

A ilusão: Proteção interna contra surtos elétricos em inversores fotovoltaicos

Teixeira, Renato J.; Gomes, Thiago F.; Borel Júnior, Paulo R.

04 de abril de 2023

Resumo: Tal como outros milhares de assuntos desvirtuados pelo “telefone sem fio” mundo a fora, a suportabilidade dos inversores e componentes do sistema fotovoltaico a surtos elétricos também foi atingida e, hoje, tende a sofrer fortes consequências. Talvez, de uma forma enfática, este alerta soe forte aos ouvidos – infelizmente; os inversores não estão livres ou imunes aos surtos elétricos.

Introdução

Notoriamente, no entendimento dos profissionais que compreendem os princípios básicos do conceito de proteção contra surtos elétricos, a proteção dos inversores, módulos fotovoltaicos, controladores de carga e demais componentes do sistema fotovoltaico deve ser aplicada. Entretanto, infelizmente, o mercado – em busca de menor custo e sem atentar-se ao mínimo de qualidade e segurança – instiga dúvidas sobre a necessidade de proteger os sistemas fotovoltaicos. Essa ação ardilosa expõem todas as empresas, profissionais e clientes menos atentos aos riscos provenientes da falta de proteção contra surtos elétricos.

As normas nacionais e internacionais preconizam a necessidade de proteção contra surtos elétricos devido à baixa

suportabilidade aos surtos elétricos provida pelos componentes do sistema fotovoltaico. Essa abordagem é fomentada pela comparação dos pequenos valores em joules suportados pelos equipamentos do sistema fotovoltaico – da ordem de milijoules – frente a altíssima energia que possui o fenômeno das descargas atmosféricas – da ordem de megajoules –, principalmente nos sistemas fotovoltaicos instalados em regiões com alta incidência de raios, tais como as instaladas no Brasil. Segundo estudo estratégico de geração distribuída [1] os estados de São Paulo e Minas Gerais foram os que mais investiram em energia solar, somando 4,3 bilhões de reais em investimento. Porém, todo esse investimento pode ser comprometido, uma vez que está situado entre dois dos 14 estados brasileiros onde houve ocorrência de raios em todos os dias do primeiro bimestre de 2022.

Muitos incêndios em edificações com geradores fotovoltaicos começam por descargas atmosféricas, chegando ao percentual de 56% devido a ocorrência de raios e quase 40% associados a falhas na instalação ou de produto, segundo trabalho apresentado a Câmara dos Deputados pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais [2]. A elevada ocorrência de incêndios por raios devido ao crescimento acentuado dos sistemas fotovoltaicos – que possuem

equipamentos eletroeletrônicos – além dos custos financeiros, devido à perda de equipamentos e da capacidade de geração, traz uma série de transtornos para os usuários que ficam privados de serviços essenciais.

Desenvolvimento

Tensão de impulso suportável

Um dos itens primários para a correta seleção da proteção contra surtos elétricos de qualquer equipamento é o valor U_w – valor de tensão suportável de impulso. Esse parâmetro inerente ao equipamento, definido por seu fabricante, caracteriza a capacidade específica da sua isolação contra sobretensões transitórias. Em outras palavras, é a capacidade do equipamento funcionar sem significativa degradação na presença de surtos elétricos.

O equipamento está protegido se seu valor de U_w for superior à sobretensão do surto entre os condutores conectados em seus terminais. Normalmente, a tensão U_w é inferior a tensão do surto, conduzido ou induzido, nos condutores conectados ao equipamento, impondo a necessidade de proteção externa, por exemplo, um DPS. Nesse caso o DPS deve possuir nível de proteção U_p inferior à tensão suportável de impulso do equipamento, ou seja, $U_p < U_w$.

Embora a definição do valor U_w seja de responsabilidade do fabricante, há normas que estabelecem uma referência comum para avaliação da imunidade dos equipamentos quando sujeitos a surtos elétricos e que determinam uma série de níveis, configurações e procedimentos de ensaio.

Assim, com propósito de tornar os equipamentos compatíveis com as referências normativas, os fabricantes incorporam aos seus produtos tecnologias capazes de limitar as sobretensões transitórias. Por exemplo, a utilização de varistores, cujo valor de resistência elétrica é inversamente proporcional ao valor da tensão aplicada aos seus terminais, é amplamente empregada por possuir boa relação custo-benefício.

Entretanto, o simples ato de incorporar uma tecnologia de proteção ao equipamento não a torna um DPS, antes esse ato tem relação direta com a imunidade do equipamento. O grau de imunidade é determinado pelo nível de ensaio recomendado para esse equipamento, estabelecido na tabela de níveis de ensaio da ABNT NBR IEC 61000 [3].

Porém, o ensaio de imunidade pode não ser diretamente comparável aos ensaios de segurança e desempenho dos DPS. Por exemplo, a quantidade de pulsos aplicados ao DPS no ensaio de ciclo de operação é, no mínimo, 50% maior que a quantidade aplicada ao ensaio de imunidade do equipamento. A Figura 1 ilustra o ensaio de ciclo de operação para as classes de DPS. De acordo com a ABNT NBR IEC 61643-31 [4], os DPS devem ser submetidos a três grupos de cinco impulsos de corrente e após o último impulso o DPS segue alimentado por mais 15 minutos para verificar sua estabilidade.

Procedimentos de teste

Os DPS contêm ao menos um componente não linear e são utilizados para limitar os surtos de tensão e para escoar as correntes de surto, sendo responsáveis por realizar a proteção dos equipamentos contra os efeitos diretos e indiretos das descargas

Ensaio de ciclo de operação

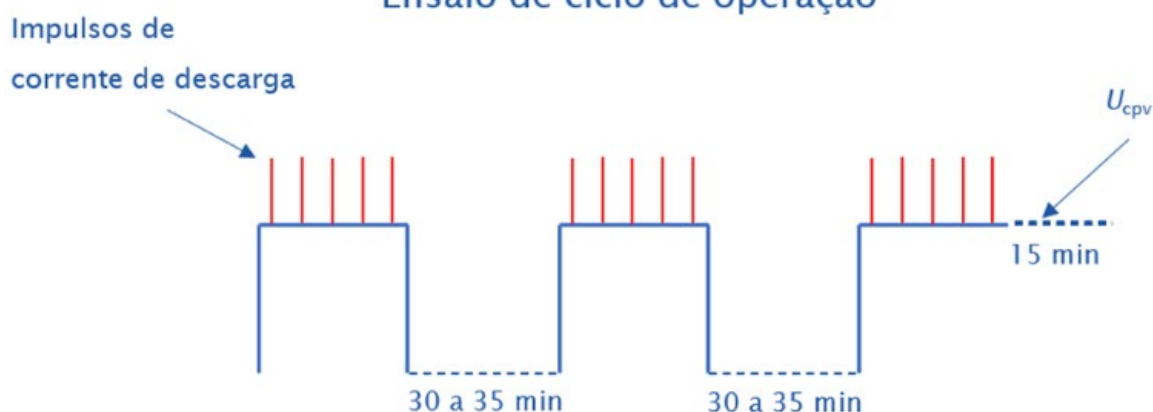


Figura 1 - Ensaio de ciclo de operação para classes de DPS – adaptada da ABNT NBR IEC 61643-32 [5].

atmosféricas ou contra as sobretensões transitórias.

Para que eles possam ser eficazes são, normalmente, submetidos a uma série de métodos normalizados de ensaio de segurança e desempenho que possuem dois objetivos básicos:

- Garantir que o DPS não sofra dano inaceitável com a circulação de corrente durante sua operação;
- Garantir que a tensão desenvolvida durante sua operação tenha valores abaixo do limite suportável pelos equipamentos.

Para atingir esses objetivos da ABNT NBR IEC 61643-31 [4] distingue os DPS entre as classes e aponta características de desempenho, ensaios e valores nominais – de tensão e/ou corrente – aplicáveis a cada classe. Uma série de requisitos devem ser atendidos e para isso executa-se ampla sequência de checagens e ensaios. Por exemplo, o ensaio de tipo, que atesta a qualidade e o desempenho do produto durante seu desenvolvimento, avalia os seguintes requisitos: identificação, aspectos ambientais e materiais,

características elétricas, características mecânicas e aspectos adicionais no caso de projetos específicos.

Na avaliação das características elétricas devem ser, ainda, realizados uma série de ensaios, tais como: proteção contra contato acidental, nível de tensão de proteção, sinalização, rigidez dielétrica e, inclusive, o ensaio de ciclo de operação – mencionado no item anterior.

Se tratando do ensaio de ciclo aos DPS aplicados em sistemas fotovoltaicos, um número específico de impulsos é aplicado ao DPS alimentado com tensão máxima de operação contínua (U_{cpv}), estipulada pelo fabricante do protetor. Para simular a tensão U_{cpv} deve ser utilizado uma fonte de alimentação que poderá ser uma fonte PV ou uma fonte linear em corrente contínua, a ser definida pelo valor da corrente subsequente do DPS sob teste.

A Figura 2 demonstra o diagrama de montagem para o ensaio de ciclo de operação dos DPS, onde:

- U_{cpv} : fonte de alimentação em corrente contínua;

- L: indutor ($\geq 100 \mu\text{H}$);
- D: desligador do DPS, especificado pelo fabricante;
- DPS: dispositivo de proteção contra surtos sob ensaio;
- Gerador de impulso: gera de impulsos com forma de onda 8/20 μs .

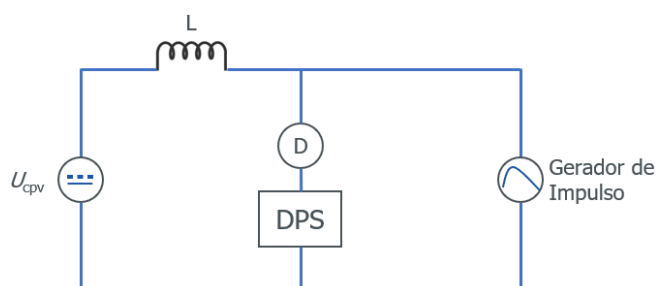


Figura 2 - Diagrama de montagem para ensaio de ciclo de operação

Outro fator determinante para que os ensaios sejam realizados conforme prescrições normativas é o atendimento às características do impulso transitório. Isso porque as correntes impulsivas utilizadas nos procedimentos de ensaios assumem formas de ondas que consideram as principais características das correntes das descargas reais, tais como: tempo de frente de onda e tempo de cauda, corrente de pico, carga e energia específica.

A forma de onda dupla exponencial, muito utilizada na literatura técnica e nas normas, sobretudo pela facilidade de sua geração em ambiente laboratorial, é caracterizada pelo seu valor de pico, pelo tempo de subida, que corresponde ao período aproximado para que a tensão atinja seu valor máximo, e pelo tempo de meia-onda, que é o período necessário para que a tensão atinja metade de seu valor máximo.

Uma das formas mais usuais para gerar ondas impulsivas de tensão ou corrente com as características supracitadas é com a utilização de um circuito composto de resistor, indutor e capacitor, também denominado por gerador de ondas impulsivas. Esses geradores podem ser de tensão, de corrente ou também geradores de onda combinada em que as formas de onda da tensão em circuito aberto e da corrente em curto-circuito são normalizadas.

A Figura 3 ilustra a associação dos componentes em um gerador de onda combinada. Verifica-se a partir do esquema elétrico a presença do estágio retificador, responsável pelo armazenamento de energia, do relé de alta tensão, responsável pelo disparo impulsivo do gerador, e do circuito conformador, responsável por modelar o tempo de subida e de meia-onda.

A impossibilidade de a proteção interna ser classificada como DPS pode ser aferida submetendo essa proteção aos mesmos testes preconizados aos DPS. Para isso, foram selecionados dois modelos de inversores – equipamento do sistema de geração fotovoltaica que alega possuir DPS incorporado – cujas características técnicas são dadas na Tabela 1. As marcas e modelos dos equipamentos escolhidos não são divulgadas por não ser o foco desse trabalho.

| | Inversor Solar | |
|--|---------------------------|---------------------------|
| | Modelo A | Modelo B |
| Corrente nominal declarada (8/20 μs) | 15 kA | 3 kA |
| Faixa de operação | 80 a 550 V _{cc} | 200 a 850 V _{cc} |
| Tensão saída | 220 a 240 V _{ca} | 380 a 400 V _{ca} |

Tabela 1 - Características técnicas dos inversores testados.

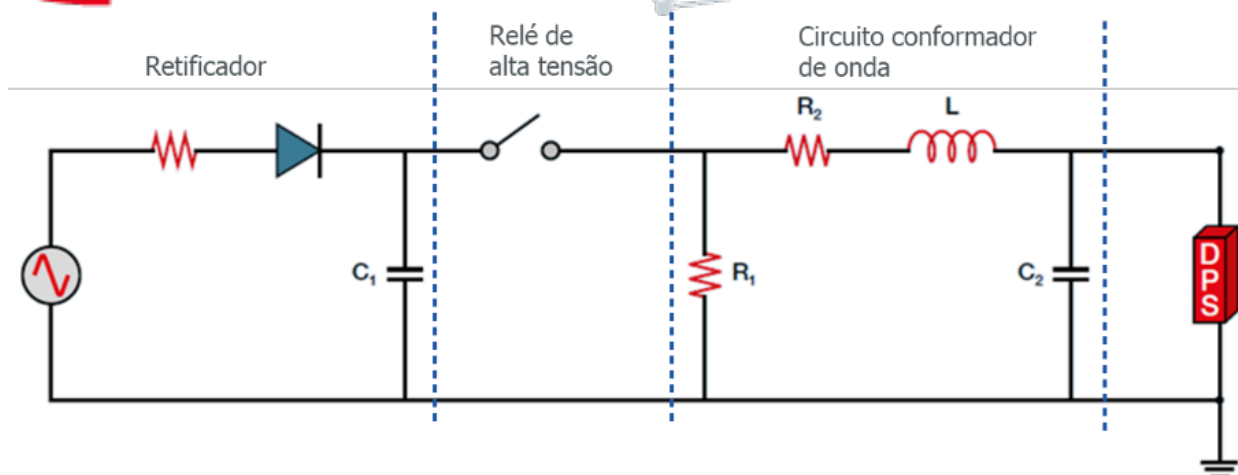


Figura 3 - Diagrama elétrico simplificado do gerador de impulsos

Os inversores foram submetidos ao ensaio de ciclo de operação, conforme descrito na ABNT NBR IEC 61643-32 [5], por se tratar de ensaio realizado nas portas em corrente contínua. Os pulsos foram aplicados com ambos os equipamentos em funcionamento, sendo o modelo A configurado para geração em $360 V_{cc}$, com corrente 8 A e o modelo B configurado para geração em $500 V_{cc}$, com corrente 6 A.

A Figura 4 apresenta os resultados do teste do ciclo de operação dos inversores. O modelo A, que declara possuir DPS com corrente nominal de 15 kA, não suportou sequer um impulso de corrente no valor declarado. O modelo B, que declara possuir DPS com corrente nominal de 3 kA, suportou 7 impulsos sem se danificar. Porém a cada impulso aplicado o equipamento reiniciava automaticamente. Após a aplicação do oitavo impulso de corrente o equipamento sofreu dano interno irreversível que culminou no fim de sua vida útil.

Todos os equipamentos utilizados eram originais e testados em um laboratório preparado especificamente para esses ensaios. Ou seja, o laboratório e os testes atendem aos requisitos propostos nas

normas nacionais e internacionais que tratam do assunto.

Considerações finais

As normas e boas práticas apontam para a necessidade de proteção contra sobretensões transitórias nos sistemas fotovoltaicos e contribuem significativamente com ferramentas para avaliação dos riscos e medidas de proteção que visam tornar a operação desses sistemas segura e longa.

Logo, ativar e operar um sistema de geração fotovoltaica sem o uso das contribuições normativas supramencionadas, sob a alegação de que há um DPS integrado ao inversor, pode não ser suficiente, principalmente para ambientes cujo nível de estresse é superior ao suportado pela proteção interna.

Como mencionado no tópico anterior, a proteção interna não suporta os ensaios destinados aos DPS. O inversor de modelo A apresenta um desacordo entre o valor declarado e sua real capacidade. O fato de o equipamento não suportar sequer um pulso demonstra a vulnerabilidade a que o usuário – aquiridor do sistema – está



Figura 4 - Resultado dos testes de ciclo de operação dos inversores.

exposto e a ineficiência da proteção interna. O inversor de modelo B não suportou metade da quantidade de impulsos do ciclo de operação, ademais, em todos os impulsos aplicados, o equipamento apresentou perda temporária de função, requerendo um operador para garantir o reestabelecimento do funcionamento.

Essas falhas são indesejáveis por produzirem inatividade do sistema, despesas com reparo ou substituição dos equipamentos e são geralmente associadas a uma proteção interna inadequada, que permite tensões e correntes excessivas do surto no equipamento e que culmina em interrupções, falhas dos componentes internos, avarias no isolamento, expondo, acima de tudo, o sistema e as pessoas aos perigos de incêndios ou choques elétricos.

Por fim, é importante que projetistas, integradores e distribuidores de sistemas fotovoltaicos compreendam que um sistema robusto de proteção contra descargas atmosféricas e surtos elétricos requer um estudo sistemático e que o efeito das medidas de proteção resulta da soma de cada medida de proteção, reduzindo as probabilidades de danos.

Referências bibliográficas

[1] Greener. Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2022 | Mercado Fotovoltaico 1º Semestre. Greener, 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-1-semester/>. Acesso em: 04 e mar. 2023.

[2] Corpo de Bombeiros de Minas Gerais (CBMMG). Riscos de incêndio em instalações de geração fotovoltaica de energia. Câmara dos deputados. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/apresentacoes-em-eventos/apresentacoes-de-convidados-em-eventos-em-2022/06-07-2022-riscos-de-incendio-em-instalacoes-de-geracao-fotovoltaica-de-energia/10%20-%20Tenente%20Evandro%20Maroni%20-%20CBMMG%20-%20Apresentacao%20Painéis%20FV%20.pdf>. Acesso em: 04 de mar. 2023.

[3] ABNT NBR IEC 61000-4-5. Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4-5: Ensaios e técnicas de medição — Ensaio de imunidade a surtos, dezembro de 2020.

[4] ABNT NBR IEC 61643-32. Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 32: DPS conectado no lado corrente contínua das instalações fotovoltaicas – Princípios de seleção e aplicação, agosto de 2022.

[5] ABNT NBR IEC 61643-31. Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão Parte 31: DPS para utilização específica em corrente contínua — Requisitos e métodos de ensaio para os dispositivos de proteção contra surtos para instalações fotovoltaicas, janeiro de 2022.

[6] Paulino, J. O. S., Proteção de equipamentos elétricos e eletroeletrônicos contra surtos elétricos em instalações - Lagoa Santa: Editora Clamper, 2016.