velocidade síncrona rotórica.

Tipo D – Conceito de turbina eólica com velocidade variável e conversor de potência de escala plena.

- Esta configuração corresponde à turbina eólica com velocidade totalmente variável e controle de passo, usando o gerador conectado à rede através de um conversor de potência de escala plena. Esse conversor realiza a compensação da potência reativa e propicia conexão suave com a rede ao longo de toda a faixa de velocidade. O gerador pode ser excitado através de ímã permanente, ou por um gerador de indução tipo gaiola de esquilo. Este conceito tem total controle da faixa de velocidade, variando de 0 a 100% da velocidade síncrona. Contudo, ele tem perda maior de potência nos dispositivos de eletrônica de potência se comparado com o tipo C, uma vez que a potência gerada tem de passar pelo conversor de potência.

Turbinas eólicas: conexão à rede

A alta penetração das turbinas eólicas nos sistemas elétricos de potência ao longo dos anos indica que o seu status deve mudar, passando de simples fontes energia para usinas com características adequadas de conexão ao sistema de potência. Sendo assim, mais cedo ou mais tarde, as usinas eólicas de grande porte terão de estar adequadas para suportar a conexão à rede, isto é, devem se comportar como componentes ativos controláveis no sistema de potência.

O aumento da participação da energia eólica no sistema de potência nos últimos anos também direcionou o foco para aspectos da qualidade de energia. Sob esse ponto de vista, os aspectos associados à qualidade de energia podem ser divididos em:

- Locais, relacionados à qualidade da tensão nos sistemas de distribuição.
- Globais, relacionados à estabilidade e controle do sistema de potência.

Nos anos 80, por exemplo, as turbinas eólicas, normalmente as de velocidade fixa do tipo A, eram conectadas diretamente à rede de média/baixa tensão (ou seja, no sistema de distribuição). Nessa época, a principal preocupação associada à qualidade de energia era assegurar que a tensão

na rede de distribuição fosse mantida dentro de uma faixa aceitável, a saber, um fator de qualidade de energia local.

Nos últimos anos, a tendência passou de instalações com poucas turbinas eólicas conectadas ao sistema de distribuição para usinas eólicas maiores, com capacidade de várias centenas de MW, conectadas diretamente ao sistema de transmissão. Para essas usinas eólicas de grande porte, o foco na qualidade de energia relaciona-se com o problema de interação de elevados montantes de energia eólica, já que aspectos de controle e estabilidade do sistema de potência devem ser abordados, como um fator de qualidade de energia global.

Os operadores do sistema de transmissão têm adotado códigos de rede específicos para as turbinas eólicas. Hoje em dia, esses códigos de rede estão sendo revistados e atualizados em diversos países, tais como Dinamarca e Alemanha. Um aspecto importante nesses códigos de rede refere-se à capacidade de sustentação das turbinas eólicas durante perturbações. Isso significa a capacidade desses equipamentos permanecerem ligados à rede durante falhas no sistema de potência, evitando perdas significativas na sua geração durante problemas. Os códigos de rede da Dinamarca introduzem um requisito adicional: a capacidade de auxiliar o sistema de potência.

A capacidade das turbinas eólicas depende da tecnologia usada. O tipo de geração mais antigo (como, por exemplo, as turbinas do tipo A) era desconectado da rede mesmo em falhas ou problemas de pequeno porte; e não tinha nenhuma capacidade de sustentação durante perturbações, de acordo com os códigos de rede válidos na ocasião da instalação. Entretanto, com o aumento na participação da energia eólica no sistema de potência, tal desconexão pode agravar uma situação crítica da rede: uma perda elevada e súbita da geração de potência pode tornar o sistema instável.

A presença de equipamentos de eletrônicos de potência propicia recursos de controle maiores e mais agradáveis para que as usinas eólicas preencham os requisitos de conexão à rede. Com geradores de indução conectados diretamente (tipo A e possivelmente tipo B), a perturbação pode ser reduzida se as pás tiverem alteração rápida do passo. Os tipos C e D têm capacidade de permanecerem conectados durante e após uma falta, se equipados com proteção do conversor de potência.

Tendências e Desenvolvimento

A penetração da energia eólica no sistema de potência continua a crescer consideravelmente ao longo dos anos nos países que dispõem de recurso. Atualmente, é obvio que existe uma tendência cada vez maior em substituir turbinas eólicas individuais dispersas pelas concentradas em amplas usinas eólicas, várias delas já foram instaladas no Brasil, por exemplo, em nossa região uma está em fase de instalação no município de São Francisco de Itabapoana (Figura 1), além do uso de capacidades de MW.



Figura 1 - Usina eólica em fase de implantação no município de São Francisco de Itabapoana (RJ)

O desenvolvimento de projetos futuros na indústria de turbinas eólicas vai estar voltado, certamente, para a melhoria gradual da tecnologia já conhecida. O controle de passo deve reduzir o uso das turbinas eólicas com controle total da energia fornecida para a rede. Além do aumento contínuo da capacidade, as tendências atuais de pesquisa e desenvolvimento dos conceitos de turbinas eólicas estão relacionadas, em sua maioria, com energia eólica offshore, incluindo novos conceitos fundamentais, sistemas inteligentes de controle e monitoração e utilização de locais remotos, dando pouca relevância ao impacto visual e a emissão de ruídos.

A conexão de turbinas e usinas eólicas de alta capacidade à rede de energia elétrica consiste num impacto considerável na estabilidade do sistema de potência. Logo, o principal desafio de hoje em dia e dos próximos anos consiste em aperfeiçoar a conexão e a integração dessas usinas com a rede elétrica. A sobrevivência de diferentes conceitos de turbinas eólicas está enormemente condicionada à sua capacidade de conexão na rede e de atender aos requisitos dos operadores do sistema de potência.

Os equipamentos de eletrônica de potência das turbinas e usinas eólicas são a principal

ferramenta para atender às demandas técnicas dos operadores de sistema de potência. A presença da eletrônica de potência leva a um maior interesse nos conceitos de velocidade variável – isto é, tipos C e D – que já têm participação substancial e crescente no mercado de energia eólica. A operação com velocidade variável é atrativa para turbinas integradas às usinas eólicas por diversas razões, incluindo a redução do stress mecânico, aumento na captação de energia, redução nos ruídos e capacidade de controle, que é a primeira preocupação para integração das usinas de grande porte à rede de energia elétrica.

No futuro, parece que os tipos C e D devem dominar o mercado, com tecnologias promissoras para usinas eólicas de alta capacidade, pois nesses conceitos a velocidade é variável. Ambos devem continuar a competir no mercado, cada qual com suas características. Além disso, será interessante acompanhar o desenvolvimento e a competição entre a implementação do tipo D “tradicional”, com o gerador de excitação elétrica multipolar (sem caixa de engrenagem), e as duas mais novas propostas do tipo D, usando gerador síncrono com imã permanente, e com o gerador de indução do tipo gaiola de esquilo.

Os equipamentos de eletrônica de potência podem também suportar operação com velocidade variável para usinas eólicas formadas por turbinas com velocidade fixa (tipo A), como no caso da configuração da turbina eólica baseada na transmissão de alta-tensão em corrente contínua. Foi demonstrado que o interesse do mercado no conceito de turbinas eólicas com velocidade (tipo A) reduziu-se lentamente em favor dos conceitos com velocidade variável. Entretanto, esse interesse nas turbinas com velocidade fixa pode aumentar se comprovado que as usinas eólicas baseadas na transmissão de alta-tensão em corrente contínua, formadas por turbinas do tipo A, são robustas para problemas na rede.

Assim como em todas as tecnologias, o futuro é difícil de ser previsto. Conceitos de outras áreas ou outras aplicações podem influenciar profundamente os projetos futuros. Entretanto, os dispositivos de eletrônica de potência vão continuar, certamente, a exercer papel fundamental na integração de futuras usinas eólicas de ampla capacidade à rede. A rapidez do desenvolvimento da eletrônica de potência oferece amplos recursos, assim como menor preço por KW. Nesse contexto, deverão ser desenvolvidos novos conceitos de geradores de turbinas eólicas, voltados especificamente para uma determinada aplicação, com desempenho comprovado para atender às expectativas do mercado. Além disso, eles serão testados para diferentes critérios, uma vez que as expectativas de mercado são diferentes ao redor do mundo.

Por muitos anos as necessidades de mercado continuarão a direcionar a inovação dos projetos de turbinas eólicas.

Conclusão

Existe uma tendência no aumento da constante da capacidade das turbinas eólicas, as de capacidade da ordem de MW cada vez mais ganham espaço. É esperado que a capacidade aumente muito mais, tanto em termos de turbinas quanto do desenvolvimento de usinas eólicas de grande porte, ligados devidamente à rede sem a preocupação de falhas com o desenvolvimento também dos dispositivos de potência empregados a esse fim.

O que determina a utilização dos diferentes conceitos de turbinas eólicas é a capacidade de cada um de se conectar a rede de energia elétrica, geralmente sendo utilizados os que mais se adequam à necessidade requerida. A presença dos equipamentos de eletrônica de potência nas turbinas é considerada, pois oferece recursos melhores e mais vantajosos para o controle do sistema, evidentemente que as turbinas com velocidade variável continuará a ser mais utilizadas. Futuramente a eletrônica de potência continuará exercendo seu papel fundamental no aperfeiçoamento das turbinas eólicas em grande escala com o sistema de fornecimento de energia elétrica.

Contudo, o sucesso dos diferentes tipos de turbinas eólicas está ligado à sua capacidade em atender às expectativas do mercado e também aos requisitos de distribuidoras de energia elétrica.

Referência

HANSEN, A. D.; HANSEN, L.H. Turbinas eólicas: as principais tecnologias e sua participação no mercado. Revista Eletricidade Moderna, v. 37, n. 420, p. 112-123, mar. 2009.