

# Nota Técnica sobre os Efeitos do Diodo de By-pass em Condições de Sombreamento

## Introdução

Os diodos de by-pass são uma adição padrão em qualquer módulo fotovoltaico cristalino. A função do diodo de by-pass é eliminar o fenômeno hot-spot que pode danificar as células FV e até mesmo causar incêndio se a luz que atinge as células FV em um módulo não for uniforme. Os diodos de by-pass são geralmente colocados nas substrings do módulo FV, um diodo para até 20 células FV. Esta configuração elimina a criação de hot-spots e possibilita que os módulos FV operem com a maior confiabilidade durante a sua vida útil.

Além de cumprir efetivamente esta função, muitas pessoas acreditam que os diodos de by-pass também são eficazes na redução da perda de energia devido ao sombreamento nas instalações FV. Isto não é verdadeiro. Neste documento, analisaremos vários cenários do cotidiano e mostraremos como os diodos de by-pass podem causar realmente grande perda de energia.

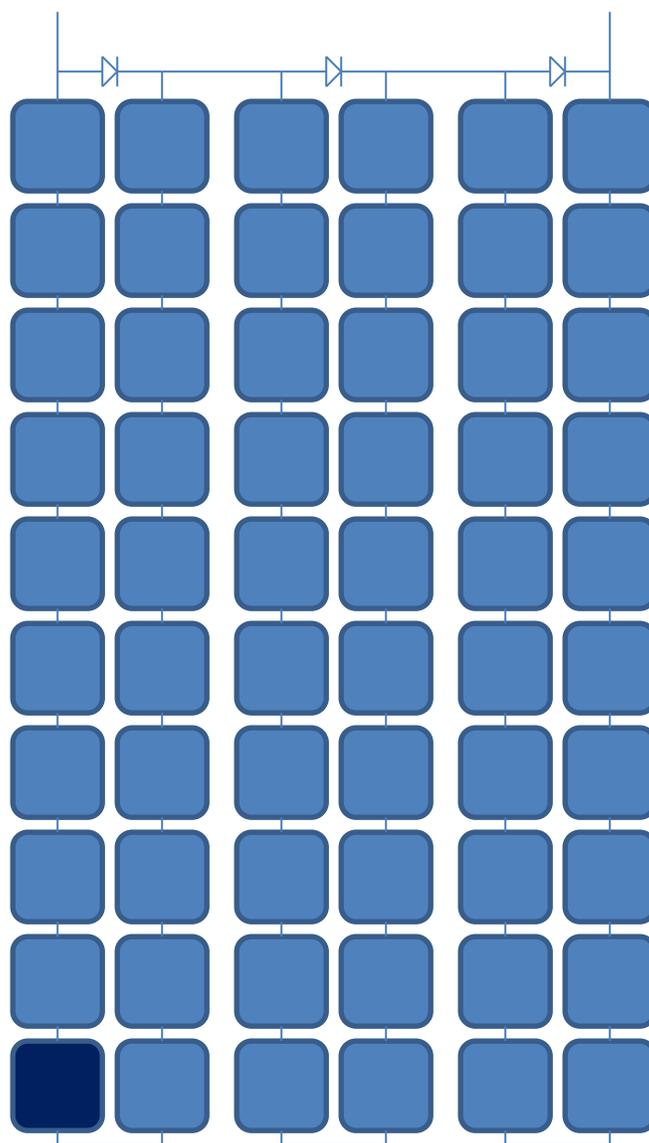
## A Estrutura do Módulo FV

Um módulo FV padrão de 60 células é normalmente fabricado com três substrings, cada uma protegida por um diodo de by-pass. As três substrings estão conectadas serialmente para formar o módulo FV. Enquanto a luz que incide na superfície das células do módulo FV for uniforme, cada célula produzirá aproximadamente 0,5V. Cada tensão da substring será de +10V. Cada diodo de by-pass terá -10V na sua entrada e não conduzirá nenhuma corrente.

As células do módulo FV são, na verdade, fotodiodos. Elas convertem diretamente a luz que incide na sua superfície em corrente elétrica. As células sombreadas não podem produzir a mesma quantidade de energia que as células não sombreadas. Porque todas as células em um módulo FV estão conectadas em séries, diferenças de corrente causam diferenças em tensão.

Se uma tentar conduzir alta corrente através de uma célula sombreada a sua tensão se tornará negativa na verdade. A célula está consumindo energia ao invés de produzi-la. A energia consumida pela célula faz com que ela aqueça e eventualmente queime. Nestes casos, a tensão da substring torna-se negativa e a corrente passa através do diodo de by-pass ao invés de passar pela célula FV sombreada.

O ponto exato em que a célula FV se torna um consumidor de energia ao invés de produtor muda entre os diferentes tipos de células e diodos, mas geralmente uma diferença de 20% entre a luz que incide nas superfícies das diferentes células em uma substring é suficiente para ativar o diodo de by-pass da substring.



## Sistema do Inversor FV Tradicional (Centralizado)

Um sistema FV tradicional compreende strings de módulos FV conectados em séries a um inversor. A função do inversor é extrair o máximo de potência que pode ser produzida dos módulos controlando a sua corrente ou tensão e converter a energia produzida da tensão CC para a tensão CA sincronizada da rede.

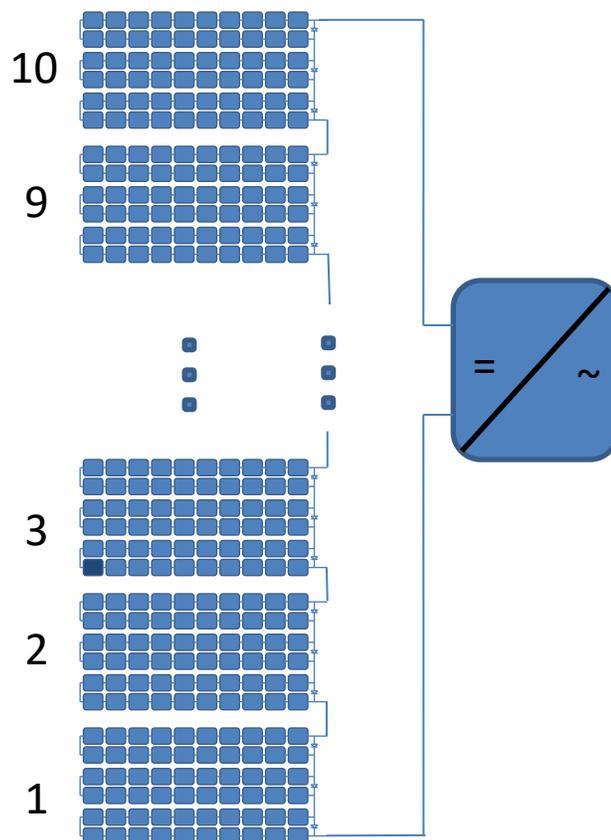
Para nosso exemplo, consideramos um sistema que compreende uma única string com 10 módulos conectados a um inversor. Neste exemplo, assumimos que o módulo FV #3 tem uma única célula que recebe 20% menos luz do que as demais.

Uma vez que a corrente que circula pela string é idêntica para todos os módulos (conexão serial), o inversor centralizado tem duas opções:

1. Operar no seu ponto de potência máxima de todos os módulos enquanto ativando o diodo de by-pass da substring parcialmente sombreada no módulo #3. Neste caso, a energia produzida da string deveria ser  $9 \cdot 10\% + 1 \cdot 6,6\% = 96,6\%$  da potência total.
2. Reduzir a corrente para 80%, garantindo que o diodo de by-pass no módulo #3 não será ativado. Neste caso, a energia produzida seria  $10 \cdot 8\% = 80\%$  da potência total.

Em uma instalação SolarEdge, com um otimizador de potência (rastreador do MPP) em cada módulo,  $9 \cdot 10\% + 1 \cdot 8\% = 98\%$  de potência total deveria ser produzida (todos os módulos têm corrente máxima circulando por eles exceto o módulo #3 que tem 80% da corrente circulando).

Neste exemplo, percebemos que uma obstrução muito pequena, que reduz a quantidade de luz atingindo uma única célula FV em um módulo, pode causar uma perda de 3,4% da produção total de energia devido ao MPPT centralizado e ao diodo de by-pass. Esta perda pode ser recuperada usando o sistema SolarEdge que inclui rastreadores de MPP a nível de módulo.



Outro caso comum é a sombra que afeta a parte inferior do módulo FV. Consideraremos o mesmo sistema FV descrito acima. Assumiremos que a região sombreada da parte inferior das células é de 30% da área da célula. Neste caso, o MPPT no inversor centralizado tem as seguintes opções:

1. Conduzir corrente total através dos módulos, perdendo toda a energia do módulo sombreado:  $9 \cdot 10\% + 1 \cdot 0\% = 90\%$  da potência total.
2. Conduzir 70% da corrente para que todos os módulos produzam energia. Neste caso,  $10 \cdot 7\% = 70\%$ .

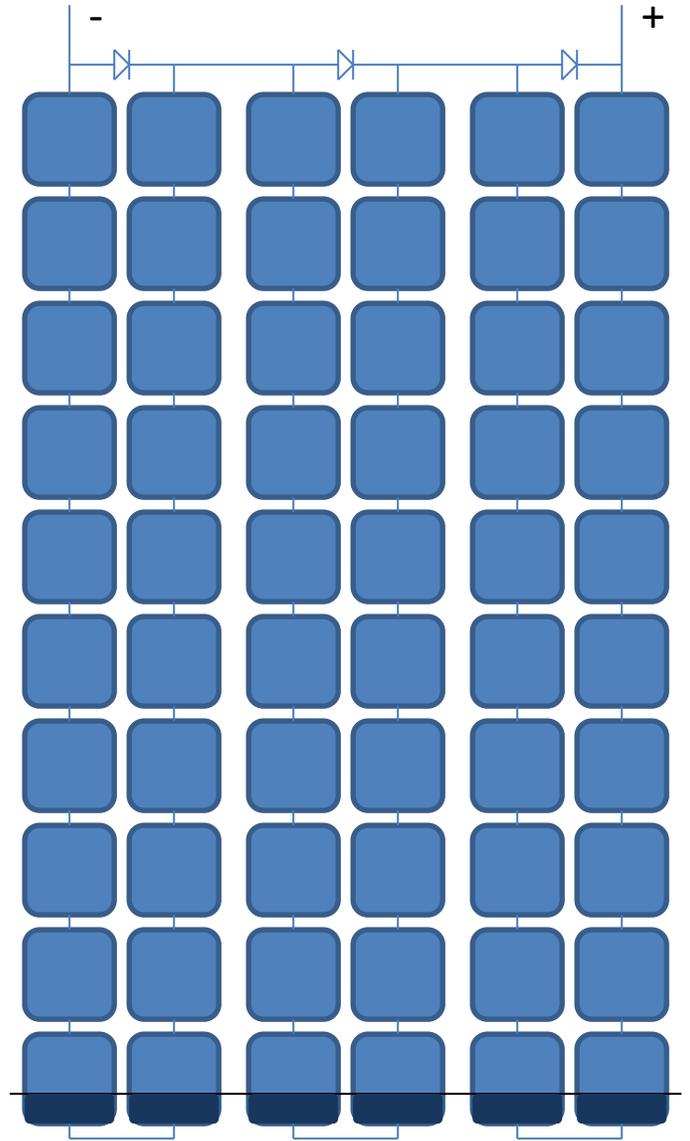
Está claro novamente que a melhor opção é a primeira que produz 90% da potência máxima possível.

Um sistema SolarEdge, com rastreadores de MPP a nível de módulo, possibilitaria, neste caso, a produção de  $9 \cdot 10\% + 1 \cdot 7\% = 97\%$  da potência total. Isto é um aumento de 7% na produção de energia comparado ao melhor cenário de um sistema tradicional.

## Instalações com Múltiplas Strings

Em instalações com múltiplas strings, os efeitos de sombreamento podem ser muito maiores. A restrição elétrica de ter todas as strings, que estão conectadas em paralelo, operando na mesma tensão não permite que uma string sombreada ative o seu diodo de by-pass. Em muitos casos, a sombra nos módulos FV em uma das strings pode realmente reduzir a energia produzida por toda a string.

Consideraremos uma string sem sombreamento e outra que está sombreada como descrito no exemplo anterior. O MPPT possibilitará a produção da potência total da primeira string, e a produção de 70% da potência total da segunda string. Desta forma, ambas as strings alcançam a mesma tensão. A energia produzida neste caso seria de 85% da potência máxima possível.



O sistema SolarEdge poderia produzir 100% de energia da sua primeira string e 97% de energia da sua segunda string. Isto alcançaria 98,5% da energia possível. Isto é um aumento de 13,5% na produção de energia comparado ao sistema tradicional.