Nota Técnica – Otimizando Sistemas FV com Módulos de Filme Fino

Introdução

Os módulos cristalinos e os de filme fino diferem na estrutura: os módulos cristalinos consistem de células individuais quadradas (Figura 1), enquanto que os de filme fino são feitos de tiras de células (Figura 2), que criam o seu visual característico de risca de giz. Isto resulta em diferentes tensões e correntes do módulo bem como comportamentos diferentes em condições de sombreamento.

O propósito deste documento é descrever o comportamento dos módulos de filme fino em diversas situações e o benefício de utilizar otimizadores de potência em cada caso.

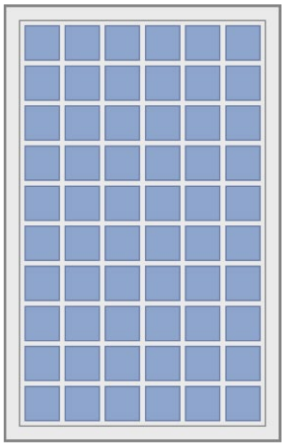


Figura 1: Estrutura do módulo cristalino

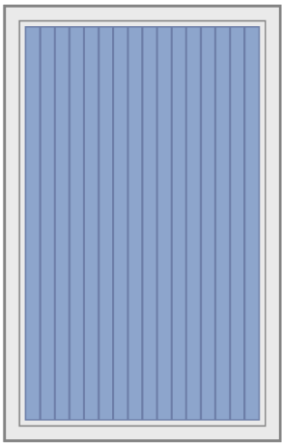


Figura 2: Estrutura do módulo de filme fino

Considerações sobre Sombreamento

Muitos módulos de filme fino são considerados mais imunes aos efeitos de sombreamento, uma vez que os diodos de bypass são muitas vezes desnecessários devido a maior área de superfície das células e à baixa corrente da célula em comparação com os módulos cristalinos. Portanto, apenas as células afetadas pelo sombreamento não contribuem para a geração de energia. Diferentemente, nos módulos cristalinos toda a sub-string protegida pelo diodo de bypass não contribui para a geração de energia quando parte dela estiver sombreada (Figura 3).

Além disso, o layout da célula risca de giz geralmente reduz o efeito do sombreamento. Em casos de sombreamento uniforme, por exemplo, sobreamento entre as fileiras (Figura 6), o sombreamento nos módulo é uniforme, minizando as perdas devido ao mismatch. Dependendo do layout do módulo, ou a corrente da string (Figura 4) ou a tensão do módulo (Figura 5) diminuem.

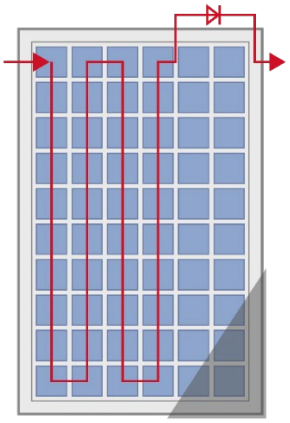


Figura 3: Impacto do diodo de bypass

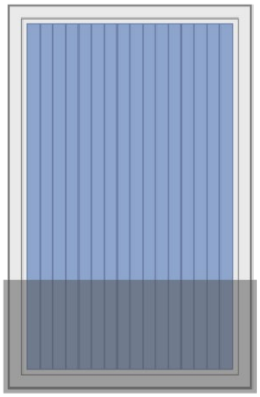


Figura 4: Sombreamento horizontal

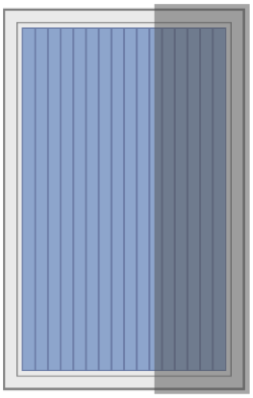


Figura 5: Sombreamento vertical

O impacto do sombreamento horizontal no mismatch da string é limitado se todos os módulos estiverem sombreados igualmente. Porém, no caso de sombreamento entre as fileiras, a primeira fileira de módulos não está sombreada enquanto as demais estão. Em outras palavras, as perdas devido ao mismatch irão ocorrer nas strings que se extendem através da primeira e segunda (ou mais) fileiras (Figura 6). Utilizando os otimizadores de potência, evita-se estas perdas devido ao mismatch.

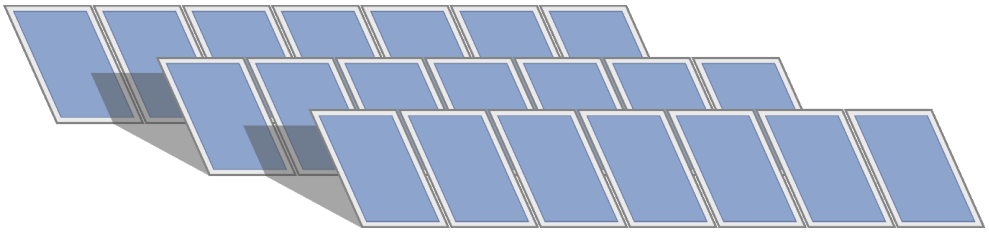


Figura 6: Sombreamento entre fileiras

Se ocorrer sombreamento vertical combrindo as fileiras de células completamente, não há perdas devido ao mismatch uma vez que a corrente da string permanece constante. Este é o caso mesmo se houver módulos sombreados e não sombreados na string. Porém, no caso de falta de tensão nas fileiras de células sombreadas, pode causar mismatch pela tensão entre as strings em paralelo ocasionando perdas. Em alguns casos, a tensão pode cair abaixo da tensão mínima do MPP. Isto significa que se faixa da tensão do MPP do inversor for de 570-800V por exemplo, e a tensão do MPP onde não há sombreamento for de 700V, a tensão cai abaixo da tensão minima do MPP quando apenas 20% das células estiverem sombreadas (80% x 700V = 560V). Se isto acontecer, as perdas ocorrem uma vez que a string não está mais operando no ponto ideal. No pior cenário, o inversor poderia ser desativado. Em tais situações, os otimizadores de potência com tensão CC fixa mantêm a tensão no ponto operacional máximo do inversor e evita as perdas. Os módulos individuais na string continuam a operar no ponto de máxima potência.

As perdas por mismatch também ocorrem em sistemas de filme fino com sombreamento parcial (ex.: sistemas comerciais instalados em telhados, como na Figura 7). Enquanto estas perdas são inferiores se comparado aos sistemas com módulos cristalinos, como o diodo de bypass não desvia das células sem sombreamento, elas permanecem significativas. Dependendo da extensão deste sombreamento parcial e de qualquer sombreamento uniforme adicional devido ao sombreamento entre as fileiras, as perdas devido ao mismatch podem ser maiores do que o previsto para sistemas de filme fino "tolerantes à sombra".

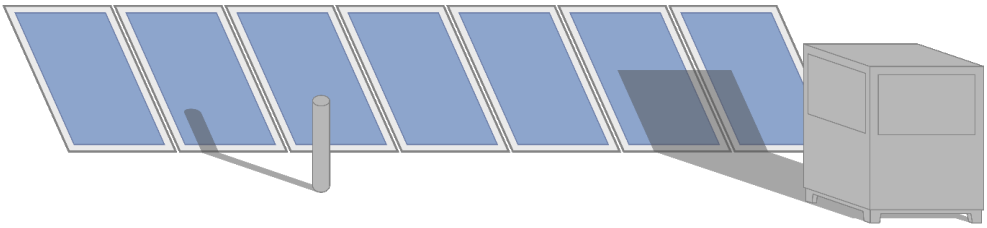


Figura 7: Sombreamento parcial

Em outras palavras, os projetistas do sistema devem considerar as perdas devido ao mismatch para todos os cenários de sombreamento. Enquanto o impacto nos sistemas de filme fino é menor do que nos sistemas com módulos cristalinos, ele não pode ser ignorado. Utilizar otimizadores de potência previne as perdas devido ao mismatch e fornece aos projetistas maior flexibilidade.

Tolerância dos Módulos

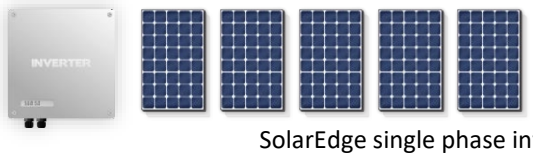
Os módulos de filme fino têm frequentemente maiores tolerâncias de corrente e tensão. Isto pode levar a maiores perdas devido ao mismatch em uma string. O fator de forma mais baixo geralmente neutraliza esta desvantagem, o que reduz o efeito dos desvios do ponto MPP. As perdas devido ao mismatch geralmente dependem de quanto um único módulo varia dentro da largura de banda permitida. Quanto maior a variação do módulo, maior o beneficio de energia quando os otimizadores de potência são utilizados.

As funções de monitoramento oferecidas pelos otimizadores de potência revelam os desvios reais dos módulos individuais. Estas diferenças não são normalmente detectadas nos sistemas tradicionais.

Conexão da String

Devido ao grande número de células individuais, menores correntes de célula e módulo e tensões mais altas dos módulos que são tipicamente características dos módulos de filme fino. Isto significa que poucos módulos podem ser conectados em série. Alguns módulos de filme fino têm tensões maiores durante a sua operação inicial, reduzindo ainda mais o possível comprimento da string. Os otimizadores de potência podem reduzir a tensão de saída e aumentar a corrente de saída, permitindo que mais módulos possam ser conectados em série. Com os inversores monofásicos SolarEdge, podem ser conectados em série até 5.250Wp, e em série até 11.250Wp com inversores trifásicos SolarEdge. Isto reduz a complexidade da conexão e do cabeamento e, consequentemente, reduz os custos de instalação significativamente (Figura 8).

Inversor monifásico tradicional ➡ 4-7 x 170W módulos de fime fino



SolarEdge single phase inverter ➡ up to **30** x 170 W thin-film modules
Inversor monofásico SolarEdge ➡ Até 30 módulos de filme fino 170 W

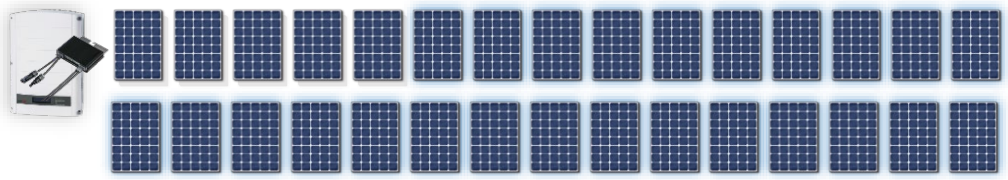


Figura 8: Exemplo comparativo do comprimento das strings: inversor string x inversor SolarEdge

As tensões dos módulos normalmente altas, que podem exceder 100V, indicam que o design do inversor é muito restrito. Em consequência, há normalmente apenas uma ou duas opções para o comprimento da string (ex.: o número de módulos conectados em série), por exemplo 5 ou 6 módulos de 170W por string. Isto significa que o sistema não pode sempre acomodar o número necessário de módulos no telhado, Por exemplo, o projeto de um sistema de 4kW utilizando os módulos acima (ex.: módulos que podem ser conectados em strings com apenas 5 ou 6 módulos) ou o sistema não utilizará todo o espaço disponível no telhado – se conectar 24 ou 25 módulos (5x5 módulos ou 4x6 módulos), ou excederá o espaço disponível ou o tamanho do sistema permitido – se conectar 30 módulos (6x5 módulos ou 5x6 módulos).

Os otimizadores de potência permitem que você utilize o número exato de módulos requeridos. Por um lado, isto permite o inversor ser dimensionado para economia máxima enquanto, por outro lado, o número flexível de módulos significa que toda a área do telhado pode ser otimizada.

Perda de Potência do Módulo

Os módulos de filme fino (assim como os módulos cristalinos) podem exibir mecanismos de falha que causam perda de potência do módulo ao longo do tempo. Enquanto os módulos cristalinos podem sofrer com PID (Degradação Induzida por Potencial), os módulos de filme fino possuem mecanismos irreversíveis como corrosão por condução do óxido transparente (TCO). Isto significa que o dano no módulo e as perdas de potência associadas não podem ser retificados. Como resultado, é importante detectar o dano o mais cedo possível. Como as causas dos mecanismos de falha são normalmente relacionadas à tensão dos módulos à terra ou ao meio ambiente, a queda de potência começa normalmente em uma extremidade da string (Figura 9).

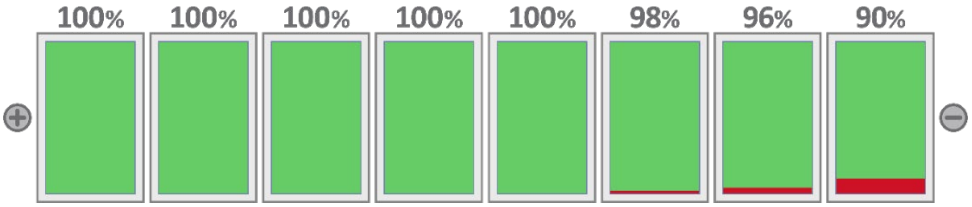


Figura 9: Perda de potência na string

No exemplo apresentado, o rendimento da string é de 98% do rendimento potencial. Mesmo quando utilizar um sensor externo, o desvio está dentro das tolerâncias e, portanto, podem não ser detectados facilmente. Como as correntes da célula e do módulo são normalmente baixas, os módulos de filme fino devem ser conectados em paralelo, ex.: as informações sobre as correntes individuais dos módulos e das strings são perdidas. O problema não pode ser detectado até que o módulo com defeito tenha um efeito tão advserso na corrente da string que as perdas devido ao mismatch afetem o rendimento de toda a string. Em outras palavras, problemas nos módulos individuais não são detectados até que seja tarde demais.

Os otimizadores de potência, que também fornecem monitoramento a nível de módulo, detectam este tipo de problema no estágio inicial mesmo quando um único módulo for afetado. A detecção precoce reduz os riscos para o operador e danos ao sistema.

BIPV

Os módulos de filme fino são particularmente comuns nos Painéis Solares Integrados à Construção – BIPV. Eles normalmente são preferidos devido a sua aparência uniforme além destas instalações serem frequentemente mais afetadas pelo sombreamento. Em particular, as superficies verticais são afetadas pelo sombreamento na maioria das vezes, ex.: prédios

vizinhos e copas das árvores.

Em situações como essas, os otimizadores de potência reduzem as perdas por mismatch devido ao sombreamento. Além do mais, o monitoramento do rendimento do módulo indica se as perdas são causadas pelo sombreamento ou por falhas no sistema. As funções de segurança adicionais como desligamento do módulo são particularmente importantes nos sistemas integrados à construção.

Resumo

mbora muitos módulos de filme fino tenham perdas menores por sombreamendo devido ao design, os projetistas devem avaliar o nível de sombreamento máximo aceitável. Em particular, o custo total do sistema, incluindo os custos mais elevados com cabeamento, e as tensões fora da faixa do MPP não são normalmente levadas em consideração. O uso dos otimizadores de potência superam estes efeitos, reduzem os custos e adicionam valor para os clientes com funções adicionais como monitoramento a nível de módulo e desligamento automático.