

PEQUENOS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE

Sérgio H. F. Oliveira - shfo@iee.usp.br

Roberto Zilles

Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos - Instituto de Eletrotécnica e Energia – Universidade de São Paulo

RESUMO

Para que a energia solar fotovoltaica possa expandir seu campo de atuação é necessário garantir que os sistemas que utilizem essa tecnologia não ofereçam nenhum tipo de risco a quem esteja lidando com ela, seja como usuário seja como produtor. Para que isso seja possível, é necessário estabelecer, previamente, as normas e as regulamentações relacionados com a utilização da tecnologia.

Este trabalho discute alguns aspectos particulares, relacionados com a segurança na instalação e operação de sistemas fotovoltaicos incorporados à fachada de edificações e conectados à rede de distribuição de energia elétrica. Este tipo de sistema possui particularidades que necessitam de abordagem específica. Assim, junto com a experiência adquirida na instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, iniciou-se um estudo no sentido de estabelecer os parâmetros importantes para a realização de uma instalação segura tanto sobre o ponto de vista da concessionária de energia, quanto dos usuários da edificação onde será instalado o sistema.

Neste trabalho, apresentamos também, uma descrição do sistema fotovoltaico conectado à rede, instalado no Instituto de Eletrotécnica e Energia.

SUMMARY

In order to achieve dissemination of photovoltaic solar energy in conventional use, as for instance through grid connected systems, standards and regulators must be followed to guarantee total safety to either users/producers or utility.

Some particular aspects on safety in implementation and operation of photovoltaic systems connected to the grid, installed on facade of buildings are discussed and parameters to a safe installation are established.

A description of the photovoltaic grid connected system installed at the Energy and Electrotechnical Institute, in São Paulo University is also showed in this paper.

INTRODUÇÃO

Existem uma série de aplicações possíveis à energia solar fotovoltaica. Essas aplicações podem ser classificadas segundo, por exemplo, o uso final que terá a energia fotogerada. Nesse trabalho enfocaremos os sistemas denominados edificações fotovoltaicas conectadas à rede de distribuição de energia elétrica (EFCR).

As EFCR são, portanto, uma das aplicações da tecnologia fotovoltaica. Nesse caso, a fachada ou o teto de uma edificação é utilizada como suporte aos geradores fotovoltaicos. Com a ajuda de um inversor, a energia produzida inicialmente sob tensão e corrente contínuas passa a ser disponibilizada em tensão e corrente alternada, podendo ser diretamente inserida na rede de distribuição de eletricidade ou utilizada em qualquer um dos equipamentos elétricos instalados na edificação. O fato desses sistemas serem conectados à rede elétrica possibilita a não utilização de armazenadores eletroquímicos de energia, diminuindo significativamente o custo financeiro dos sistemas.

As edificações fotovoltaicas passam portanto a ser produtoras independentes de energia. Assim, se houver consumo elétrico durante um dia de sol, a edificação passa a utilizar a energia produzida por seu próprio sistema. Se não houver consumo diurno ou este for inferior à geração solar fotovoltaica naquele dia, a energia produzida em excesso passa a ser disponibilizada para a companhia distribuidora de eletricidade. Durante a noite, período onde não há geração fotovoltaica de energia, toda a demanda é suprida pela rede elétrica. Dessa forma, o usuário compra uma menor quantidade de energia da rede, diminuindo a carga energética da concessionária. Esses sistemas fornecem, portanto, uma ferramenta a mais para que as concessionárias de energia possam gerir a disponibilidade de energia da cidade.

Existem, no entanto, uma série de dificuldades que as EFCR terão de enfrentar. Em primeiro lugar, não se tem dados sistemáticos sobre o seu comportamento quando expostos ao clima tropical brasileiro. Em segundo lugar, apesar da legislação do país prever a figura do gerador independente de energia, as relações de compra e venda do produto energia ainda não estão bem definidas. Em terceiro lugar, a energia fotogerada por esses sistemas ainda é cara quando comparada aos valores praticados pelas concessionárias produtoras de eletricidade. Dificuldades

dessa ordem impedem que as EFCR sejam consideradas como uma forma complementar de produção de eletricidade.

Apesar das dificuldades existentes na implementação de edificações fotovoltaicas, seu uso massivo, em um futuro próximo, requer o estabelecimento de uma regulamentação.

Esta regulamentação deverá garantir que o sistema fotovoltaico instalado na edificação não represente um risco para a rede de distribuição de eletricidade ou para quem ocupe o edifício. Além disso, essa regulamentação deverá estabelecer os requisitos de qualidade da energia gerada por esses sistemas referentes a, por exemplo, fator de potência, distorções harmônicas etc.

Como a utilização desses sistemas é fato relativamente novo dentro do contexto energético brasileiro, há uma carência de discussões e reflexões que procurem estabelecer parâmetros e condições para a difusão desta tecnologia, particularmente na aplicação em questão. Além do sistema que está sendo instalado no IEE/USP pode-se mencionar apenas a experiência da UFSC [1].

Neste sentido, esse trabalho pretende dar início às primeiras discussões identificando e descrevendo os aspectos técnicos relacionados com a segurança desses sistemas, contribuindo assim com um início de uma reflexão carente de discussões. Este trabalho apresenta também uma descrição do sistema fotovoltaico instalado no IEE-USP.

ASPECTOS RELACIONADOS COM A SEGURANÇA

Toda instalação geradora de energia elétrica deve satisfazer a requisitos de segurança e qualidade da energia gerada. Tratando-se de edificações fotovoltaicas, onde pessoas realizam suas atividades cotidianas, a existência de um sistema fotovoltaico não deve acarretar em qualquer tipo de risco adicional a quem quer que seja.

A implementação de um sistema fotovoltaico em uma edificação trabalhando em paralelo com a rede deve considerar as cargas adicionais sobre a estrutura do edifício e a exigência de cumprir as normas vigentes para a construção de edificações. Da mesma forma, a instalação elétrica deve satisfazer os requisitos exigidos pela norma técnica – “Instalações elétricas de baixa tensão” [2].

REQUISITOS DE SEGURANÇA – ASPECTOS RELATIVOS AOS USUÁRIOS DA EDIFICAÇÃO

Toda instalação elétrica que trabalhe com tensões superiores a 48 V deve tomar cuidado com problemas relativos à segurança e utilizar exclusivamente materiais homologados. Especial atenção deve ser dada aos corretos isolamento e aterramento da instalação. Mesmo realizando todos os procedimentos recomendados podem aparecer falhas que ponham em risco os usuários.

As falhas podem conduzir a dois tipos de problemas:

O primeiro deles são as descargas elétricas recebidas pelas pessoas em caso de contato acidental com partes acessíveis da instalação. Nesse sentido recomenda-se duas medidas de segurança:

- Aterrar todos os elementos metálicos significativos.
- Não superar a tensão nominal de trabalho DC de 170V.

O segundo problema, que afeta a edificação e os usuários, são os incêndios provocados por arcos voltaicos devido a curto circuitos. Evitar esse problema através de um mecanismo automático de detecção apresenta a dificuldade de implementação devido às características de operação dos geradores fotovoltaicos. A corrente de operação é próxima a corrente de curto circuito. A solução para este risco consiste em adotar as seguintes medidas de segurança:

- Minimizar a probabilidade de ocorrer curtos circuitos separando bem os fios correspondentes aos pólos positivos e negativos na caixa de conexão em DC.
- Proteger os fios de curtos circuitos utilizando cabos unipolares, com isolamento apropriado para o trabalho na intempérie e com capacidade de suportar a corrente de curto circuito na pior condição de operação.
- Recomenda-se também utilizar eletrodutos separados para o potencial negativo e positivo.

REQUISITOS DE SEGURANÇA ASPECTOS RELATIVOS À REDE ELÉTRICA

As exigências por parte do distribuidor de energia elétrica buscam, basicamente, dois objetivos:

- Não alterar as condições de segurança nem a qualidade da energia fornecida aos clientes.
- Não criar condições perigosas de trabalho para o pessoal da manutenção da rede de distribuição

O primeiro objetivo perseguido pode ser obtido adotando os seguintes requisitos:

1 – No inversor, adotar mecanismos de desconexão automática da rede quando alguma das fases do inversor sai das seguintes margens de operação:

- Tensão entre 0,85 e 1,1 vezes o valor nominal.
- Fator de potência superior a 0,9.
- Frequência entre 59 e 61 Hz.

2 – Isolar galvanicamente as parte AC e DC da instalação.

3 – Utilizar inversor trifásico para potências superiores a 5 kVA.

Já com relação ao segundo objetivo, isto é, evitar que o inversor funcione em ilha, garantindo assim a segurança da equipe de manutenção da concessionária, deve-se adotar somente inversores sincronizados pela rede. Isto porque, para garantir a segurança do seu pessoal de manutenção, as companhias encarregadas pela distribuição elétrica exigem que, ao desconectar uma linha da rede, os possíveis sistemas de geração fotovoltaica, presentes nessa linha, não mantenham a tensão nela.

Os inversores sincronizados pela rede tomam como referência para a geração dos impulsos de comutação de seus dispositivos semicondutores a própria frequência da rede, dessa forma, quando a linha é desligada, o inversor desconecta-se.

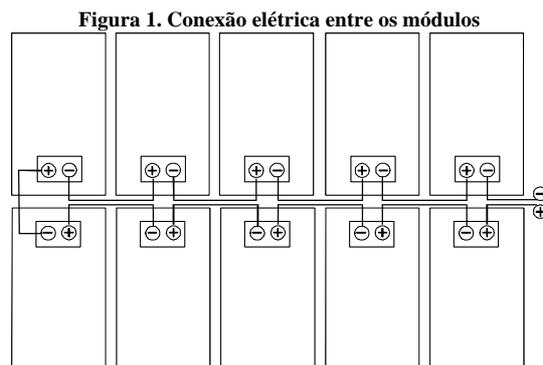
Os requisitos apresentados representam apenas uma primeira formulação de uma regulamentação técnica para as edificações fotovoltaicas no Brasil. Baseados nesses requisitos, realizamos uma instalação experimental para avaliar o comportamento desses sistemas. A seguir apresentamos uma descrição desse sistema.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema fotovoltaico recentemente instalado no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo – IEE/USP é parte de um projeto JP da FAPESP sob processo no 95/09242-7 “Programa para o Desenvolvimento das Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica”.

A figura 1 mostra a forma como os módulos foram conectados entre si.

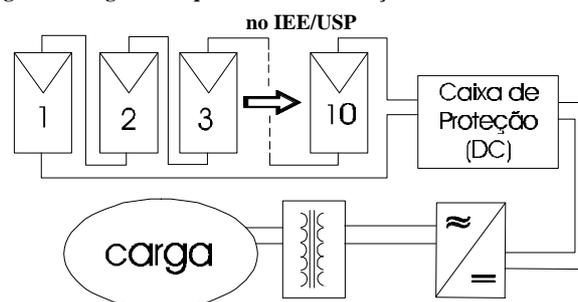
Observando a figura 1 podem-se notar que o sub-sistema de geração fotovoltaica é composto por dez módulos conectados em série. Os módulos utilizados são da Siemens modelo SP75, de 75 Wp cada, totalizando uma potência nominal de 750 Wp com tensão e corrente de trabalho de cerca de 170 V e 4,4 A respectivamente. Isso se a irradiação incidente for de aproximadamente 1000 W/m² e temperatura de célula igual a 25 °C. O ângulo de inclinação dos módulos é de aproximadamente 23°. Com isso pretende-se otimizar a disponibilidade de radiação solar ao longo do ano.



Na figura 2 é apresentado um diagrama de blocos que representa a forma como foi feita instalação fotovoltaica como um todo.

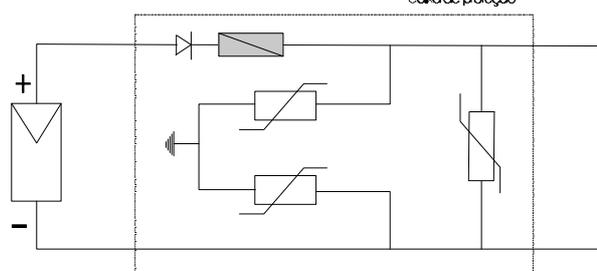
Observando o esquema da figura 2, notamos que foi utilizada uma caixa de proteção na parte em que o sistema trabalha em corrente contínua. Esta caixa tem a finalidade de proteger a instalação e o laboratório de eventuais sobre-tensões que possam atingir o sistema, seja proveniente da rede, seja proveniente de um raio que atinja os módulos. A figura 3 apresenta um esboço do circuito utilizado nessa caixa de proteção.

Figura 2. Diagrama esquemático da instalação fotovoltaica localizada no IEE/USP



Observando novamente a figura 2 podemos verificar que logo após a caixa de proteção foi instalado um inversor DC/AC da SMA, modelo SWR700, monofásico de 700 W de potência nominal. O inversor recebe a energia em corrente contínua e a transforma em corrente alternada a uma frequência de 60 Hz e tensão de 220 V entre a fase e o neutro.

Figura 3. Esquema elétrico da caixa de proteção DC

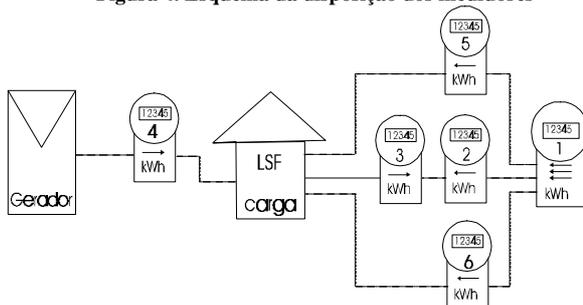


Depois do inversor, como mostra novamente a figura 2, foi instalado um transformador monofásico de 1,5 kVA, responsável em transformar a tensão de 220 V na saída do inversor em 127 V (entre fase e neutro), tensão de trabalho da rede elétrica do IEE. Assim, é possível conectar o sistema solar fotovoltaico diretamente na rede elétrica do laboratório. Além da função de acoplamento de tensões, o transformador também atua como isolador galvânico entre a rede e o sistema fotovoltaico.

O sistema fotovoltaico foi conectado na fase mais carregada dentre as três existentes no laboratório. Para monitorar o fluxo de energia no laboratório foram instalados 6 medidores de energia, 1 trifásico e 5 monofásicos. O primeiro, trifásico, mede a energia total entregue pela rede elétrica ao laboratório. Três dos medidores monofásicos determinam a energia entregue pela rede em cada uma de suas três fases. Os outros dois medidores monofásicos determinam a energia que entra no laboratório proveniente dos geradores fotovoltaicos e a energia que é cedida à rede na fase em que está conectado. Assim temos condições de saber a quantidade de energia que o sistema produz, a fração dessa energia consumida no laboratório e a fração que é disponibilizada para a rede. A figura 4 apresenta um esquema dos medidores instalados no laboratório.

Além de monitorar os fluxos de energia através das medidas feitas pelos medidores representados esquematicamente na figura 4, o comportamento do sistema fotovoltaico é monitorado por meio de um software (sunny data) que, através de um power line conectado na saída do inversor, monitora a evolução temporal de parâmetros como a tensão em DC entregue pelos módulos. Na parte AC pode-se monitorar a potência, a tensão, a corrente, a energia gerada etc. Com isso é possível construir gráficos representando a evolução temporal de todos os parâmetros apresentados. Para conseguir estimar a eficiência de conversão dos módulos é necessário medir a quantidade de energia solar incidente no plano dos módulos. Para tanto, foi instalada, no mesmo plano dos módulos do sistema, uma célula solar fotovoltaica calibrada. Assim, é possível inferir a irradiação solar incidente a partir da tensão fornecida pelos terminais da célula. Os dados fornecidos pela célula são coletados e armazenados em arquivos digitais que são analisados juntamente com os dados tirados da saída do inversor.

Figura 4. Esquema da disposição dos medidores



COMENTÁRIOS FINAIS

O experimento da conexão de um sistema fotovoltaico na rede de distribuição de eletricidade tem como objetivos principais o estudo do comportamento técnico deste tipo de sistemas e o início da discussão sobre as possibilidades da inserção dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no contexto energético brasileiro. Além dos aspectos técnicos a serem estudados durante a operação do sistema instalado no IEE, uma série de outros aspectos relacionados com a regulamentação e gestão da demanda estarão sendo estudados.

Experiências como estas são importantes para a divulgação das aplicações da energia solar fotovoltaica, propiciando um campo fértil para a realização de discussões sobre a viabilidade e as formas de inserção dessa aplicação.

Apesar da pequena potência que estamos conectando em paralelo à rede de distribuição, poderemos estabelecer requisitos de segurança e procedimentos de conexão que poderão ser úteis para outras formas de geração independentes de energia.

O sistema descrito está atualmente em fase de testes. No início do mês de abril de 1998 o sistema foi inaugurado dando início portanto a fase de coleta de dados.

Estão sendo monitorados na parte DC da instalação os seguintes parâmetros: tensão e corrente de geração e a irradiação incidente no plano dos módulos. No lado AC da instalação monitora-se a tensão, a corrente, a energia gerada na saída do inversor, a energia na saída do transformador, a energia proveniente da rede de distribuição e a que o sistema disponibiliza para consumo externo.

Com isso, podemos determinar o perfil de geração do campo de módulos, a eficiência do inversor e do transformador e a quantidade de energia que o laboratório consome da rede e a que disponibiliza para a mesma.

Além disso, estarão sendo realizadas medidas da qualidade da energia entregue pelo inversor à rede. Isso será feito, principalmente, através da verificação de existência de harmônicos na energia produzida e no monitoramento do fator de potência do sistema.

Nesse trabalho, foi dada ênfase aos aspectos legais e de segurança relacionados com a instalação e utilização de edificações fotovoltaicas conectadas à rede elétrica. No entanto, outra importante questão relacionada com a utilização desses sistemas é a possível contribuição que os mesmos podem dar ao planejamento energético pelo lado da oferta. Caso ocorra uma maior difusão em sua implementação, esses sistemas podem ser utilizados como fonte complementar de geração de eletricidade. Neste caso, uma análise mais apurada da capacidade de gerenciamento da oferta contando com a contribuição de geradores intermitentes deverá ser realizada.

AGRADECIMENTOS

A execução desse trabalho conta com o apoio da FAPESP e a colaboração da ELETROPAULO – METROPOLITANA.

BIBLIOGRAFIA

[1] - Rüther R, “The first grid-connected, building integrated, thin film photovoltaic installation in Brasil”, 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1997, Book of abstracts.

[2] - NBR 5410:1997 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Associação Brasileira de Normas Técnicas.