



Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos - DPS

2012.2



Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surto - DPS

2012.2

Prefácio

Este texto foi escrito a quatro, oito... 1132 mãos, ou seja, junto com os clientes que a Finder procurou para fornecer informações sobre o funcionamento e como instalar corretamente um DPS em uma instalação industrial, civil ou fotovoltaica.

A linguagem utilizada é intencionalmente discursiva para transmitir conceitos complicados da maneira mais simples possível. Há parênteses técnicos para aprofundamento, com um pouco de matemática, mas nada que assuste...

Embora apresente a Versão 3 da CEI 64/8 e a prEN 50539-11 para o setor fotovoltaico, este texto não pretende ser um guia normativo. Por isso, e para obter mais detalhes, recomenda-se ler os textos indicados na bibliografia.

Índice

1 - A origem do raio	página 1
Raio descendente negativo	página 1
Raio descendente positivo	página 2
Raios ascendentes	página 2
Como proteger-se contra os surtos de tensão?	página 3
2 - Tipos de incidência de descargas atmosféricas	página 4
Princípios gerais	página 5
Nível de imunidade, tensão de resistência e prejuízos econômicos	página 8
Os surtos de tensão	página 8
Os surtos de tensão de manobra	página 9
Os surtos de tensão de origem atmosférica	página 9
Impactos diretos e indiretos	página 8
Surto de tensão induzidos	página 10
Descarga direta	página 11
3 - Funcionamento de um DPS	página 12
Tipos de DPS	página 14
Centelhador	página 14
Princípio de funcionamento	página 15
Corrente residual	página 16
Varistor	página 17
4 – Características elétricas e aplicações práticas do DPS	página 20
Dispositivo de proteção contra surtos DPS na prática	página 22
5 - Técnicas de instalação	página 24
Distância de proteção	página 28
Sistema de DPS e coordenação de energia	página 30
Sistemas de back-up: fusíveis, disjuntores e disjuntores diferenciais	página 32
6 - Aplicações industriais	página 35
Sistema TN	página 35
Sistema IT	página 37
Sistema TT	página 39
Tipos de proteção dos DPSs	página 42
7 - Aplicações em obras civis	página 43
DPS de MT	página 43
DPS instalado antes ou depois do disjuntor diferencial?	página 44
CEI 64-8 Versão 3	página 45
8 - Instalações fotovoltaicas: proteção contra raios e surtos de tensão	página 49
Impacto direto	página 49
Impacto direto pelo aterramento do PV:	página 50
Instalação fotovoltaica no telhado de um edifício:	página 50
Impacto indireto	página 50
Medidas de proteção contra surtos de tensão. Proteção AC	página 51
Medidas de proteção contra surtos de tensão. Proteção DC	página 53
Medidas preventivas	página 55
Proteções dos DPSs: fusíveis ou disjuntores? prEN 50539-11	página 56
Exemplos de aplicação - Instalação fotovoltaica doméstica, inversor no sótão	página 58
Exemplos de aplicação - Instalação fotovoltaica doméstica, inversor no porão	página 59
Exemplos de aplicação - Instalação fotovoltaica no telhado, baixa potência	página 60
Exemplos de aplicação - Instalação fotovoltaica no solo	página 61
Exemplos de aplicação - Instalação fotovoltaica no telhado, média/alta potência	página 62

1 - A origem do raio

Os raios são descargas elétricas que ocorrem durante tempestades.

Durante as tempestades, há dentro das nuvens o acúmulo de cargas negativas em sua região inferior.

A formação das cargas nas extremidades da nuvem ocorre através do atrito entre partículas de gelo e água postas em movimento pelas correntes de ar quente ascendente dentro da nuvem. Para representar graficamente a distribuição das cargas, podemos imaginar um dipolo grande cujo campo elétrico se fecha no solo (Figura 1).

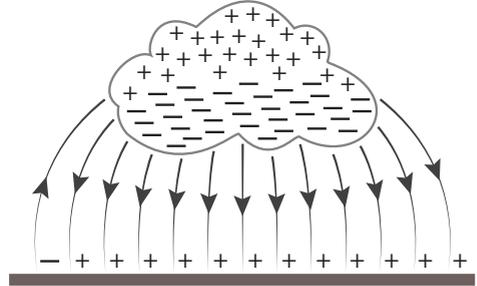


Figura 1:
distribuição de cargas elétricas dentro da nuvem,
e percurso do campo elétrico

A descarga ocorre quando a intensidade do campo elétrico ultrapassa o valor da resistência dielétrica do ar, que, no caso do ar limpo e seco, corresponde a 30 kV/cm. Durante uma tempestade, devido à umidade e às partículas de poeira presentes, a resistência dielétrica do ar cai para poucos kV/cm, facilitando, assim, a descarga.

Podemos identificar três famílias de raios:

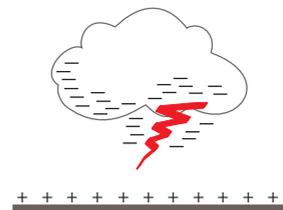
- 1) Raios entre nuvens: quando a descarga ocorre entre duas nuvens vizinhas
- 2) Raios intranuvem: quando a descarga ocorre dentro da mesma nuvem
- 3) Raios entre nuvem e terra: quando a descarga ocorre entre o solo e a nuvem, independentemente da origem

Continuando a classificação dos raios, podemos em primeiro lugar definir como “raio descendente” o raio que parte da nuvem, e como “ascendente” o raio que sair do solo. Também podemos classificar o raio de acordo com a sua polaridade, definida por convenção como igual à da carga da nuvem: portanto, diferenciamos os raios positivos e raios negativos.

Raio descendente negativo

Agora, descrevemos o caminho seguido por um raio negativo nuvem-terra durante sua formação. Esse tipo de raio é, para nós, o mais interessante por ser mais frequente. Distinguímos as seguintes fases:

Fase 1: as cargas elétricas se acumulam numa área da nuvem, o campo elétrico local cresce até ultrapassar a resistência dielétrica do ar: nesse ponto ocorre a primeira descarga, cujo comprimento é de alguns centímetros. Nesta fase inicial, as respectivas correntes assumem valores que, em média, não ultrapassam os 500 A (ocasionalmente atingem alguns quiloampères), e são caracterizadas por um percurso irregularmente plano. Por isso, falamos de “corrente contínua”.



Fase 2: a descarga se propaga até quando a resistência dielétrica do ar for menor do que a resistência associada às cargas elétricas: caso seja superior, a descarga cessa. Estando aberto um canal ionizado, outras cargas fluem da nuvem, intensificando o campo no ponto de parada. O campo elétrico volta a aumentar até gerar uma nova descarga, em uma nova direção, de acordo com uma resistência dielétrica do ar inferior à do campo elétrico. O canal do raio se propaga da nuvem para a terra, levando parte da carga elétrica da nuvem, de acordo com o método descrito, com alterações contínuas de direção conforme a resistência dielétrica do ar. Isso gera o característico percurso em ziguezague típico de um raio. De forma semelhante ao que acontece na nuvem, ocorre também no solo uma distribuição de cargas de sinal oposto à carga elétrica transportada pelo canal do raio.



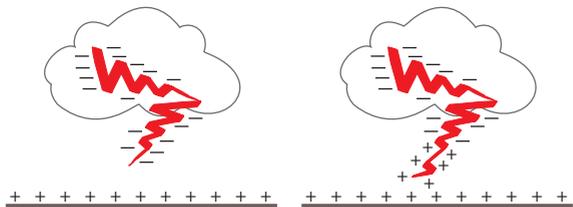
Fase 3: surge do solo um canal ascendente (contradescarga) que sobe até encontrar o canal descendente. Quando os dois canais se encontram, estabelece-se uma corrente chamada de "corrente de raio". A área do solo que sofrerá o impacto do raio é a área da qual parte a contradescarga. Em seguida, ocorre o primeiro impacto do raio, caracterizado por uma corrente com valores variando de 2 a 200 kA e frentes de onda muito íngremes: 0,5 a 100 kA/Ns. Neste caso, falamos de "corrente de pulso".



Fase 4: o relâmpago. O relâmpago é simplesmente o efeito térmico e luminoso associado à passagem da corrente elétrica. O aquecimento e resfriamento do ar afetado pela corrente do raio determinam fenômenos de expansão e compressão, gerando o trovão.



Fase 5: descargas sucessivas. Muitas vezes, após a primeira descarga, ocorrem sucessivos fenômenos de descarga, graças ao fato de que o canal ionizado passa a estar "aberto". Essas descargas são caracterizadas por uma contribuição energética menor quando o canal já estiver formado.



Considerando as cinco fases descritas, podemos, portanto, concluir que o primeiro golpe de um raio está associado a uma corrente muito elevada, em virtude da constante alternância de "início e parada" caracterizada por "acúmulos de energia", que definem o "ziguezague" típico do raio no sentido do solo. Isso deixa claro que a respectiva forma de onda é caracterizada por frentes de onda de subida e descida "longas": centenas de microssegundos. Os golpes após o primeiro, no entanto, são caracterizados por frentes de onda íngremes, pois o canal de descarga já está ionizado e as cargas elétricas não fazem esforço algum para avançar. Neste caso, falamos de dezenas de microssegundos. A rapidez do movimento e a ausência de "obstáculos" no avanço da corrente determinam uma contribuição energética menor em relação às primeiras descargas do raio: falamos de dezenas de centenas de quiloampères, contra as centenas de quiloampères do primeiro golpe de um raio.

Raio descendente positivo

Os raios positivos se originam das cargas positivas localizadas no topo da nuvem.

Os cumulonimbus são caracterizados por alturas elevadas, e, portanto os raios positivos são caracterizados por um canal de descarga muito longo. Isso tem dois efeitos:

- As correntes associadas ao raio positivo são muito elevadas, maiores do que no primeiro golpe de um raio negativo
- O comprimento elevado característico do canal de descarga pode atingir 10 km, e isso significa que, após a primeira descarga, muito provavelmente a parte “mais velha” do canal seja arrefecida e desionizada, impossibilitando a passagem de outra corrente e, com isso, gerar descargas subsequentes.

Raios ascendentes

Durante as tempestades, o canal do raio pode surgir de estruturas naturais ou artificiais, tais como árvores, torres, etc., caracterizadas por certa altura. Isso se deve à intensificação do campo elétrico nas partes que terminam em uma ponta.

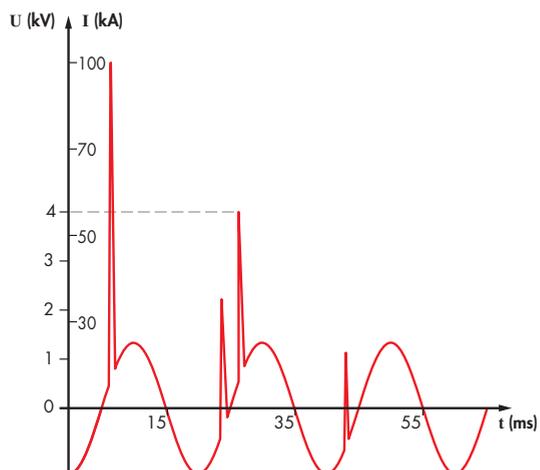
O canal do raio ascendente se origina e se propaga para cima, seguindo o mesmo padrão válido para os raios descendentes. Neste caso, a contradescarga começará na nuvem. Assim como nos raios descendentes negativos, uma vez ionizado o canal, será possível que ocorram descargas subsequentes de igual intensidade.

Como proteger-se contra os surtos de tensão?

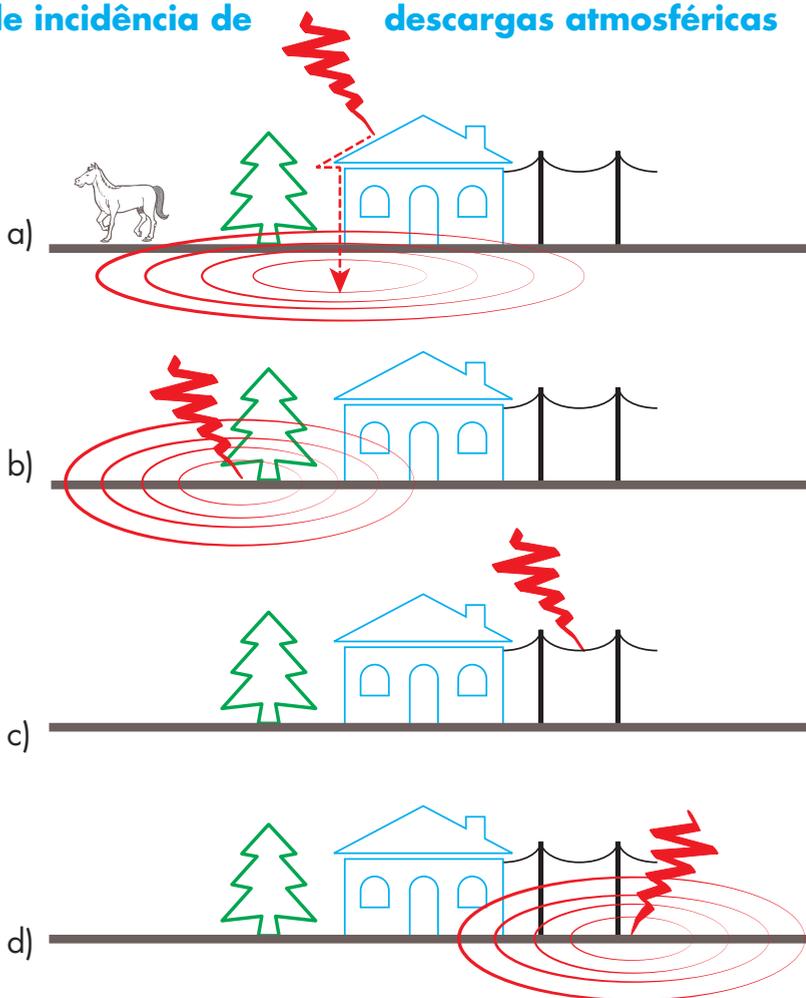
Nos últimos anos, a proteção contra surtos de tensão está se tornando uma necessidade devido ao uso cada vez mais difundido de componentes eletrônicos, tais como o MOSFET, muito sensível por natureza a surtos de tensão. Em outras épocas, encontrávamos em sistemas elétricos produtos eletromecânicos, tais como: motores, transformadores, etc. por si mais resistentes a estes fenômenos de surtos.

Portanto, hoje não há um número maior de causas de falha. O que ocorre é que nossas casas e indústrias têm um número cada vez maior de dispositivos mais sensíveis, de modo que, como veremos a norma IEC 64/8, em sua versão 3, vigente desde 11° de setembro de 2011, prevê a instalação de DPS inclusive no quadro principal das unidades residenciais. Os DPSs ganharam rápida aceitação e difusão, não porque representam uma novidade comercial proposta ao mercado, mas porque, em comparação a outros sistemas para proteção contra surtos de tensão, são econômicos, podem ser adicionados a um sistema existente, e funcionam perfeitamente se forem devidamente selecionados e instalados.

Representação dos valores de amplitude do surto de tensão em função da causa



2 - Tipos de incidência de descargas atmosféricas



Os tipos de incidência de descargas atmosféricas podem ser enquadrados nos quatro casos representados ao lado.

- a) **Impacto direto sobre um edifício.** Se o edifício estiver equipado com um sistema de pára-raios, o raio será descarregado na terra, aumentando a tensão do aterramento e de tudo o que estiver conectado a ele. No impacto direto, constata-se ou o acoplamento indutivo, por exemplo, entre o aterramento e um condutor que corre paralelamente a ele, ou o acoplamento resistivo, por exemplo, entre o aterramento e a tubulação de gás. Os surtos de tensão que ocorrem através de um acoplamento resistivo podem gerar descargas perigosas, pois contêm energia suficiente para iniciar um incêndio ou destruir equipamentos. O acoplamento resistivo entre as partes condutoras também provoca o aparecimento de tensões perigosas de passo e de toque. As tensões de passo apresentam um percurso decrescente e são perigosas para seres humanos e animais.
- b) **Impacto indireto sobre um edifício.** Neste caso, falamos apenas do acoplamento indutivo. Os surtos de tensão são gerados pelo campo magnético associado à corrente do raio que faz contato com as partes metálicas condutoras do edifício.
- c) **Impacto direto sobre uma linha.** A corrente do raio é dividida igualmente em ambas as direções, passando através do transformador MT/BT, e gera surtos de tensão em tudo o que estiver aterrado.
- d) **Impacto indireto sobre uma linha (acoplamento indutivo).** Os surtos de tensão induzidos, cuja amplitude varia de 3 a 5 kV, não têm energia suficiente para iniciar um incêndio, mas podem destruir os equipamentos.

Princípios gerais

Antes de abordar o complexo discurso que regula os aspectos de sistema, a seleção, a instalação e a implementação dos DPSs, é necessário, primeiro, apresentar os tipos de DPSs existentes, o zoneamento dos ambientes e o valor de resistência a impulsos suportados dos aparelhos eletrônicos. Informações úteis para entender melhor o mundo dos DPSs.

Dependendo do papel que devam desempenhar, os DPSs são divididos em Classe I (destinados a limitar surtos de tensão, os quais a totalidade ou parte da corrente do raio está associada), Classe II (destinados a proteger os equipamentos contra surtos de tensão) e Classe III (desempenham um papel de terminação, impondo uma baixa “tensão residual” (nível de proteção) suportada pelos equipamentos eletrônicos finais.

As equivalências de nomenclatura são indicadas na tabela:

IEC	Classe I	Classe II	Classe III
Europa	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
VDE	B	C	D

No texto, utilizaremos os termos “Classe” e “Tipo” sem distinção.

Como já dissemos, dependendo do tipo de proteção oferecida, os DPSs são agrupados em Classes; a classe identifica o teste ao qual o DPS foi submetido em termos de corrente de descarga.

Classe (de teste) I: à esta classe pertencem os DPSs testados pelo fabricante com um gerador de forma de onda de $10/350 \mu\text{s}$. Esta forma de onda é usada para simular o primeiro impacto de um raio e define o desempenho do DPS em termos de corrente de impulso: I_{imp} . Os DPSs da Classe I também são testados em termos de corrente nominal I_n com uma forma de onda de $8/20 \mu\text{s}$, típica dos surtos de tensão induzidos. Os DPSs de Classe I são obrigatórios em edifícios equipados com pára-raios.

Eles são instalados no quadro principal, no ponto de ligação com a rede elétrica.

Classe II: os DPSs desta classe são testados com um gerador de forma de onda $8/20 \mu\text{s}$ (típica dos surtos de tensão induzidos) para definir o desempenho em termos de corrente nominal e corrente máxima, respectivamente I_n e I_{max} .

Eles são instalados em quadros de distribuição.

Classe III: pertencem a esta classe, os dispositivos que desempenham um papel de terminação; a maior parte da energia é retirada pelos DPSs instalados em um ponto anterior. Os DPSs de Tipo 3 são os mais rápidos, e eliminam os surtos de tensão residuais.

Estes DPSs são testados com um gerador do tipo combinado, que gera uma tensão sem carga U_{oc} com forma de onda de $1,2/50 \mu\text{s}$, capaz de transmitir o valor de corrente nominal I_n com forma de onda de $8/20 \mu\text{s}$.

Eles são instalados próximos aos aparelhos eletroeletrônicos finais.

A seguir, representamos as formas de onda características dos DPSs.

Observando a *Figura 2*, pode-se notar que a contribuição energética, representada pela área sob as curvas, é maior para a forma de onda 10/350 μ s (típica do primeiro impacto do raio).

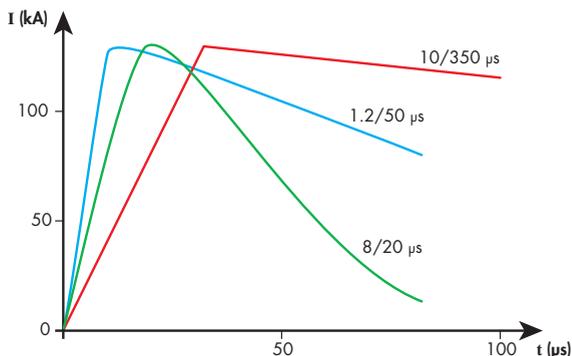


Figura 2: formas de onda normalizadas

Fazendo referência à norma 62305-1, podemos dividir em regiões o ambiente eletromagnético associado à descarga de um raio: LPZ (Zona de Proteção contra Raios).

Medidas de proteção, tais como SPDA, cabos blindados, DPSs, definem uma zona de proteção. As zonas são caracterizadas por variações eletromagnéticas significativas (por exemplo, intensidade do campo eletromagnético, valores da corrente do raio, valores de surtos de tensão, etc.), devido à presença de medidas de proteção.

Associa-se a uma LPZ um número entre 0 e 3 (LPZ1, LPZ2...). Quanto mais alto for o número, mais os efeitos dos raios serão atenuados.

LPZ 0_A: zonas livres. Não há nenhuma proteção, se houver, estarão fora do pára-raios.

Neste caso, existe a possibilidade de incidência direta de raio e, portanto, a corrente do raio é alta e o campo eletromagnético (ELM) não é atenuado.

LPZ 0_B: abaixo do dispositivo sensor.

A corrente de raio é pequena, o campo ELM não é atenuado.

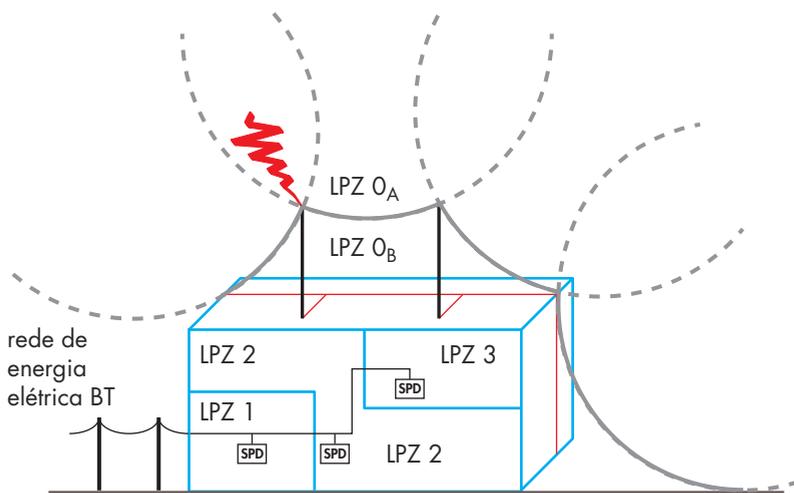
LPZ 1 : no interior do edifício, depois do primeiro DPS, a corrente do raio é limitada; o campo ELM é atenuado.

LPZ 2 : zona caracterizada pela inclusão de outro DPS.

A corrente do raio é ainda mais limitada; o campo ELM é muito atenuado.

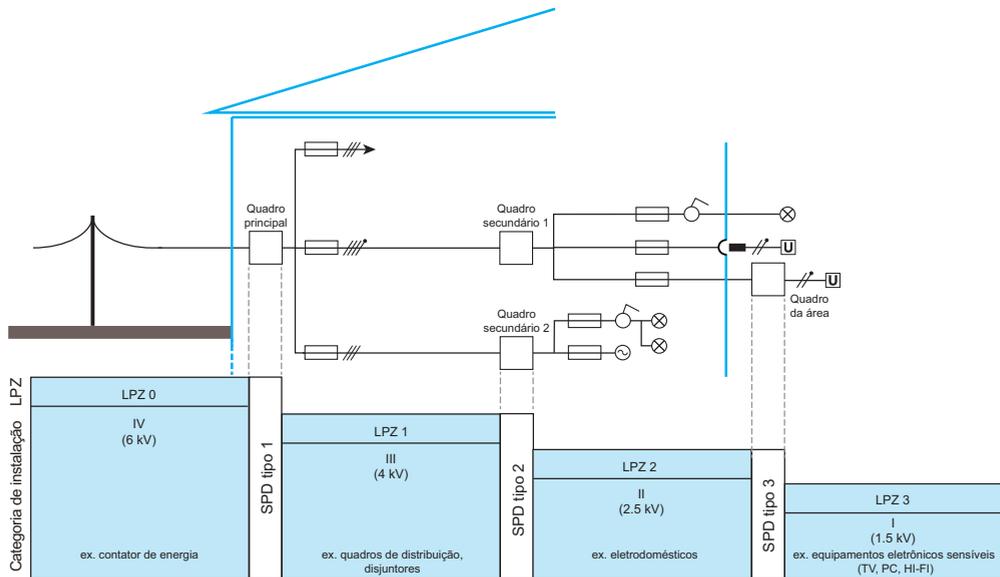
LPZ 3 : inclusão de outro DPS...

Isso corresponde a uma tomada ou ao interior de um dispositivo eletrônico.



Embora não exista relação nenhuma entre elas, a subdivisão dos edifícios em zonas culmina com a introdução do conceito de “categorias de instalação.” Neste caso, não se trata de um zoneamento propriamente dito, mas é uma maneira simples de entender o conceito: a subdivisão ocorre automaticamente, pois o fabricante deve garantir que os dispositivos destinados a aplicações “vizinhas” ao ponto de alimentação da energia suportem os valores mínimos de surtos de tensão, superiores aos dispositivos que geralmente se instalam “à distância”. “Vizinho” e “à distância” se referem a distâncias elétricas, não métricas.

Isso significa, por exemplo, que o nível de resistência ao impulso do quadro elétrico principal deve ser de pelo menos 4 kV, enquanto a resistência ao impulso de um PC, televisão, etc. deve ser de pelo menos 1,5 kV.



Na figura acima, são agrupadas as LPZs e as categorias de instalação para resumir o que vimos até agora. Mas cuidado, não há relação nenhuma entre elas! A categoria do sistema dá uma idéia da resistência ao impulso dos equipamentos, e a LPZ dá uma idéia sobre as grandezas eletromagnéticas associadas à descarga do raio.

- **Categoria de instalação (ou de surto de tensão) I:** esta categoria inclui equipamentos muito sensíveis a picos de tensão, como equipamentos eletrônicos (TV, aparelhos de som, modems, PCs, PLCs, etc.). Para esses dispositivos, o fabricante deve garantir uma tensão de resistência de 1,5 kV.
- **Categoria de instalação II:** esta categoria inclui os aparelhos, cuja resistência a impulso corresponda a 2,5 kV, como ferramentas portáteis ou eletrodomésticos.
- **Categoria de instalação III:** refere-se aos aparelhos que fazem parte do sistema, como interruptores, tomadas, quadros, etc., para os quais a tensão de resistência é de 4 kV.
- **Categoria de instalação IV:** pertencem a esta categoria os dispositivos instalados antes do quadro de distribuição, tais como os contadores. A tensão de resistência ao impulso é de 6 kV.

Nível de imunidade, tensão de resistência e prejuízos econômicos

Podemos concluir dizendo que todos os aparelhos elétricos e eletrônicos são caracterizados por um valor de tensão que indica o nível de imunidade a surtos de tensão: até o momento em que os surtos de tensão ficam abaixo do nível de imunidade dos aparelhos, não há problemas. Se os surtos de tensão forem pouco superiores a esse valor, podem ocorrer defeitos nos aparelhos. No caso de valores iguais ou maiores, os isolamentos dos componentes se desgastam, o que reduz a vida útil; com um nível muito elevado de surtos de tensão, no entanto, podem ocorrer falhas permanentes.



Muitas vezes, os surtos de tensão podem não danificar imediatamente os equipamentos e, por isso, não ficamos cientes de sua existência. Surtos de tensão repetidos de baixa amplitude comprometem a resistência dielétrica dos isolamentos, reduzindo a sua vida útil e, portanto, a tensão de resistência do dispositivo. Caso os surtos de tensão ultrapassem a tensão de resistência do isolamento sólido (desgastado), o isolante falhará e o dispositivo será permanentemente danificado.

Imagine agora que temos um inversor conectado a uma linha, submetido a surtos de tensão contínuos e de valor que não o danificam, mas desgastam os isolamentos. Decidimos adicionar outro inversor em paralelo. A princípio, o antigo falha e o novo ainda funciona... Por quê? Devido aos repetidos surtos de tensão, o isolamento do primeiro inversor se enfraquece até permitir a quebra permanente do aparelho assim que o pulso da rede tenha determinado a falha. O segundo, mais novo, continua funcionando, pois o nível do surto de tensão não era tão elevado a ponto de danificá-lo com um único impacto.

Concluímos esta introdução, considerando também o aspecto econômico: por trás da falha de um dispositivo, não há apenas o custo da sua substituição, que muitas vezes constitui o menor prejuízo econômico, mas também é necessário considerar o prejuízo econômico causado pela retirada de serviço. Por exemplo, caso o servidor de reservas de uma agência de viagens falhe, ocorre um prejuízo porque o trabalho não pôde ser feito. Pense em um aeroporto! Assim, o DPS é sempre conveniente do ponto de vista econômico.

Certamente não devemos esquecer que um surto de tensão pode causar danos muito mais graves, como a morte de pessoas, o incêndio de edifícios com a perda de obras de valor ou a paralisação de uma linha de montagem, aspectos que não podem e não devem ser negligenciados na fase de concepção de um sistema elétrico.

Os surtos de tensão

Os surtos de tensão em um sistema elétrico podem ser endógenos ou exógenos: os primeiros referem-se aos surtos de tensão de manobra, surtos que existem normalmente na rede elétrica, e surgem durante a operação normal do sistema. Os segundos, no entanto, referem-se aos surtos de tensão de origem atmosférica.

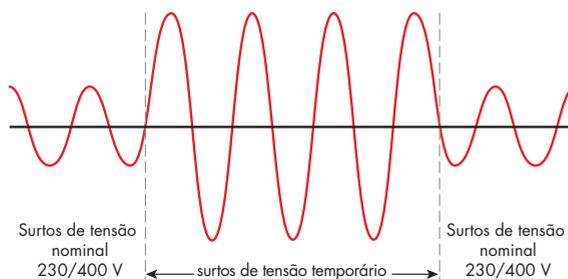
Surtos de tensão de manobra

Os surtos de tensão de manobra surgem da operação normal das linhas elétricas, por exemplo, o acionamento de interruptores (abertura ou fechamento), e são causados por variações súbitas de carga (inserção de grandes cargas), acionamento ou funcionamento de motores, ou variações bruscas na rede, tais como curtos-circuitos. O percurso do surto de tensão é oscilatório amortecido, com transientes muito íngremes, cuja duração pode ser da ordem de nanossegundos.

Nesta categoria, podemos incluir os surtos de tensão de frequência industrial causados por falhas na cabine ou ao longo da linha. Eles se diferenciam dos primeiros pela duração, muito maior, e pela frequência: 50-60 Hz.

Esses surtos de tensão são caracterizados por amplitudes que variam entre 2,5 e 4 kV. Eles estão sempre presentes nas linhas de distribuição.

Figura 3:
surto de tensão temporário
de frequência industrial



Surtos de tensão de origem atmosférica

Os surtos de tensão de origem atmosférica surgem quando um raio atinge um ponto durante uma tempestade. O raio surge após o acúmulo de cargas negativas em relação à nuvem e positivas em relação à terra, entre os quais é estabelecido um campo elétrico maior do que a resistência dielétrica do ar, permitindo a descarga. Normalmente, após o primeiro impacto do raio, ocorrem 3 ou 4 descargas elétricas subsequentes (vide capítulo 1). Os picos de tensão podem ser "conduzidos" quando os raios atingem diretamente uma linha de energia, ou "induzidos" quando os raios caem perto de um prédio ou uma linha. O campo elétrico gerado por um raio, incidente nos condutores, cria surtos de tensão prejudiciais aos dispositivos conectados a eles.

Descargas diretas e indiretas

- da estrutura
- nas proximidades da estrutura



- da linha de energia elétrica
- nas proximidades da linha de energia elétrica

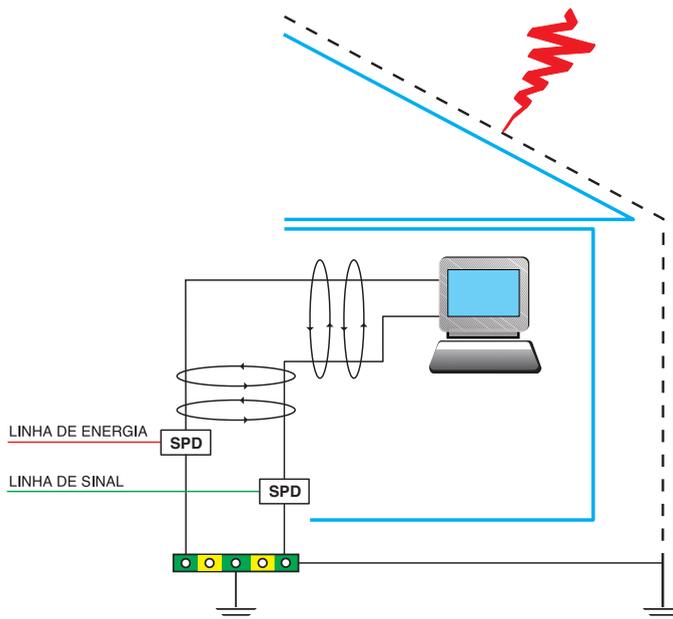


Surtos de tensão induzidos

Sabe-se bem que um campo magnético variável induz uma corrente elétrica em um circuito. Na presença de um raio, temos um grande campo eletromagnético altamente variável, e os condutores elétricos de um edifício são um circuito (bobina) de dimensões que não são insignificantes. O campo eletromagnético do raio cria efeitos desastrosos se ele se conectar com uma bobina de grande diâmetro. Não é difícil imaginar que você tem uma grande bobina à disposição, basta pensar na linha de alimentação de um PC e linha telefônica que se conecta ao modem, por sua vez conectado ao computador. No caso de uma descarga direta sobre a estrutura, a corrente do raio descarregada na terra, através da bobina, gera por acoplamento indutivo, um surto de tensão $U = Lm \cdot di/dt$

onde Lm : indutância mútua da bobina
 di/dt : inclinação da forma de onda

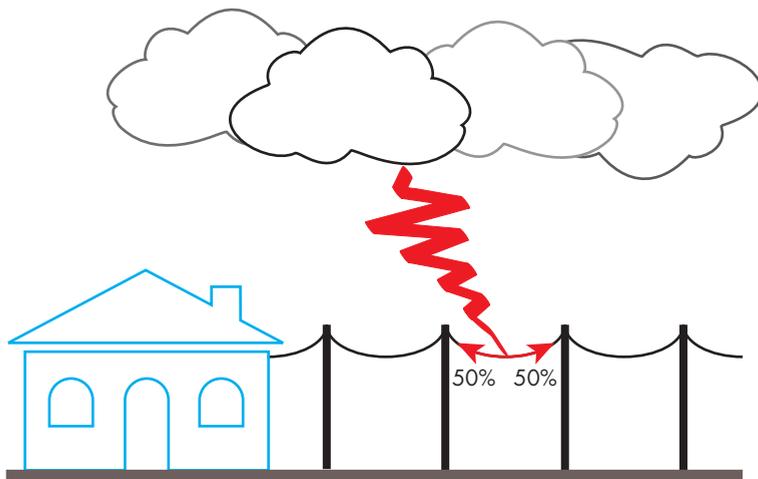
Dependendo da extensão da bobina, os surtos de tensão podem superar os 10 kV !



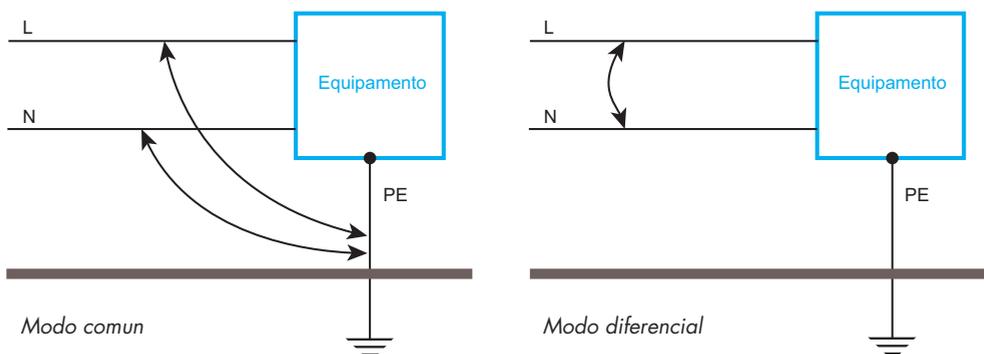
O fenômeno da indução também ocorre com condutores retilíneos, não necessariamente dispostos em forma de bobina, por exemplo, entre um condutor e a terra. Imagine uma linha de energia elétrica: se um raio cai nas proximidades de uma linha de distribuição, seu campo eletromagnético variável induz na linha surtos de tensão que se propagam ao longo da linha, à semelhança do que veremos mais adiante em relação a descarga direta de um raio.

Descarga direta

Se um raio atingir uma linha de energia elétrica, a corrente do raio (e o respectivo surto de tensão) se propaga em ambos os sentidos da linha, dividindo-se em partes iguais. Na propagação, modificam-se a forma e a amplitude, atacando as cargas encontradas.



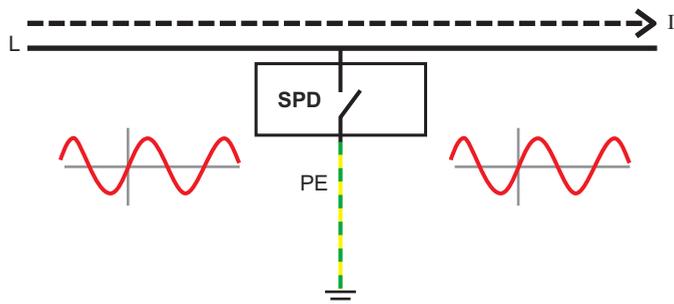
Finalmente, os picos de tensão podem ser normalmente referidos entre o condutor de fase e a terra, ou de modo diferencial, caso seja entre os condutores.



3 - Funcionamento de um DPS

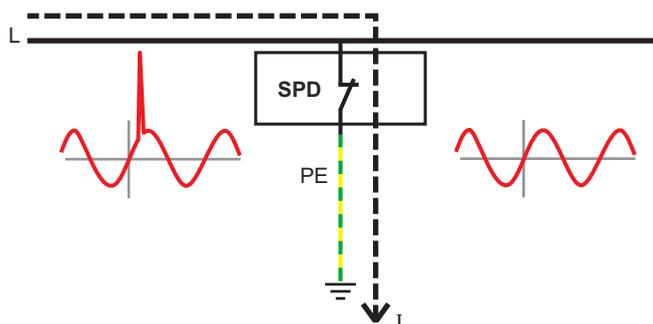
Para compreender o funcionamento do DPS, suponhamos que temos um DPS ideal, cujo funcionamento descreveremos. Em seguida, compararemos a operação do DPS ideal com o real.

O DPS ideal pode ser descrito imaginando-se que temos uma caixinha, cujo conteúdo não conhecemos, conectada, por exemplo, entre L-PE, cuja impedância (Z) é infinita para não alterar o funcionamento do sistema.



A chegada de um surto de tensão abaixa rapidamente para 0Ω a impedância nos terminais da caixa, permitindo "absorver" a corrente associada ao surto. Quanto mais alto for o surto de tensão, menor será a impedância e maior será a corrente drenada. Podemos, portanto, imaginar um interruptor aberto no interior da caixa, que se fecha na presença de um surto de tensão, colocando em curto o circuito existente após o interruptor, protegendo o circuito.

Ocorre a drenagem da sobrecorrente, mantendo a tensão constante nos terminais da caixa. Se essa tensão for compatível com o nível de imunidade e isolamento do equipamento, ele não será danificado.



Podemos, portanto, identificar três fases de operação do SPD, nas quais as grandezas que o influenciam são os parâmetros de escolha dos produtos no catálogo.

1) Fase inicial. Suponhamos que nossa caixinha esteja instalada entre um condutor ativo e a terra (mas também pode ser instalada entre duas fases ou entre a fase e o neutro). Nos seus terminais há uma tensão nominal do sistema (U_n), que, ao longo do tempo, pode variar dentro de uma faixa de tolerância, dependendo da distribuidora de energia elétrica (no Brasil de +10% a -10%. Por isso, é prevista uma tensão de operação contínua U_c , que, em relação à faixa de tolerância, garante que o DPS não seja acionado. Vamos antecipar o conceito de “tensão de operação contínua” U_c . Trata-se do valor de tensão que pode ser aplicado ao DPS por tempo indeterminado e com o qual certamente o DPS não será acionado.

Para os sistemas TT e TN $U_c \geq 1,1 U_n$

Para os sistemas IT $U_c \geq \sqrt{3} U_n$

Nesta fase, o dispositivo ideal tem uma impedância infinita, enquanto o real tem uma impedância de valor muito elevado. Isso significa que o DPS ideal não é atravessado pela corrente em direção à terra, enquanto que o real é continuamente atravessado por uma corrente de fuga (dependendo dos componentes utilizados na produção do DPS) em direção à terra, indicada por I_c : corrente de operação contínua. Essa corrente é da ordem de μA . Nessa fase, devemos também considerar a U_T ($T = TOV$ ou Temporary Transient Overvoltage), ou seja, Surtos de Tensão Temporários presentes na linha devido a falhas na rede da distribuidora (surtos de tensão de manobra). Esses surtos devem ser suportados pelo DPS.

2) Durante o surto de tensão. O DPS reduz sua própria impedância para drenar a corrente, e mantém constante a tensão nos terminais.

Nessa fase, é importante o valor da tensão residual (U_{res}) medido nos terminais do DPS durante o acionamento. Esse valor é identificado por meio de U_p : nível de proteção.

O U_p é um valor de tensão escolhido em uma escala de valores normalizados imediatamente acima de U_{res} (por exemplo, $U_{res} = 970 V$, $U_p = 1000 V$). É importante que U_p seja menor do que a tensão de resistência dos isolantes do dispositivo a ser protegido. Esse valor de tensão é relativo à corrente de descarga nominal, que, para o tipo de ensaio, assume uma forma de onda de 8/20 μs .

Nesta fase, são importantes os dados referentes à corrente nominal de descarga: I_n .

I_n : valor de pico de corrente ao qual o DPS é capaz de resistir normalmente.

Ele é definido testando o DPS com uma forma de onda de corrente de 8/20 μs .

Outro dado importante é o I_{max} , que corresponde ao valor de pico da corrente máxima da qual o DPS é capaz de dar conta pelo menos uma vez sem ser danificado.

Em geral, vale a seguinte relação: $I_{max} / I_n = 2$

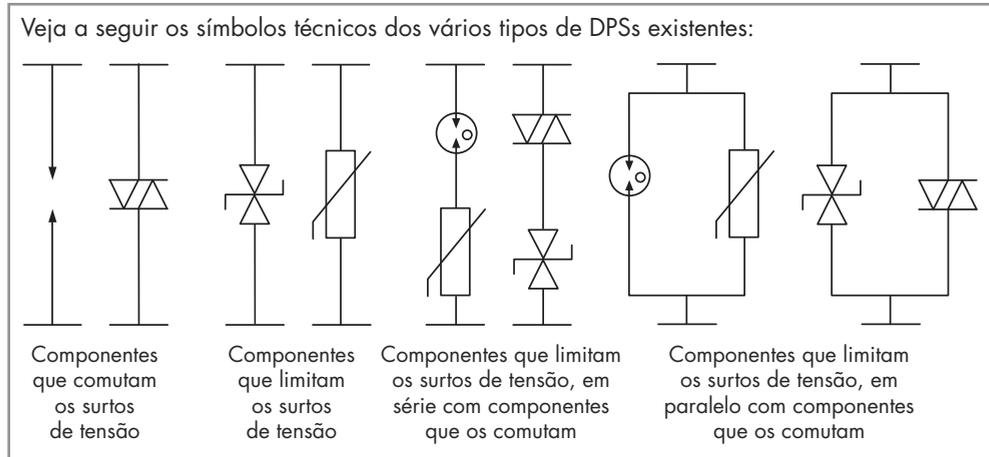
3) Fase de extinção do fenômeno. Ao final da sua intervenção, o DPS é atravessado pela corrente a 50/60 Hz fornecida pelo circuito do qual ele faz parte: corrente subsequente. É possível que o DPS não consiga se reabrir (característica típica dos DPSs de disparo). A norma de produtos definiu a I_{sx} , que representa a corrente máxima que o dispositivo é capaz de suportar e extinguir apenas no primeiro cruzamento de zero da semi-onda. Esse valor de corrente, típico dos centelhadores geralmente aplicados na conexão entre N e PE, deve ser superior ou igual a 100 A. A I_{sx} é uma corrente da qual o DPS é capaz de dar conta e desligar de maneira autônoma: se a corrente de curto-circuito do sistema no qual o DPS estiver instalado for superior a I_{sx} , o DPS deve ser protegido por dispositivos apropriados (por exemplo, fusíveis) para assegurar a extinção do arco.

Se $I_{cc} < I_{sx}$, talvez não seja possível proteger o DPS, mas, como não é possível saber com precisão a duração da I_{sx} , pode ser possível que o disjuntor diferencial intervenha, desligando todo o sistema. Portanto, é interessante usar sempre fusíveis de proteção.

Tipos de DPS

Existem três famílias de DPSs:

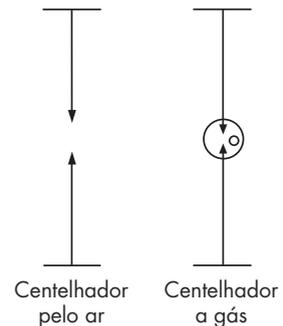
- Por comutação ou disparo. Neste caso, o elemento principal é o centelhador. Existem também modelos a tiristor.
- Por limitação. É a tecnologia mais popular: varistor ou diodos zener (ou tranzorb).
- De tipo combinado. É obtido através da ligação dos dois primeiros em série ou em paralelo.



Desconsiderando as tecnologias “de silício” do tranzorb, Triac, etc., os DPSs para as linhas de energia são produzidos ligando varistores e centelhadores da maneira adequada. Analisemos detalhadamente esses dois componentes para entender como eles funcionam e, portanto, compreender as características dos DPSs produzidos em esses componentes.

Centelhador

O centelhador é um dispositivo que, na sua configuração mais simples, é produzido com dois eletrodos adequadamente separados pelo ar. Na presença de surtos de tensão entre os dois eletrodos, desencadeia-se um arco elétrico. O valor da tensão de ignição não depende apenas da distância entre os eletrodos, mas também das condições ambientais: temperatura, pressão e poluição do ar. Isso significa que a tensão de ignição do arco é muito influenciada, em distâncias iguais, pelas outras três variáveis.

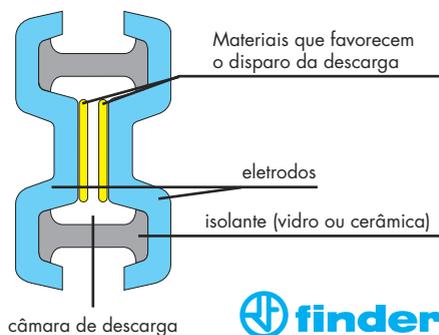


O centelhador usado no DPS é definido como “a gás”, pois os eletrodos ficam contidos numa ampola fechada, contendo gases raros, tais como argônio e neônio, que mantêm a tensão de ignição em valores constantes. Em geral, por essa sua característica de projeto, o centelhador é chamado de “GDT”: Gas Discharge Tube [Tubo de Descarga de Gás].

Representação de projeto de um GDT.

Os tubos de descarga a gás são caracterizados por:

- dimensões reduzidas
- alta capacidade de descarga
- tempos de resposta elevados e alta repetibilidade (o tempo entre o desligamento e a reinicialização do dispositivo pode ser muito curto, e esse processo pode ser repetido muitas vezes)
- vida útil especialmente longa



Princípio de funcionamento

Um centelhador a gás, ou GDT, pode ser descrito como uma resistência variável que, dentro de 100 ns altera seu valor, passando de vários $G\Omega$ em estado de repouso a valores abaixo de 1 Ω , durante um surto de tensão.

O protetor de surto retorna ao seu estado original de alta impedância depois que o surto de tensão diminui.

Consultando a *Figura 4a*, podemos notar que a tensão nos terminais do centelhador sobe até a tensão de saída V_1 e, em seguida, muda para a tensão de ignição, que corresponde ao valor V_2 . Quando esse valor for atingido, normalmente entre 70 e 200 V, ocorre a ignição no GDT; a corrente em questão pode variar entre 10 mA, e aproximadamente 1,5 A. Esse fenômeno, com duração *A*, termina com a passagem ao modo de arco, com duração *B*, o que corresponde a um aumento da corrente em relação a uma tensão muito baixa, igual à tensão do arco, que varia entre 10 e 35 V.

Com a diminuição do pico de tensão, ocorre a redução da corrente, que flui no protetor de surto até o valor necessário para manter ativa a "extinção do arco".

Em correspondência com a extinção da corrente que flui pelo centelhador, ocorre o aumento da tensão nos terminais, igual ao valor da tensão de extinção V_4 .

A *Figura 4a*, mostra o percurso da tensão durante a fase de descarga do GDT. A *Figura 4b* mostra o percurso da corrente em função do tempo, quando o GDT limita um surto de tensão do tipo senoidal. E a *Figura 4c* é obtida, através da combinação dos gráficos de tensão e corrente em função do tempo.

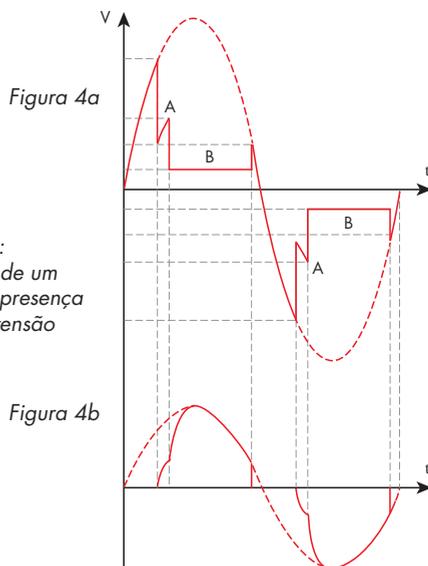
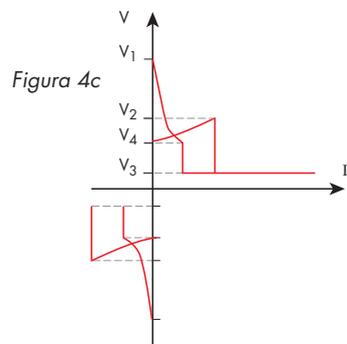


Figura 4a - b - c:
comportamento de um
centelhador em presença
de um surto de tensão



- V_1 Tensão de descarga
- V_2 Tensão de ignição
- V_3 Tensão de arco
- V_4 Tensão de extinção
- A Modo de ignição
- B Extinção de arco

Para entender por que os centelhadores são definidos como dispositivos por “comutação” e compreender as diferenças de funcionamento em relação aos varistores, simplificamos a Figura 4a na Figura 5, na qual distinguimos apenas 3 fases:

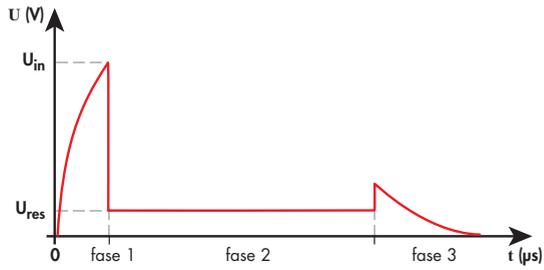


Figura 5: funcionamento simplificado do GDT

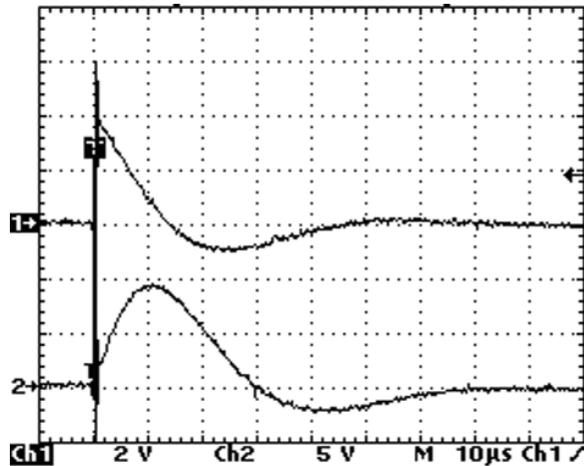
Fase 1: A descarga não é iniciada (circuito aberto).

Fase 2: A descarga ocorre e a corrente flui através do DPS. Na tensão de ignição (U_{in}), à qual corresponde o nível de proteção U_p do protetor de surto, a tensão nos terminais do DPS cai até a U_{res} , que coincide com a tensão do arco. Portanto, o equipamento protegido por um DPS por comutação fica sujeito a um surto de tensão correspondente à U_{in} .

Fase 3: Extinção do arco.

Ao lado, podemos observar a forma de onda real, tomada nos terminais de um GDT durante alguns testes de laboratório.

Figura 6: operação de um GDT



Percurso da tensão (curva superior) e da corrente (curva inferior) detectados durante a operação do GDT, e obtidos com um gerador combinado nos laboratórios da Finder. Neste caso, o valor de tensão máxima é de aproximadamente 3600 V, enquanto o de corrente é de aproximadamente 3000 A.

Corrente residual

Como já mencionado, durante a operação, a tensão nos terminais do GDT é muito baixa e corresponde à tensão do arco, enquanto que a corrente é muito elevada.

Durante a descarga, a tensão nos terminais do GDT (U_{res}) atinge valores muito baixos, com o risco de que a tensão da rede, sendo maior do que a U_{res} , mantenha o dispositivo ligado e dificulte ou mesmo impossibilite a extinção do arco. O arco, na verdade, pode permanecer depois que o pico de tensão cesse, pois é mantido pela tensão do circuito e a corrente até a terra, denominada "corrente residual", pode durar muito. A corrente residual coincide com a corrente de curto-circuito do sistema no ponto de instalação do centelhador, sem a redução de tensão provocada pela presença do arco.

Os DPSs conectados entre o neutro e a PE nos sistemas TT ou TN devem permitir, após sua operação, uma corrente residual para uma frequência industrial superior ou igual a 100 A. Para valores elevados de corrente de curto-circuito no ponto de instalação do centelhador (DPS), devem ser instaladas proteções de corrente máxima, acionadas quando o arco não se extingue espontaneamente, ou deve-se usar DPSs caracterizados por uma ligação interna em série entre o varistor e o GDT (consulte a página 22, por exemplo, DPS: 7P.01.8.260.1025).

Varistor

Os varistores são dispositivos utilizados para proteção contra surtos de tensão, fabricados com uma mistura de cerâmica e partículas de óxido de zinco (MOV) ou óxido de magnésio sinterizado.

Eles podem ser considerados como uma resistência cujo valor muda de acordo com a tensão aplicada aos terminais: quanto maior a tensão, menor a resistência.

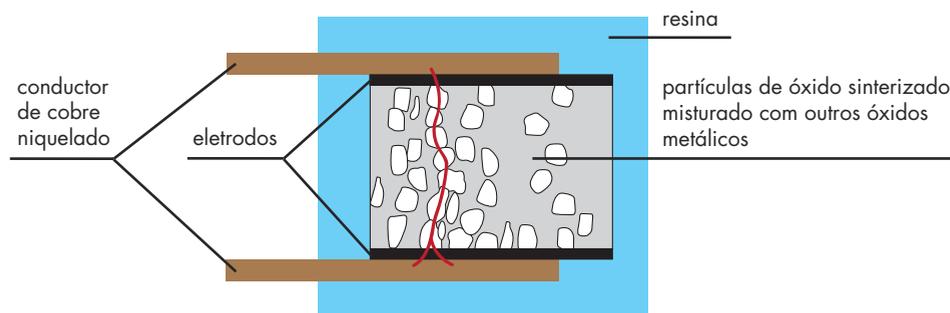
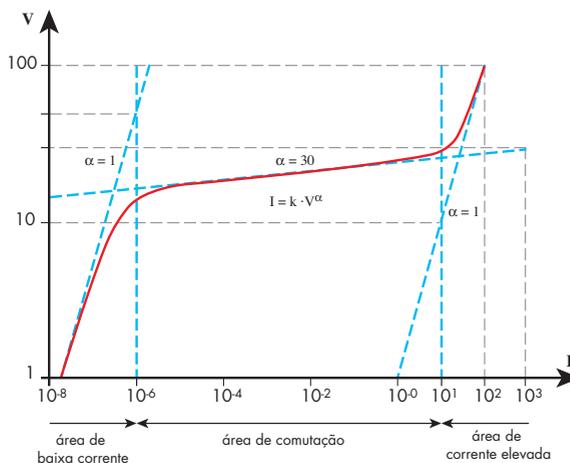


Figura 7:
característica de tensão-corrente
que caracteriza o funcionamento
dos varistores



Sendo fabricados de partículas de metal, os varistores, quando submetidos a uma tensão, são sempre atravessados por uma pequena corrente de fuga. Por isso se diz que o varistor está sempre "ON", e opera com frequência, mesmo com pequenas variações de tensão (região de baixa corrente). Com o tempo, as partículas de metal se soldam umas às outras, criando novos caminhos para a corrente de fuga I_c , que, com o aumento dos valores, levam ao superaquecimento e à quebra do varistor.

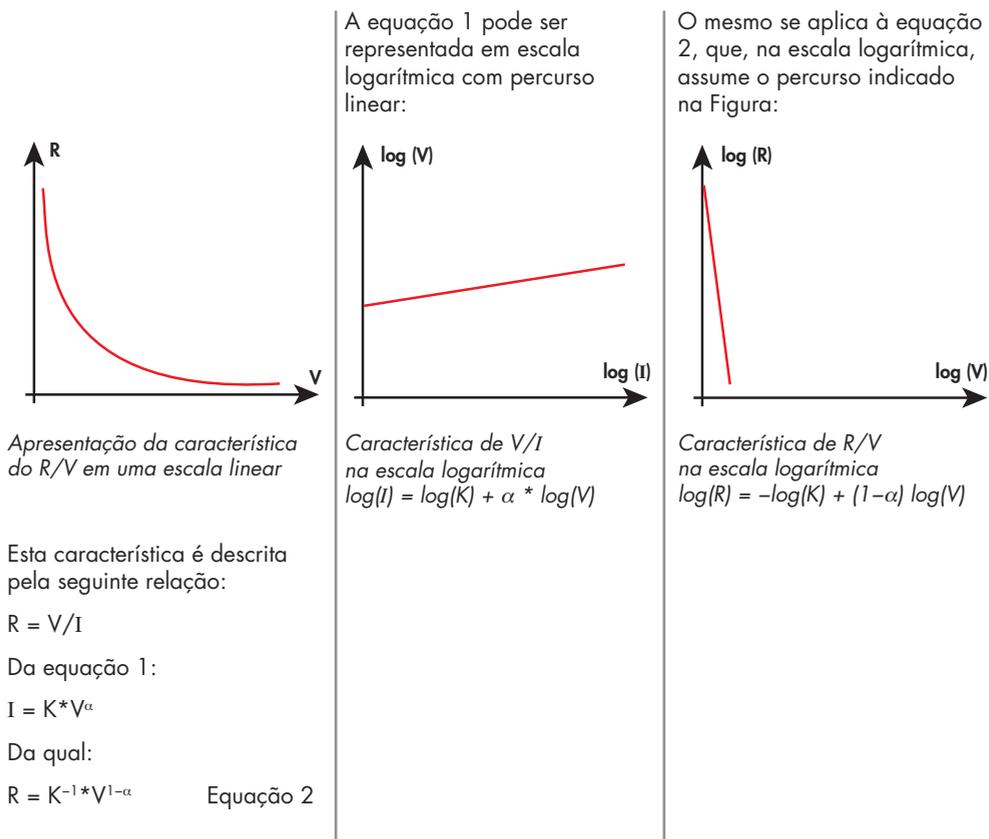
Em condições normais de operação, com poucos acionamentos de proteção do varistor, o aumento da I_c ocorre depois de muitos anos de operação.

Novamente com referência à *Figura 7*, a V/I característica dos varistores pode ser descrita através de funções exponenciais na seguinte fórmula:

$$I = K \cdot V^\alpha \quad (\alpha > 1) \quad \text{Equação 1}$$

onde: I = fluxo de corrente no varistor
 V = tensão aplicada ao varistor
 K = constante do componente (dependendo da geometria)
 α = expoente de não-linearidade

Podemos representar o percurso da resistência do varistor de acordo com a tensão e, especificamente, sua rápida mudança de acordo com um valor predeterminado.



Os DPSs fabricados com varistores são definidos como "de limitação", pois têm a capacidade de manter constante a tensão nos terminais durante a absorção do surto de tensão, uma característica especial dos varistores.

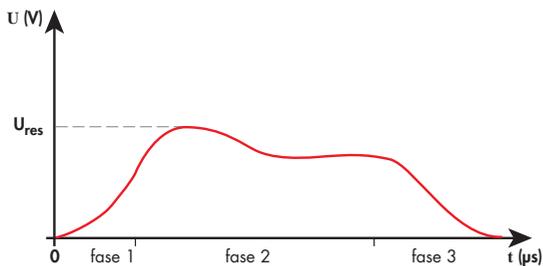
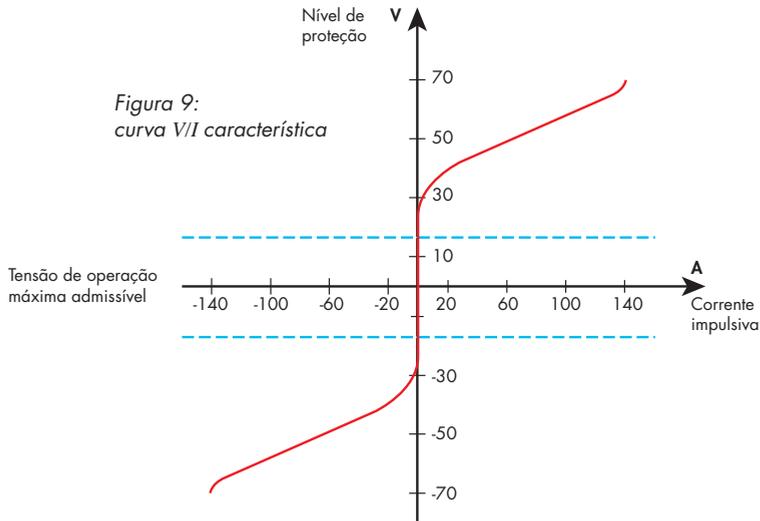


Figura 8: comportamento de um varistor em presença de um pico de tensão

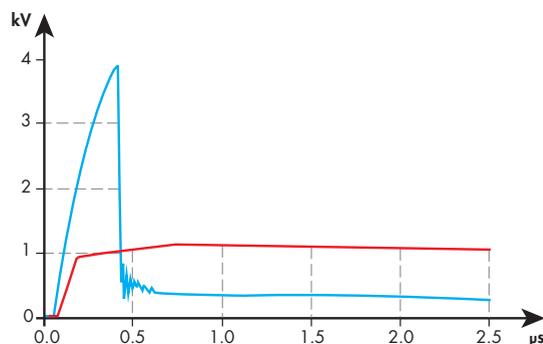
Comparando a *Figura 8* com a *Figura 5*, podemos ver os diferentes comportamentos de operação em relação ao centelhador: na *Figura 5*, podemos ver a operação "ON-OFF", ou seja, em uma dada tensão U_{in} , o GDT é acionado, cortando-a abruptamente. Na *Figura 8*, vemos uma limitação gradual, pois o varistor altera sua resistência proporcionalmente à tensão nos terminais. A tensão nos terminais permanece constante apesar do aumento de corrente, e a passagem pela zona de condução ocorre em poucos nanosegundos.

A *Figura 9* indica o percurso da tensão residual nos terminais do varistor quando muda a corrente que o atravessa. A tensão residual nos terminais do varistor depende da geometria e da espessura da pastilha, que, se for corretamente dimensionada, permite projetar DPSs com vários desempenhos e para diferentes aplicações.



Na imagem abaixo, são comparadas as características dos componentes de comutação e de limitação encontradas em ensaios de laboratório: em azul, o GDT; em vermelho, o varistor. Percebe-se como o último começa a trabalhar a baixas tensões, razão pela qual ele é instalado entre a fase e o neutro.

Figura 10:
comparação de um varistor com um GDT



4 - Características elétricas e aplicações práticas do SPD

Para escolher o tipo de DPS que deve instalado em um sistema, é necessário conhecer suas características elétricas.

Tensão nominal [U_n]: tensão nominal do sistema de alimentação (Ex: 230 V). Embora este dado não conste na plaqueta de um DPS, é necessário conhecer o valor da tensão nominal do sistema a ser protegido, e verificar se $U_n < U_c$.

Tensão máxima contínua [U_c]. É o valor da tensão abaixo do qual o DPS certamente não será acionado, e deve ser pelo menos igual a 110% da tensão nominal do sistema (U_n). Por exemplo, a U_c do DPS Finder da Classe II é igual a 275 V (250 V + 10%).

Esse parâmetro é o primeiro critério para a escolha do DPS, e está ligado à tensão nominal da rede, conforme indicado na tabela a seguir (CEI 64-8/2), que apresenta o valor mínimo da U_c em função do sistema de distribuição.

DPS ligado entre:	Sistema de distribuição			
	TN	TT	IT com neutro	IT sem neutro
Cada condutor de fase e o neutro	1.1 U_0	1.1 U_0	1.1 U_0	NA
Cada condutor de fase e o PE	1.1 U_0	1.1 U_0	U	U
Neutro e PE	U_0^*	U_0^*	U_0^*	NA
Cada condutor de fase e o PEN	1.1 U_0	NA	NA	NA
Condutores de fase	1.1 U	1.1 U	1.1 U	1.1 U

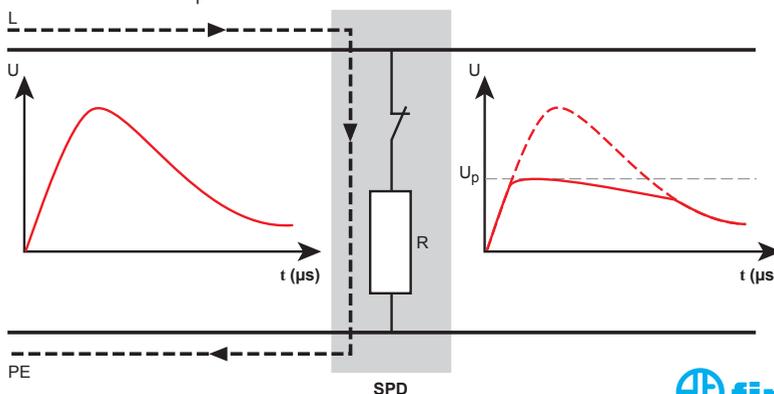
NA - não se aplica
 U_0 - tensão de fase para neutro do sistema de baixa tensão
 U - tensão fase-fase do sistema de baixa tensão
 * - Estes valores são relacionados com as condições mais severas de surto, por tanto a tolerância de 10% não é considerada.

Nível de tensão de proteção [U_p]: representa o valor máximo de tensão que permanece nos terminais do DPS durante a sua operação. Se um DPS for caracterizado por um valor de $U_p < 1,2$ kV, isso significa, por exemplo, que um surto de tensão de 20 kA será limitado pelo centelhador até um valor máximo de 1,2 kV. Para valores inferiores, a U_p será menor.

Com base no valor associado a U_p , pode-se inferir a qualidade do DPS e a qualidade dos componentes utilizados na sua fabricação: quanto mais baixa for a U_p , melhor será a qualidade do DPS.

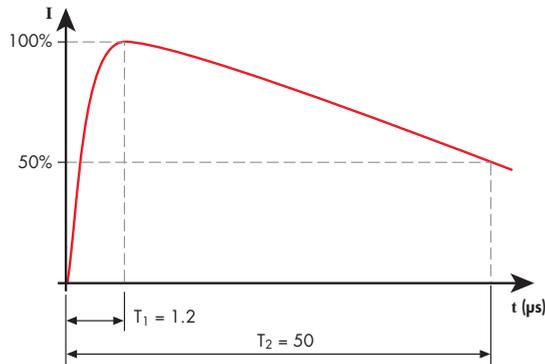
Para entender melhor esse dado, podemos imaginar (mas não é assim) que a U_p seja o valor do surto de tensão que escapa do DPS antes que ele seja acionado e ainda pode propagar pela linha.

Ou, referindo-se ao DPS-interruptor, pode-se esquematizar o DPS como um interruptor com uma resistência em série: quando uma corrente a atravessa, pela lei de Ohm, surge uma tensão que corresponde exatamente à U_p .



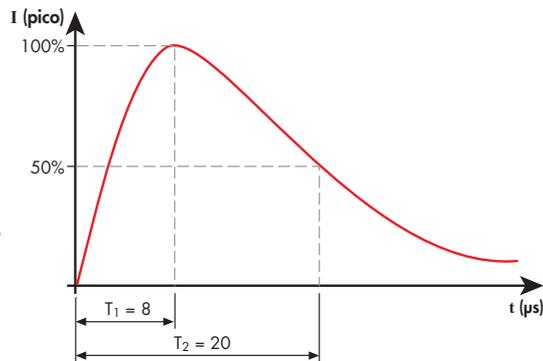
Tensão sem carga [U_{oc}]: este parâmetro é característico dos DPSs de Classe III e corresponde ao valor de pico da tensão sem carga do gerador de teste do tipo combinado, tendo uma forma de onda de 1,2/50 μs (Figura 11), capaz de fornecer ao mesmo tempo uma corrente com forma de onda de 8/20 Ns (Figura 12). O gerador de teste do tipo combinado é utilizado para classificar o desempenho dos DPSs de Classe III.

Figura 11:
forma de onda de
tensão 1,2/50 μs



Corrente nominal de descarga [I_n 8/20]: este é o valor de pico da corrente que atravessa o DPS quando testado com uma forma de onda de 8/20 μs . As normas da série EN 62305 prescrevem esta forma de onda para simular as correntes induzidas por raios em linhas de energia, sendo o teste característico para os DPSs de Classe II.

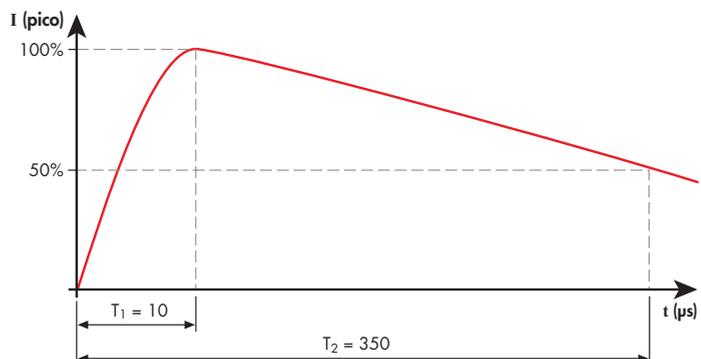
Figura 12:
forma de onda de
corrente 8/20 μs
 $T_1 = 8 \mu s$ representa o tempo
necessário para ir de
10 a 90% da frente
ascendente
 $T_2 = 20 \mu s$ representa o tempo
necessário para chegar a
50% do valor da frente
descendente



Corrente máxima de descarga [I_{max} 8/20]: valor de pico da corrente máxima com forma de onda de 8/20 μs que o DPS pode descarregar pelo menos uma vez sem quebrar.

Corrente de impulso [I_{imp} 10/350]: corresponde ao valor de pico do impulso com forma de onda de 10/350 μs , com o qual o DPS de Classe I é testado. Esta forma de onda é usada para simular o primeiro impacto de um raio.

Figura 13:
forma de onda de
corrente 10/350 μs



Fusível de proteção: para abordar este assunto, consulte a seção dedicada (*Sistemas de backup: fusíveis, disjuntores e disjuntores diferenciais, página 32*). Começamos dizendo que inclusive a capacidade máxima permitida indica a qualidade do DPS: quanto maior for esse valor, maior será a qualidade do varistor utilizado, porque ele será capaz de suportar e dissipar a energia de maneira autônoma. Isso, é claro, se traduz num aumento da vida útil do produto.

Disjuntor térmico

O disjuntor térmico tem a função de desligar o DPS da rede elétrica quando ele atinge o fim da vida útil, e é acionado quando a corrente de fuga característica do varistor fica demasiadamente elevada, devido ao envelhecimento do componente, ou devido a um surto de tensão excessivo. O acionamento do disjuntor térmico é indicado por uma pequena janela na parte dianteira do centelhador, que muda de cor, passando, em geral, do verde (dispositivo OK), para vermelho (falha do dispositivo) e, ao mesmo tempo, pode acionar um contato em resposta à sinalização remota, a qual, por sua vez, pode comandar, por exemplo, um sinal luminoso ou sonoro. O dispositivo de proteção térmica pode ser acionado também após a descarga de uma corrente de raio elevada, superior à I_n , para indicar que o DPS não é mais capaz de proteger o sistema.

Dispositivo de proteção contra surtos DPS na prática

Vimos que, de acordo com os métodos de fabricação, os DPSs podem ser classificados como “por limitação”, “por comutação” e “combinados”; apresentamos aqui esquematicamente as características dos DPSs por limitação e por comutação, que já foram amplamente abordadas, e aprofundaremos a análise dos DPSs do tipo combinado:

DPS a ignição, ou comutação

Vantagens:

- Dimensões e correntes de descarga elevadas
- Confiabilidade
- Isolamento galvânico

Desvantagens:

- Tensão de ignição elevada (U_p alta)
- Corrente residual

DPS por limitação

Vantagens:

- Tempos de acionamento reduzidos (25 ns)
- Precisão reprodutibilidade das ignições
- Baixo nível de proteção contra U_p
- Ausência da corrente residual

Desvantagens:

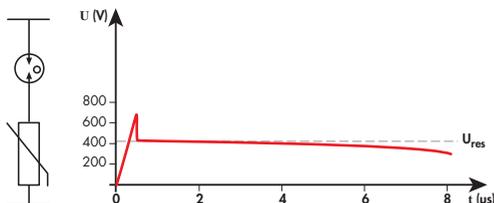
- Não garantem o isolamento galvânico. Portanto, a corrente de fuga não é zero
- A capacidade de descarga é reduzida

DPS do tipo combinado

Dependendo do tipo de ligação (em série ou paralela), será acionado em primeiro lugar, respectivamente, o GDT ou o varistor.

Ligação em série:

O varistor e o GDT estão em série, a tensão residual é elevada, a corrente residual é zero.



Na ligação em série, o centelhador é acionado em primeiro lugar: atinge-se a tensão de ignição, o arco surge no centelhador e a tensão residual, que antes caía até a tensão do arco, permanece em valores mais elevados. Isso se deve ao varistor em série, que, impondo sua tensão residual (muito maior que a tensão do arco) ajuda o centelhador a extinguir o arco e anula a corrente residual.

Vantagens:

- Garantia do isolamento galvânico e ausência de correntes de fuga
- Não há corrente residual devido à alta tensão residual

Desvantagens:

- Nível de proteção elevado (U_p alta para uma tensão de ignição elevada)
- A capacidade de descarga é reduzida
- Alta tolerância de ignição (maior que a do varistor)

Detalhes

Este tipo de DPS se caracteriza pela presença de dois componentes ligados em série, caracterizados por dois níveis de proteção muito diferentes entre si: a que valor de surto de tensão o equipamento a ser protegido é realmente exposto?

Ao definir o argumento em termos teóricos, o fabricante do DPS fornece um dispositivo do qual afirma apenas a U_p , que dependendo da tecnologia pode ser:

- a) $U_p = U_{in}$ (tensão de ignição do GDT)
- b) $U_p = U_{res}$ (tensão residual do varistor)

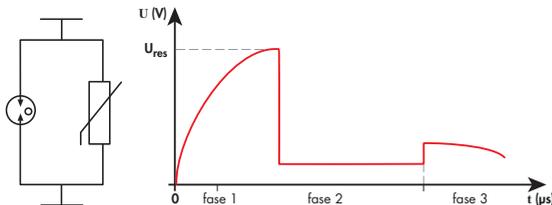
Recordamos que é importante conhecer o valor da U_p , que, para a mesma corrente de descarga, será tanto menor quanto melhor for o componente.

Neste tipo de ligação, a corrente de operação contínua é zero ($I_c = 0$), então, o varistor dura muito mais tempo, porque está sempre "ON".

Defeitos: neste caso, o GDT é comandado pelo varistor, cujo desempenho é menor em termos de energia dissipada, pois dissipa a sua própria impedância, de modo que a capacidade de descarga pode não ser muito elevada. No entanto, com as tecnologias atuais, ainda é possível ter correntes de descarga elevadas junto com uma vida prolongada dos varistores e correntes de fuga nulas.

Ligação em paralelo:

O varistor e o GDT são ligados em paralelo, com baixa tensão residual, e nível de segurança baixo.



Ao contrário do caso anterior, nesta configuração de circuito, o varistor é acionado em primeiro lugar, uma vez que é caracterizado por tempos de acionamento menores que os do GDT. Neste caso, a média é de 20 ns. O fabricante garante que o aumento da tensão nos terminais do varistor determine a ignição do GDT que, desviando-se do varistor, o protege e garante correntes de descarga elevadas.

Vantagens:

- Acionamento mais rápido
- Altas correntes de descarga
- Baixo nível de proteção (U_p baixa)
- Precisão de acionamento

Desvantagens:

- A corrente residual não é nula (U_{res} elevada)
- A corrente de fuga não é nula

5 - Técnicas de instalação

Após a análise das características estruturais e funcionais dos DPSs no mercado, continuamos com a análise do processo de instalação, que desempenha um papel importante na proteção dos equipamentos: uma instalação malfeita inutiliza até mesmo a presença dos DPSs em um sistema. Começemos examinando como e onde ligar o DPS, apresentando o conceito de **nível eficaz de proteção $U_{p/f}$** . O nível eficaz de proteção considera, além da U_p do DPS, a queda de tensão nos terminais dos condutores de conexão do DPS.

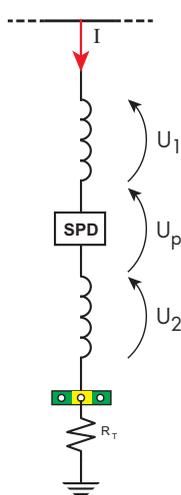
Como podemos ver, a indutância parasita dos condutores desempenha um papel fundamental, especialmente se a forma de onda de tensão for caracterizada por uma inclinação muito elevada. Se a inclinação da onda for conhecida, podemos calcular exatamente o valor da ΔU com a seguinte equação:

$$\Delta U = L \cdot di/dt$$

onde

L: indutância do cabo

di/dt: variação da corrente



Vale a equação:

$$U_{p/f} = U_p + U_1 + U_2$$

$$\text{Definimos } \Delta U = U_1 + U_2$$

$$U_{p/f} = U_p + \Delta U$$

A norma EN 62305 quantifica $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ para DPSs de Classe I, mas é insignificante para as Classes II e III.

Deduzimos, portanto, que fazer ligações muito longas, seja na direção do DPS ou do equipamento a ser protegido, cria valores de tensão que não podem ser conhecidos e vão se somar à U_p do protetor de surto, alterando ou mesmo eliminando a capacidade de proteção oferecida pelo DPS.

A fórmula acima usada para calcular o valor efetivo de proteção é válida para os DPSs que usam varistores. Neste caso, na verdade, a queda ΔU ocorre simultaneamente a U_p .

Se a queda não ocorrer simultaneamente, como ocorre nos centelhadores, é preciso escolher o maior valor entre ΔU e U_p . Neste caso, a queda indutiva nas conexões ocorre apenas após a ignição do centelhador. Portanto, ela não se soma à U_p .

Nos DPSs ligados em série produzidos com varistor + centelhador, a U_p total é obtida pelo maior valor entre U_{pGDT} e U_{pVAR} . Se forem produzidos com 2 varistores em série, a U_p total será a soma das U_p dos varistores.

Para garantir a proteção oferecida pelo DPS, é necessário tomar uma série de precauções na fase de instalação, as quais são apresentadas a seguir.

O equipamento a ser protegido deve ser ligado à barra equipotencial à qual o DPS está ligado, e não uma barra equipotencial qualquer presente no edifício "porque ambas são aterradas" (Figura 16). Além disso, o comprimento dos cabos de e para o DPS não deve ser maior que 50 cm. Isso se aplica aos DPSs do Tipo 1, quando são afetados por I_{imp} (10/350 μ s).

No caso em que as ligações forem maiores que 50 cm, é necessário fazer a ligação de entrada e saída, que é sempre recomendada, porque faz com que a contribuição de ΔU seja insignificante. Na conexão de entrada e saída, os cabos de entrada e saída do DPS devem ser mantidos separados tanto quanto possível.

Algumas técnicas que ajudam a melhorar o nível de proteção consistem em reduzir a indutância entre os condutores. Isso pode ser realizado trançando os fios (Figura 14) ou usando cabos blindados (Figura 15). Entretanto, a conexão ideal continua sendo a de entrada e saída.

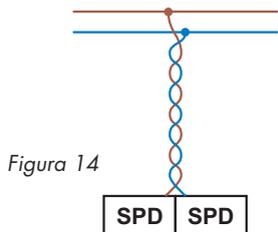


Figura 14

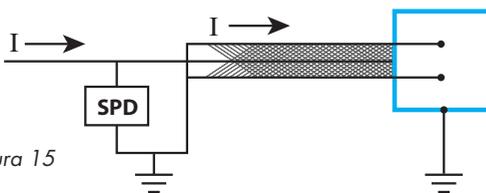


Figura 15

Apresentamos alguns exemplos de conexões incorretas: o erro mais comum é realizar ligações muito longas para o DPS.

Ao lado é representada a ligação do DPS a uma barra equipotencial qualquer. Neste caso, é introduzida a indutância que liga a barra equipotencial à qual está ligado o equipamento a ser protegido com a barra equipotencial à qual o DPS está ligado. Neste caso, ΔU é a soma das três contribuições, e $U_{p/f}$ assume valores certamente muito elevados.

Figura 16:
conexão incorreta a uma
barra equipotencial qualquer

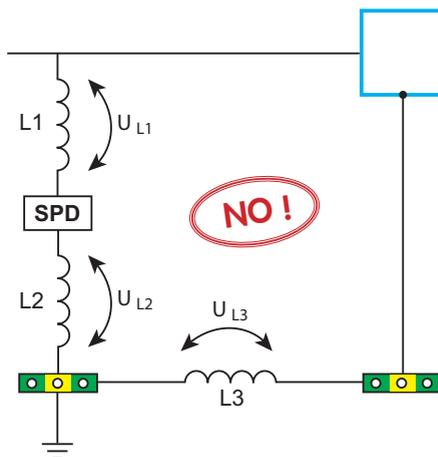


Figura 17a:
conexões incorretas,
os cabos são muito
longos

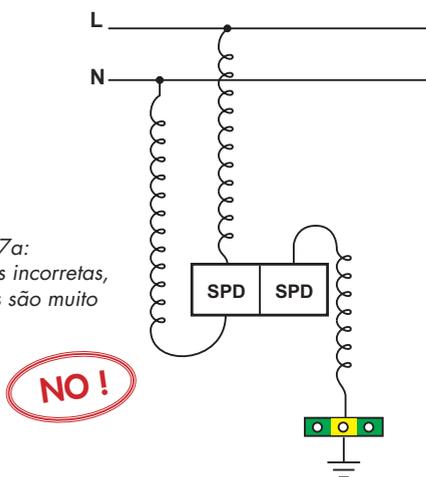


Figura 17b:
conexões incorretas,
os cabos são muito
longos

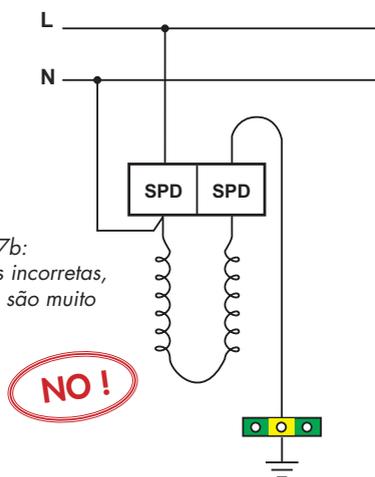
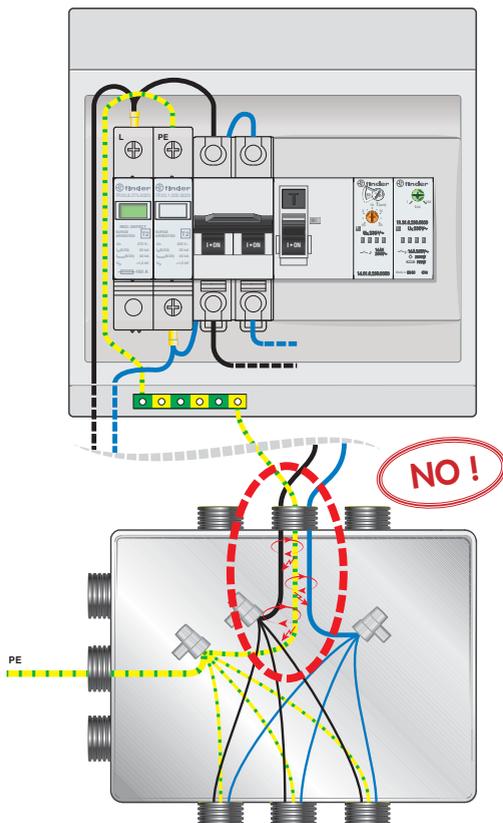
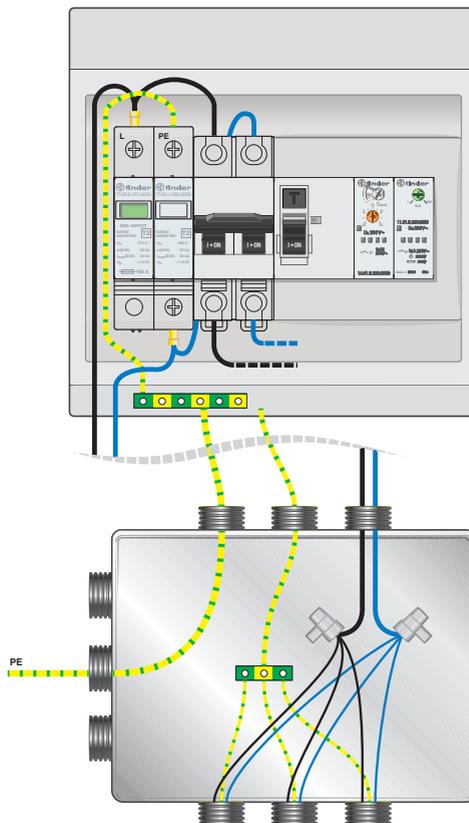


Figura 18: instalação incorreta.
O fio terra é passado junto com os condutores protegidos: pode ocorrer um acoplamento indutivo, anulando o efeito do DPS.



Outro erro a ser evitado é passar o fio terra conectado ao DPS junto com o condutor protegido. Neste caso, podem ser criadas tensões induzidas nos condutores protegidos.

Figura 19: instalação correta.
Fio terra ligado à barra equipotencial, separado da fase neutro.

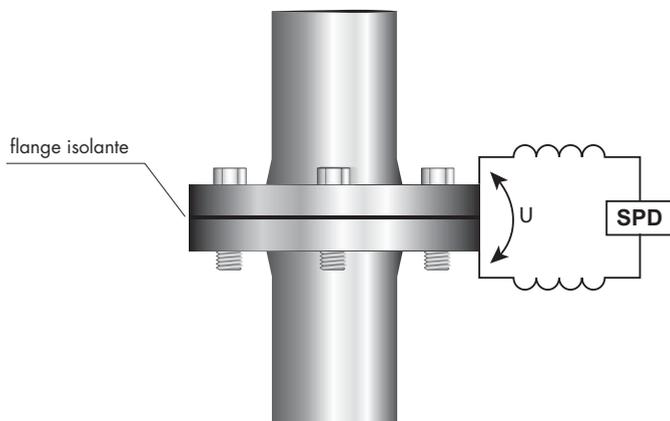


A instalação correta exige que o fio terra que sai do DPS seja conectado a uma barra de equipotencial e seja passado em um conduíte dedicado.

Vamos analisar o que fazer caso se interponham juntas de material isolante com elevada resistividade elétrica nas tubulações metálicas (massas estranhas), que criam problemas graves em caso de surtos de tensão.

Geralmente, em relação as flanges, é suficiente instalar acopladores em "U" para assegurar a continuidade elétrica que não é assegurada pelos parafusos.

Em aplicações muito raras pode ser necessário instalar um DPS, nesse caso, o **cumprimento máximo das ligações é de 40 cm.**



Distância de proteção

Após decidir que um equipamento deve ser protegido, é necessário determinar onde instalar o DPS.

Quanto mais perto o DPS estiver do equipamento a ser protegido, melhor será a proteção. Quanto mais se afasta, menos se protege o que interessa, mas é possível aumentar a proteção de outros dispositivos.

Um DPS instalado num quadro não protege tudo o que vier depois dele; protege-se a certa distância, de acordo com a tensão suportável (U_w dos dispositivos conectados). Suponhamos que o dispositivo a ser protegido tenha uma tensão de impulso igual a 2,5 kV. É possível protegê-lo, por exemplo, até 20 m, mas se a U_w for igual a 4 kV, será possível protegê-lo, por exemplo, a uma distância de até 40 m. Esses valores são apenas exemplos e não têm nenhuma base teórica ou prática.

Atualmente, a norma não estabelece limites para a capacidade de proteção de um DPS localizado a 10 metros do equipamento a ser protegido, mas podemos supor que, no futuro, a distância máxima de proteção talvez não ultrapasse os 3 m. Para garantir a proteção oferecida pelo DPS instalado, é sempre melhor verificar a equação: $U_{p/f} < U_w/2$ (EN 62305).

Detalhes

A necessidade de estabelecer a distância máxima de proteção provém dos fenômenos complexos relacionados às ondas refletidas, nas quais uma onda de tensão, caso chegue ao final da linha e encontre uma carga não ajustada, se reflete, volta para trás e se sobrepõe à onda de tensão que está se propagando.

Isso significa que, se o surto de tensão residual (U_{res}), que permanece nos terminais do DPS propagarem-se pela linha e encontrar no fim da linha um circuito aberto, ele será refletido, voltará para trás e, pelo fenômeno das ondas estacionárias, a tensão no fim da linha (e, portanto, nos terminais do aparelho) pode até mesmo dobrar, atingindo um valor igual a $2 U_{res}$.

Se o comprimento dos cabos for maior que 10 m, a distância de instalação pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$L_{po} = [U_N - U_{p/f}] / K \quad [m]$$

com $K=25 \text{ V/m}$

Imagine que ocorra um aumento na tensão total a cada metro igual a:

$$\Delta U = 2 \cdot S \cdot \tau$$

onde

S: varia de acordo com a inclinação da forma de onda: 0,8 - 0,9, representam valores conservadores e razoáveis

τ : é o tempo necessário para percorrer o trecho de cabo

$$\tau = L/v$$

onde

v = velocidade de propagação da onda.

Assim, podemos obter K: $K = 2 \cdot S \cdot \tau$

Assim, a queda por metro de cabo $\Delta U = K \cdot L \text{ [V/m]}$

Então: $U_{p/f} + K \cdot L_{po} < U_W$ (esta fórmula não se aplica a menos de 10 m)

Muitas vezes, não é possível instalar um único DPS para proteger todos os equipamentos sensíveis. Portanto, é necessário instalar dois ou mais DPSs para que os equipamentos sejam instalados dentro da distância de proteção oferecida pelo DPS. Para isso, é necessário instalar os DPSs em cascata de tal forma que estejam coordenados do ponto de vista da alimentação.

Dois ou mais DPSs coordenados na alimentação constituem um SISTEMA de DPSs.

Sistema de DPS e coordenação de energia

Um sistema de DPS é obtido através da ligação sucessiva de pelo menos dois DPSs com coordenação de alimentação. Essa expressão significa que a energia que atravessa o primeiro DPS é compatível com a energia que o DPS instalado depois é capaz de suportar.

A coordenação ocorre “distanciando” adequadamente os DPSs, através da inserção de uma indutância de valor adequado. Essa indutância, dadas as frequências presentes, é introduzida automaticamente pelos cabos utilizados no sistema elétrico. As normas estabelecem $1 \mu\text{H}/\text{m}$, o que significa que, se dois DPS forem separados por 5 m, devemos inserir entre os dois dispositivos uma indutância de $5 \mu\text{H}$.

O valor mínimo da indutância a ser inserida ou, em outras palavras, o comprimento do cabo útil, em metros, para distanciar os produtos, é declarado pelo fabricante. Esse valor, portanto, é o mínimo necessário para assegurar uma divisão dos surtos de tensão em termos de alimentação entre o DPS inicial e o DPS instalado depois dele. Dessa forma, o primeiro absorve a energia de forma a não danificar o segundo (apêndice 4 da norma EN 62305).

Suponhamos que queremos proteger um edifício contra surtos de tensão, instalando no quadro de distribuição principal um DPS de Tipo 1 e, no quadro instalado em um ponto posterior, um DPS de Tipo 2.

Muitas vezes, um DPS na entrada da linha é suficiente para reduzir as chances de descargas perigosas e, portanto, incêndios: o DPS de Classe I evita a morte de pessoas, mas não protege os equipamentos. Essa tarefa é realizada por um Sistema de DPS.

Portanto, é necessário instalar um DPS de Classe II mais próximo dos equipamentos a serem protegidos.

Na proximidade de equipamentos eletrônicos sensíveis e caros (TVs, PCs, etc.), deve ser instalado um DPS Tipo 3.

A figura a seguir mostra um sistema de proteção contra surtos de tensão para um sistema TT trifásico.

Neste caso, utiliza-se um DPS Tipo 1 de “baixa U_p ”, a pelo menos 5 m de distância é instalado um DPS Tipo 2; e, em relação aos usuários finais (embora a pelo menos 1 m de distância do T2), um DPS Tipo 3.

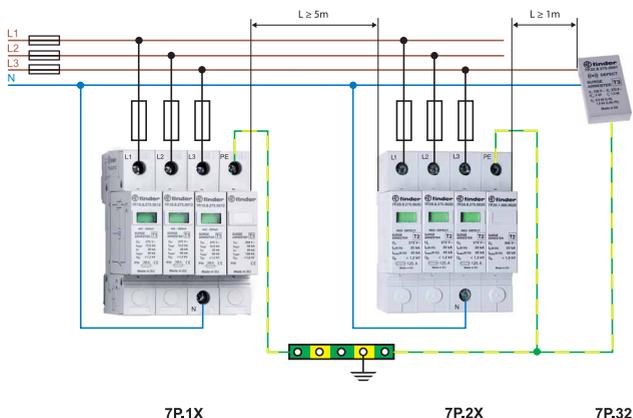
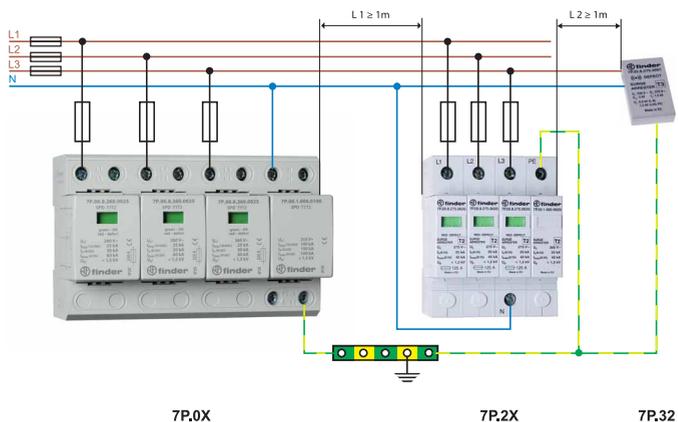


Figura 20:
coordenação de energia
entre DPS Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3

Os DPSs Tipo 1 da Finder garantem valores baixos de U_p , semelhantes aos valores dos DPSs Tipo 2 da Finder. Isso foi possível somente com o uso de varistores de qualidade.

Um sistema de proteção semelhante, mas com correntes de descarga maiores, é obtido com a combinação de DPSs dos Tipos 1 e 2. Eles executam exatamente as funções dos DPSs de Classe I e Classe II instalados em cascata (observe que “Classe” e “Tipo” são sinônimos).

Figura 21:
coordenação de energia
entre DPS de Tipo 1+2,
Tipo 2 e Tipo 3



Os DPSs Tipo 1+2, os "7P.0x", fornecem, para todos os efeitos, a proteção oferecida por um DPS Tipo 1 e um DPS Tipo 2 perfeitamente coordenados. Na Figura 21, o DPS de Classe II foi adicionado assumindo um sistema com uma determinada extensão, mas, em sistemas de pequeno porte, nos quais a distância de proteção é observada, o DPS Tipo 2 não pode ser instalado (Figura 22).

Figura 22:
coordenação de energia
entre DPSs Tipo 1+2 e Tipo 3

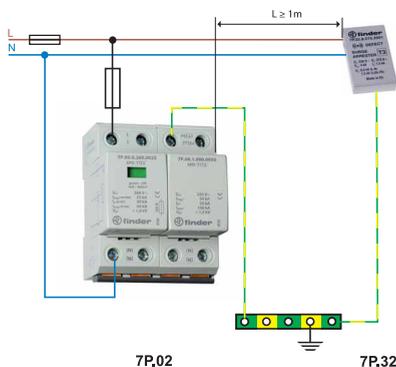
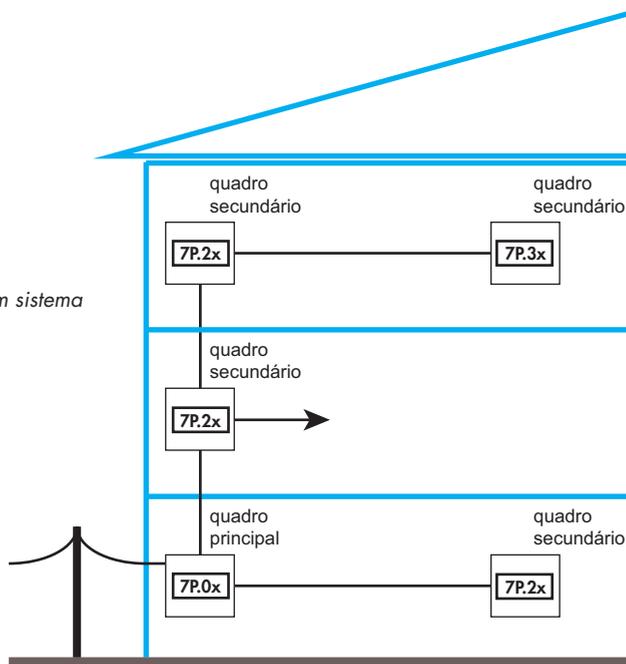


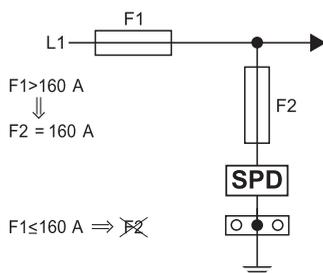
Figura 23:
coordenação de energia num sistema
distribuído em vários níveis



Sistemas de back-up: fusíveis, disjuntores e disjuntores diferenciais

Os DPSs podem ser instalados com ou sem fusíveis.

Para determinar quando instalar os fusíveis, podemos consultar o esquema:



F1 representa o dispositivo de proteção principal para sobrecorrente. Se F1 é maior que o valor de corrente indicado no catálogo como "Proteção máxima para sobrecorrente", então o DPS deve ter proteção com um fusível de back-up nos seguintes valores:

Para DPS Tipo 1+2 (7P.0x): 250 A

Para DPS Tipo 1+2 (7P.1x): 160 A

Para DPS Tipo 2 (7P.2x): 160 A

Não é vantajoso utilizar fusíveis de dimensões menores que as indicadas, pois isso causa a redução do desempenho do DPS: se forem subdimensionados, na verdade, os fusíveis explodirão com correntes de raio mais baixas do que as indicadas nas características do DPS, reduzindo, assim, o desempenho.

Um argumento semelhante pode ser apresentado se forem usados disjuntores diferenciais e disjuntores simples: no laboratório, foram testados vários disjuntores de curva C, com I_n de 25 A e 32 A: durante a passagem do surto de tensão com forma de onda de $8/20 \mu s$, eles foram acionados, abrindo os contatos como se houvesse uma falha. Os valores em questão eram muito baixos: falamos de correntes de 5 kA contra os 20 kA de corrente nominal do DPS. Assim, fica claro que inserir um disjuntor automático de back-up causa a redução do desempenho do DPS que, assim, funcionará corretamente somente sob correntes mais baixas.

Isso significa que:

- Apenas uma parte do surto de tensão será limitada
- O DPS não sofrerá danos, mas será desligado do sistema até que um operador rearme o disjuntor
- A norma não proíbe, mas afirma que os diferenciais aumentam a $U_{p/f}$, o que reduz a distância de proteção e aumenta a exigência sobre os isolamentos
- Os disjuntores de diferentes fornecedores são muito diferentes entre si.
Portanto, não é possível determinar antecipadamente seu comportamento com o DPS.

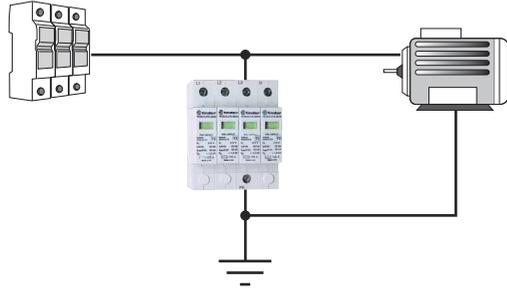
Em conclusão, portanto, os testes realizados permitem observar que disjuntores de 63 A, curva C, permitem que o DPS opere a até 38 kA, contra seus 40 kA de I_{max} , ainda insuficientes para declarar a perfeita correspondência com as características elétricas do DPS. É aconselhável, portanto, usar sempre fusíveis que não piorem de modo algum a $U_{p/f}$ e cuja operação seja padronizada, independentemente do fabricante.

É importante verificar, em um DPS com centelhador, se o valor nominal de corte da corrente residual é maior do que o valor da corrente de curto-circuito no ponto de instalação.

Os DPSs sem fusível da Finder têm uma capacidade de extinção da corrente residual igual a 100 A. Com o uso do fusível, a capacidade à corrente de curto-circuito aumenta até 35 kA.

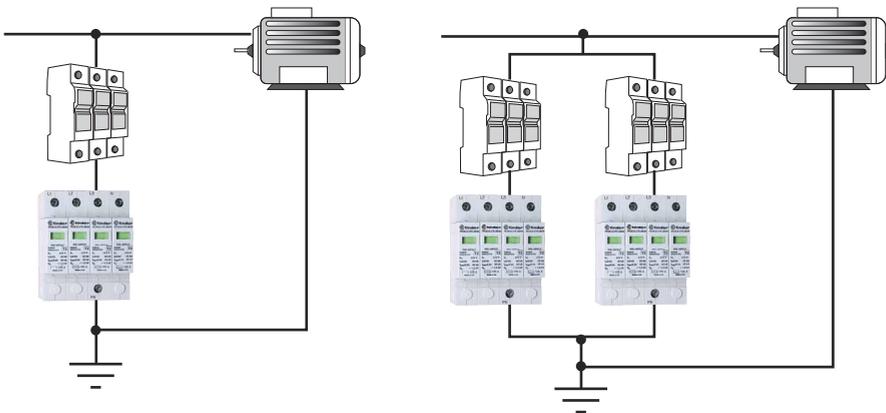
As proteções de back-up podem ser instaladas para privilegiar a proteção ou a continuidade da fonte de alimentação (ou seja, o serviço) do dispositivo a ser protegido.

Prioridade da proteção:



Neste caso, o fusível protege, além do DPS, o dispositivo a ser protegido. Se um fusível queimar porque o DPS foi danificado devido a um surto de tensão elevado, ocorre uma paralisação.

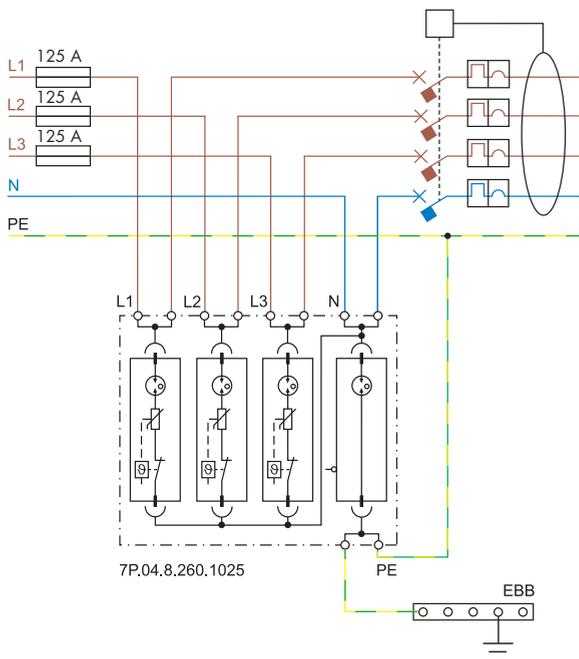
Prioridade da alimentação:



Se a alimentação for priorizada, os fusíveis protegerão apenas o DPS. Nesse caso, se um fusível for acionado porque o DPS foi danificado por um surto de tensão elevado, o aparelho continuará funcionando. O serviço não se perde, mas o aparelho não estará mais protegido. Se for considerado oportuno, o sistema de proteção contra surto de tensão pode ser repetido duas vezes.

Conexão série (V-Shape)

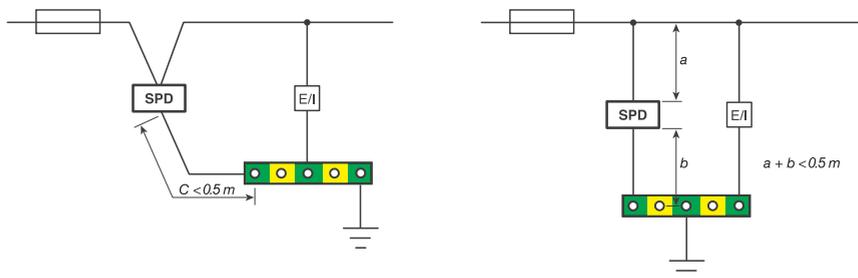
A conexão série (V-Shape) permite instalar com eficácia a proteção eliminando a tensão induzida pelos terminais do DPS, durante o dreno de sobrecorrente. O limite desta instalação é dado pela corrente nominal do sistema que deve atravessar o borne duplo de conexão do DPS e não pode ultrapassar 125 A.



Para sistemas em que a corrente nominal é maior que 125 A, se deve proceder com a instalação convencional do DPS em paralelo ao sistema (T-Shape).

Condutor de conexão

Dependendo do tipo de conexão, serial (V-Shape) ou paralela (T-Shape), deve-se atentar para que o comprimento e seção mínima dos condutores sejam respeitados:



Ao retomar as imagens acima, podemos dizer que os condutores de ligação do DPS devem ser curtos e retos, tanto quanto seja possível. As seções dos condutores de ligação entre o DPS e os condutores da linha de energia são os mesmos usados na sistema elétrico no ponto de instalação do DPS. As seções dos condutores de aterramento devem ter seções mínimas bem definidas, conforme mostrado na tabela (para condutores de cobre):

DPS	Seção mínima mm ²
Classe I	6
Classe II	4
Classe III	1.5

6 - Aplicações industriais

Premissa

No campo industrial, os critérios de instalação são semelhantes aos do setor civil. A diferença reside apenas no número de fases. As instalações industriais podem ser TN, IT e TT, sendo que os últimos também se aplicam ao setor civil.

A norma EN 60364, da qual deriva a CEI 64-8, define três tipos de sistemas de distribuição que diferem de acordo com o aterramento do sistema dos condutores ativos e com o aterramento das massas:

Para a sua classificação, usam-se duas letras que assumem os seguintes significados:

1º letra: T = o neutro é aterrado

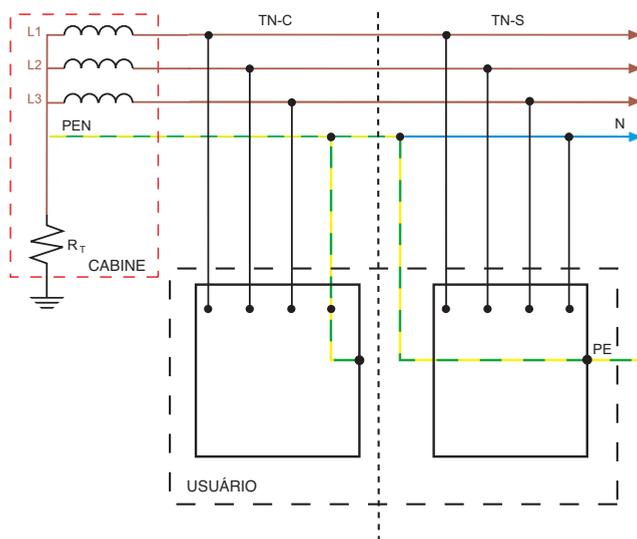
1º letra: I = o neutro não é aterrado, ou aterrado através de uma impedância

2º letra: T = massas aterradas

2º letra: N = massas ligadas ao neutro do sistema

Começamos, assim, a analisar os métodos de instalação dos DPS no setor industrial, mais complexo por ser mais articulado, analisando em ordem os sistemas TN, IT, e, finalmente, o sistema de TT, que servirá como ponte para os sistemas civis.

Sistema TN



No sistema TN, o neutro está diretamente ligado ao aterramento. As massas são ligadas diretamente ao condutor do neutro (TN-C) ou através de um condutor de proteção (TN-S). Se o condutor neutro também servir de condutor de proteção, levará o nome de PEN.

Fazendo referência à Versão 2 da norma CEI 64-8, o modo correto de instalação dos DPSs exige a conexão do "Tipo A", que prevê a instalação dos DPSs entre os condutores ativos e o condutor principal de proteção ou entre os condutores ativos e o coletor principal de terra. Entre os dois, deve ser escolhido o caminho mais curto.

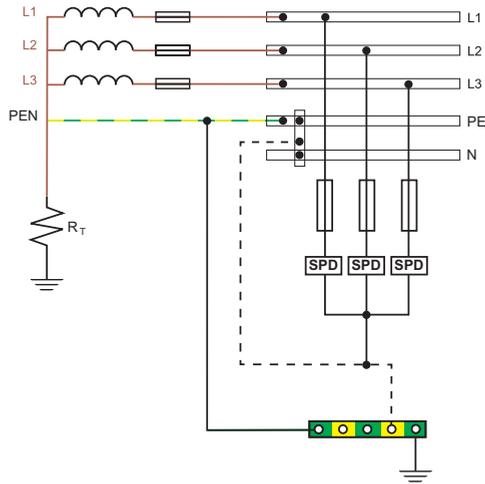


Figura 24: conexão do "Tipo A": DPS entre condutores ativos e o PEN

Em relação ao quadro secundário, um sistema TN-C pode tornar-se um TN-S, e, como dispositivos de proteção contra contacto indireto, é possível usar disjuntores diferenciais (RCD), como mostra a Figura 25.

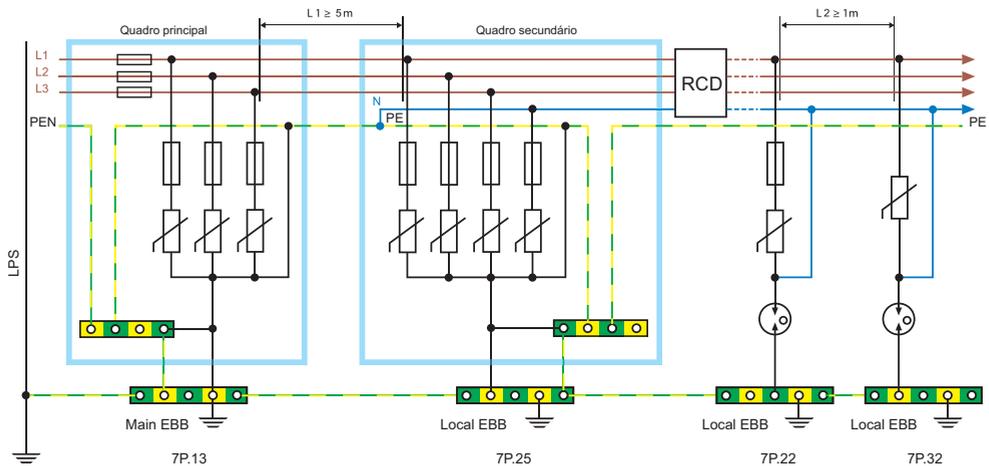
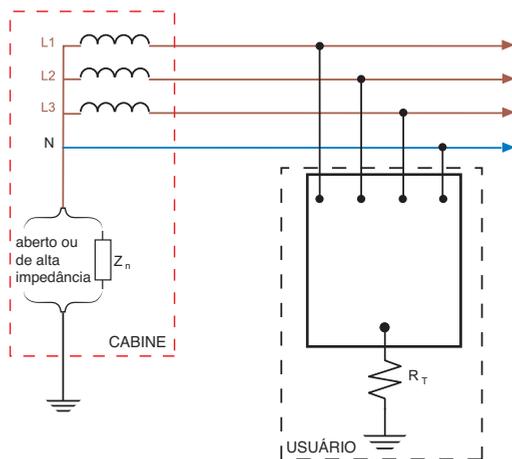


Figura 25: conexão do "Tipo A" e coordenação de energia realizada com o DPS da Finder

No quadro principal, depois dos dispositivos de corrente máxima, é instalado um DPS Tipo 1; no quadro secundário, antes do disjuntor diferencial, um DPS Tipo 2, que será do tipo "4+0", equipado com 4 varistores.

Depois do disjuntor diferencial, podem ser usados os DPSs de Classe II na configuração 1+1.

Sistema IT



No sistema IT, o neutro é isolado ou aterrado através de uma impedância de valor elevado (para 230/400 V, centenas de ohms), enquanto as massas são conectadas a um terra local. Este é um sistema usado para instalações com requisitos específicos de continuidade de operação. Além disso, esse tipo de instalação exige a conexão de "Tipo A".

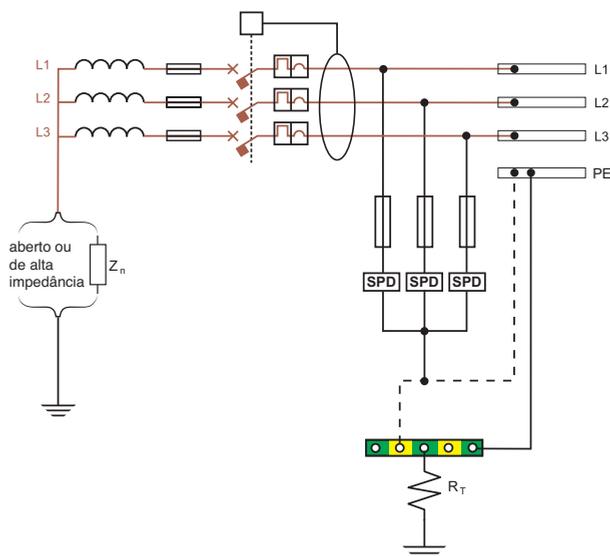
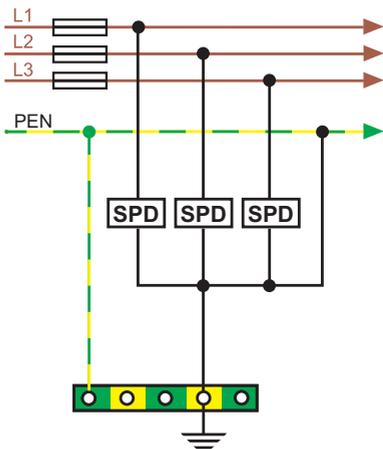


Figura 26: conexão do "Tipo A": DPS entre condutores ativos e o PE

Como dissemos, o sistema IT é utilizado em certas condições, por exemplo, nas indústrias em que a produção não podem ser interrompida sob nenhuma circunstância. Na primeira falha, um sistema IT passa a ser um TT ou TN, de modo que o sistema continue funcionando corretamente para que a produção não pare. Na primeira falha, o PE assume o potencial da fase defeituosa, mas isso não é problema, pois o PE e todas as partes que possam ser tocadas simultaneamente assumem o mesmo potencial para que não possam surgir tensões perigosas. Isso implica que, na fase de projeto das proteções contra surtos de tensão em um sistema IT de 230/400 V, em caso de defeito no DPS, exista uma tensão de 400 V, no DPS que não apresente defeitos. Dependendo do tipo de IT, seja o neutro distribuído ou não-distribuído, deve-se escolher DPS adequados levando em conta a tensão que pode surgir em caso de falha no DPS.

Sistema IT com Neutro NÃO distribuído



$$U_n \leq 400 \text{ V AC}$$

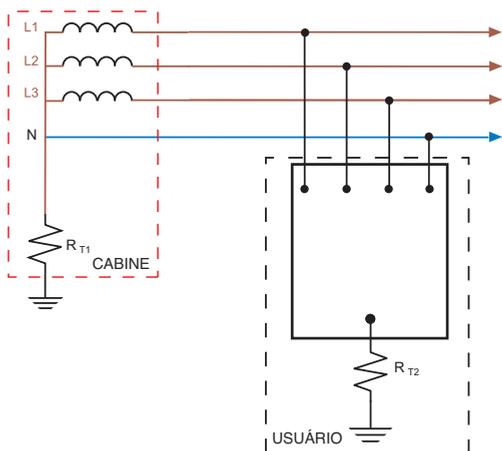
SPD L-PE:
 $U_c = 600 \text{ V AC}$

portanto:

$$3 \times \text{SPD } U_c = 600 \text{ V AC}$$

Para o sistema IT com neutro distribuído o valor nominal de interrupção da corrente residual para o DPS conectado entre entre neutro e PE deve ser o mesmo que para o DPS conectado entre fase e neutro.

Sistema TT



No Sistema TT: o neutro é diretamente aterrado, ao passo que as massas são ligadas a um sistema de terra local separado do sistema do neutro.

Com referência à Versão 2 da norma CEI 64-8, no sistemas TT, os DPSs podem ser conectados à rede elétrica de acordo com a conexão "Tipo B" ou "Tipo C". A conexão Tipo "B" prevê os DPSs ligados entre cada um dos condutores ativos e o condutor principal de proteção, ou, se o caminho for menor, entre cada um dos condutores ativos e o coletor principal de terra.

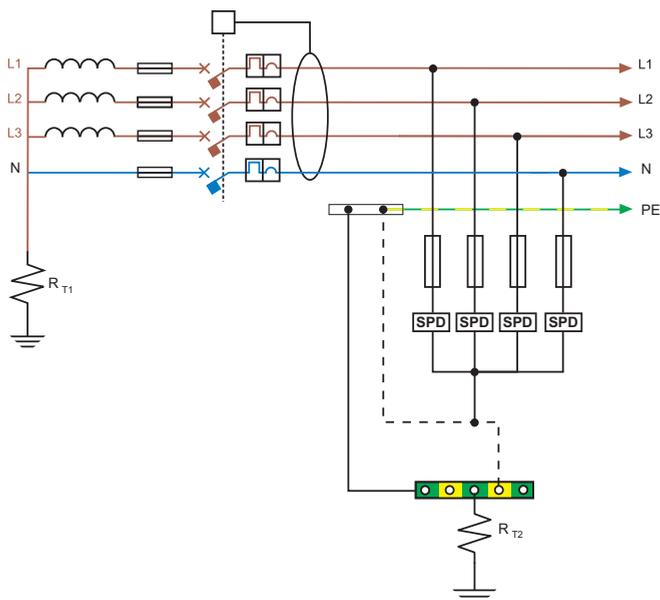


Figura 27: conexão do "Tipo B": os DPSs ligados às fases e ao neutro são aterrados

A conexão de "Tipo C" prevê a conexão dos DPSs entre cada condutor de fase e o neutro, e entre o condutor de neutro e o condutor de proteção ou, se o percurso for mais curto, entre o neutro e o coletor principal de terra.

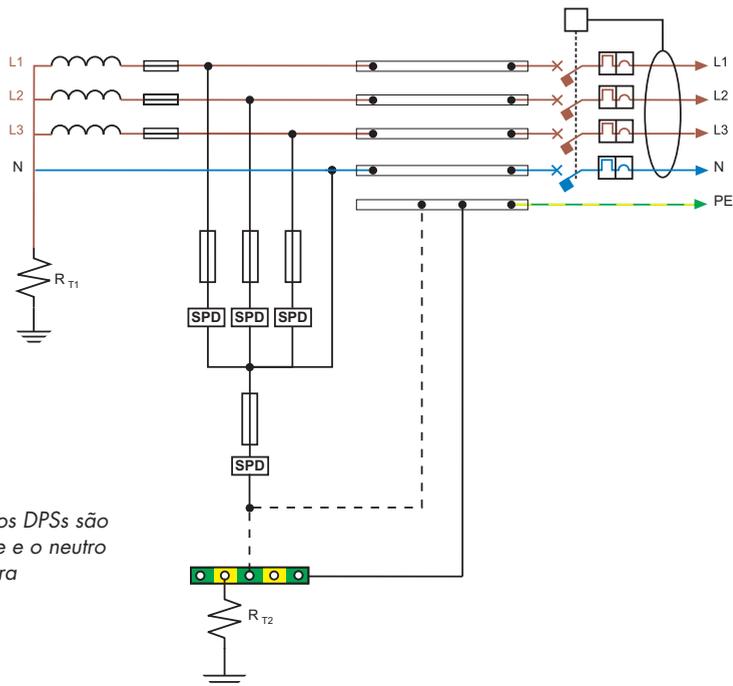


Figura 28: conexão do "Tipo C": os DPSs são conectados entre a fase e o neutro e entre o neutro e a terra

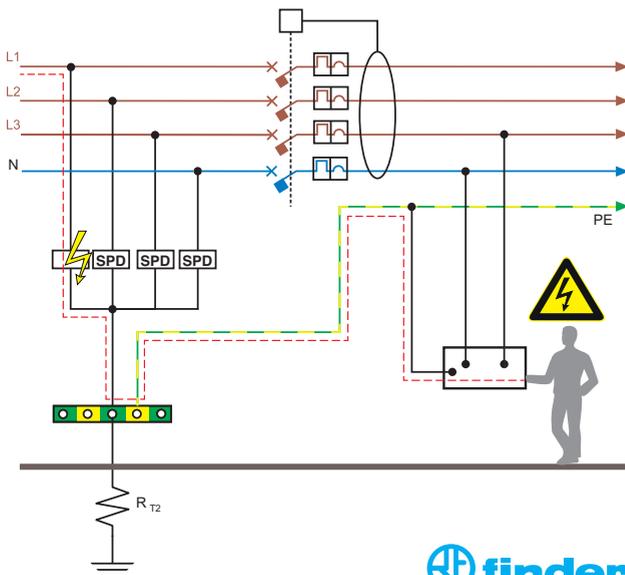
Na conexão de "Tipo B", os DPSs são conectados após o disjuntor diferencial, para que um eventual surto de tensão atravessa o disjuntor diferencial antes de chegar ao DPS. Isso significa que um diferencial normal, após todas as solicitações eletrodinâmicas associadas aos surtos de tensão, pode explodir ou simplesmente abrir-se, interrompendo o circuito. Os diferenciais do tipo S são testados, entre outras coisas, com 10 impulsos de surto de tensão com forma de onda de 8/20 μ s e 3 kV de amplitude, a fim de evitar o acionamento tempestivo, permitindo que o DPS funcione corretamente. Isso, no entanto, vale apenas para valores baixos de surtos de tensão, mas até eles podem ser destruídos.

Então, convém instalar os DPS antes do disjuntor diferencial, conforme descrito na conexão de "Tipo C". Nesse caso, no entanto, os DPSs devem estar na configuração "3+1": varistores entre fase e neutro, GDT entre o neutro e a terra.

É importante manter a configuração "3+1" porque, com quatro varistores (configuração "4+0"), cria-se um ponto fraco potencialmente perigoso no sistema.

Imagine que instalamos em um sistema TT um DPS fabricado com 4 varistores ligados de acordo com a conexão "Tipo B" antes do disjuntor diferencial.

Em caso de falha de um varistor, uma determinada quantidade de corrente segue em direção à terra, levando tensão às massas. O disjuntor diferencial, por estar após a falha, não a detecta e não abre o circuito. Assim, as massas ligadas ao aterramento são submetidas a uma tensão perigosa para as pessoas.



Interpondo um GDT entre o neutro e a terra, podemos resolver este problema:

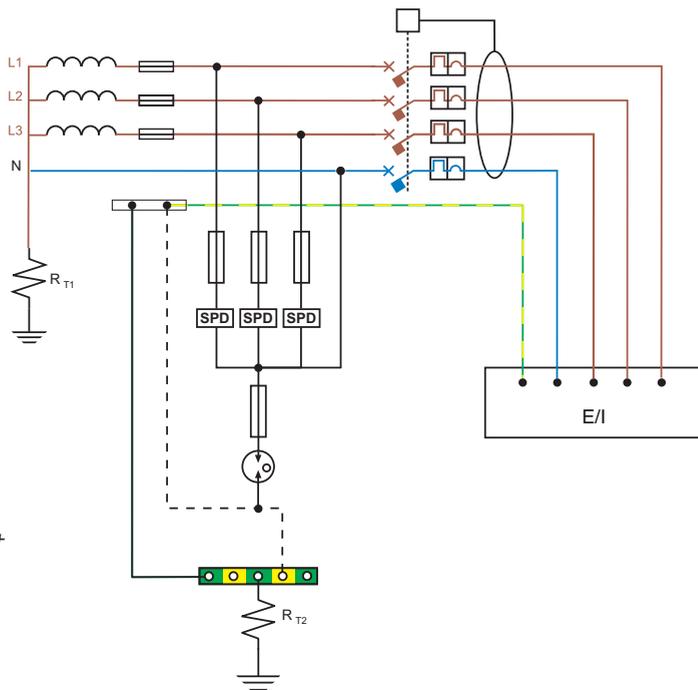


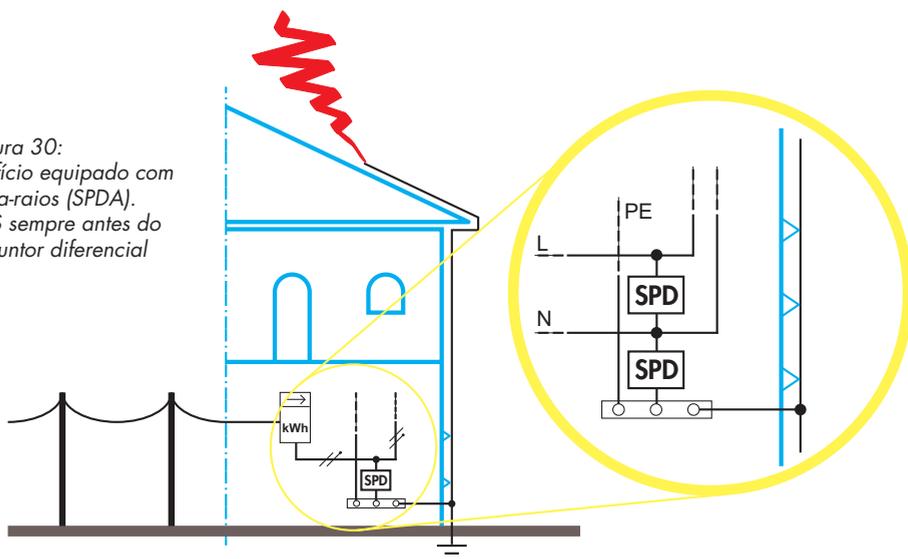
Figura 29:
Conexão de um DPS
equipado com Varistores +
GDT antes do disjuntor
diferencial

Com a configuração "3+1", as massas ligadas depois do disjuntor diferencial não podem receber tensão em caso de falha do varistor, pois o GDT garante isolamento elétrico com o aterramento, proporcionando segurança às pessoas.

Se o edifício estiver equipado com um pára-raios (SPDA), deve ser usada a conexão do "Tipo C". Não é permitido usar a conexão "Tempo B".

Isso se deve ao fato de que, quando um raio é descarregado na terra através da queda, o sistema de aterramento recebe tensão. O DPS atua fechando o pico de tensão na linha cujo potencial está em 0. Os equipamentos conectados ao sistema são estimulados por um pico de tensão igual à U_{res} do DPS.

Figura 30:
edifício equipado com
pára-raios (SPDA).
DPS sempre antes do
disjuntor diferencial



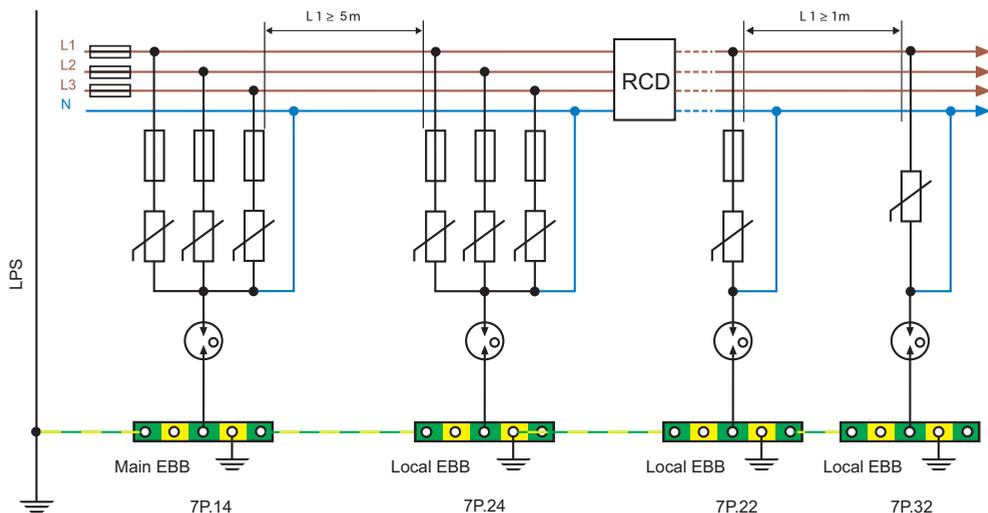


Figura 31: conexão do "Tipo C" e coordenação de energia realizada com o DPS da FINDER

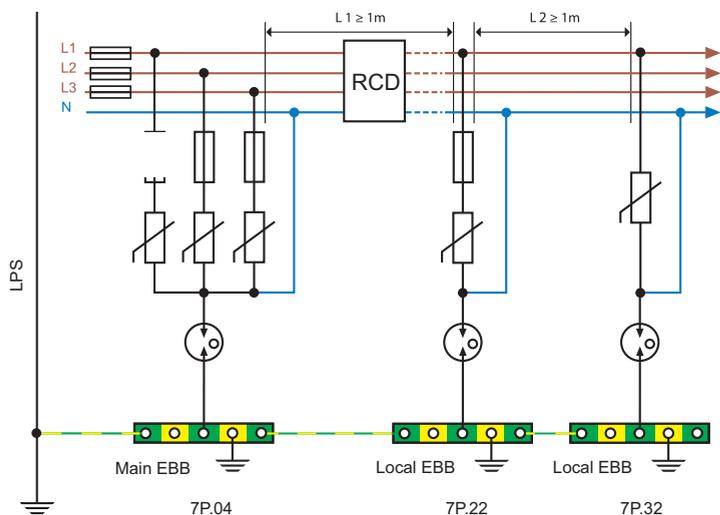


Figura 32: conexão do "Tipo C" e coordenação de energia realizada com o DPS da FINDER do tipo combinado

Tipos de proteção dos DPSs

Em resumo, podemos dizer que os DPS podem ser ligados de diversas maneiras, conforme descrito acima, de acordo com as ligações do "Tipo A", "Tipo B" e "Tipo C", conforme exposto na tabela (CEI 64-8/2):

DPS ligado entre cada condutor:	Configuração do sistema no ponto de instalação do DPS		
	Conexão tipo A	Conexão tipo B	Conexão tipo C
Fase e o neutro	NA	NA	•
Fase e o PE	NA	•	NA
Neutro e o PE	NA	•	•
Fase e o PEN	•	NA	NA
Condutor de fase	+	+	+

• - Exigido
 NA - não se aplica
 + - opcional, adicional

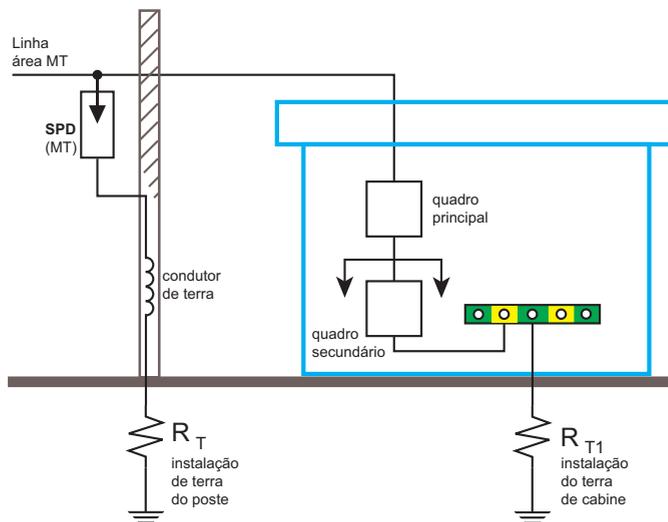
7 - Aplicações em obras civis

Muitas vezes, pensa-se que não é necessário instalar protetores de surtos de tensão em sistemas civis, tais como casas, apartamentos, vilas, mas se esquece que esses sistemas também estão ligados a uma linha de média tensão de alimentação, com certa extensão, e sujeita a surtos de tensão de manobra e impactos diretos indiretos de raios. A proteção ideal é conseguida através da instalação, no quadro principal, de um DPS de Classe I em relação ao ponto de entrada da energia elétrica, após o medidor. No quadro secundário, é instalado - de acordo com a coordenação de energia - um DPS de Classe II. Como alternativa, é possível instalar no quadro principal um DPS combinado de Tipo 1+2, que realiza as duas funções (poupando dinheiro e tamanho).

DPS de MT

Na linha MT de distribuição de eletricidade, são instalados DPSs para a proteção de aparelhos dedicados à operação normal da linha, e os DPSs de MT podem ser instalados nas cabines transformadoras para a proteção dos transformadores. Nesse caso, aumenta a probabilidade de falha dos eletrodomésticos: durante a operação do DPS, o sistema de aterramento da casa pode chegar a tensões da ordem de dezenas de kV, que encontramos nos eletrodomésticos. Vejamos por que: Suponhamos que há um DPS por MT instalado perto de uma casa, como na Figura 33.

Figura 33:
exemplo de proteção por
DPS para MT instalada
perto de uma casa



O poste é equipado com um sistema de aterramento, assim como uma casa.

Suponhamos que um surto de tensão com forma de onda de 8/20 μ s e amplitude de 2 kA se propague pela linha.

Quando ele encontra o DPS, ele entra em ação, descarregando a corrente para a terra.

Entre a linha e a terra, temos uma diferença de potencial indicada pela soma de três fatores:

- A tensão residual do DPS. $U_{res} = 1,5$ kV
- A queda de tensão ao longo do condutor de aterramento do poste ($\Delta U = 2$ kV)
- O valor da tensão suportado pelo aterramento a descarga.

Pressupondo uma resistência de aterramento de 5 Ω , $U_t = 10$ kV

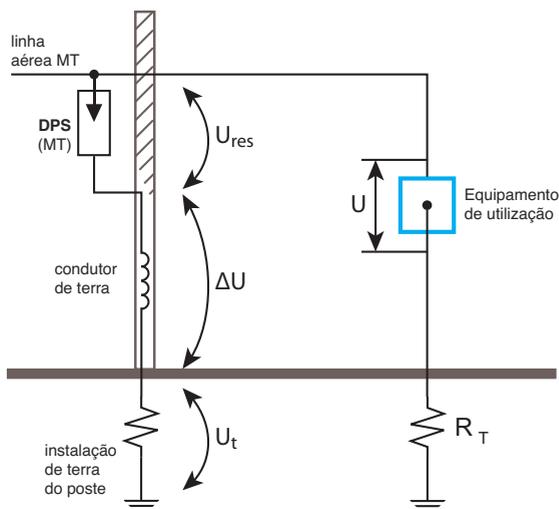
Nos terminais do aparelho do usuário, haverá, então, um surto de tensão igual a:

$$U = U_{res} + \Delta U + U_t = 1.5 + 2 + 10 = 13.5 \text{ kV}$$

Perceba que a forma de onda considerada neste exemplo refere-se a um surto de tensão induzido.

Não estamos falando do impacto direto de um raio. No entanto, as tensões a que estão sujeitos os isolamentos dos aparelhos aterrados são muito elevadas, e a probabilidade de danos irreparáveis é muito elevada.

Com a introdução de um sistema adequado de proteção contra picos de tensão, viável mesmo com DPSs do Tipo 1+2, o pico de tensão proveniente do aterramento se fecha novamente na linha, protegendo, assim, os aparelhos eletrônicos conectados à rede e ao sistema de aterramento.



DPS instalado antes ou depois do disjuntor diferencial?

Para os sistemas TT domésticos, recomenda-se instalar o DPS antes do disjuntor para protegê-lo e para não precisar usar disjuntores de retardo (analisar as características dos disjuntores Tipo S e suas restrições previstas nas normas).

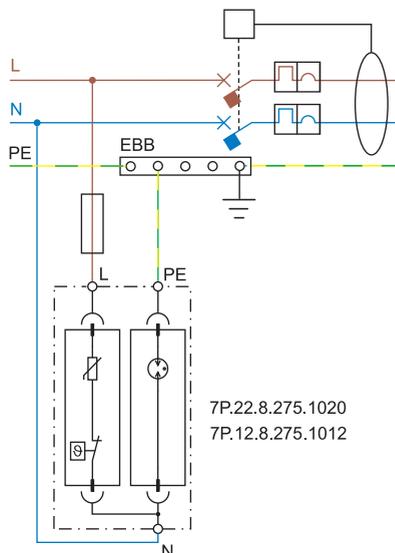


Figura 34:
aplicação dos DPSs nos
sistemas monofásicos

Conforme mostrado na Figura 34, o DPS deve ter a configuração "1+1". Portanto, deve haver um GDT que garanta o isolamento elétrico entre o neutro e a terra. Em caso de falha, isso garante que não haverá tensões perigosas nas massas ligadas à terra.

Depois do disjuntor, é possível instalar um DPS com varistor e GDTs ou dois varistores.

CEI 64-8 Versão 3

A seguir, analisamos a Versão 3 da norma CEI 64-8, que prescreve o uso do DPS em ambientes residenciais: "Lembre-se que um circuito elétrico de um sistema é o conjunto de componentes de um sistema, alimentados por um único ponto e protegidos contra surtos de tensão por um único dispositivo de proteção". Deve-se notar que, nesses casos, de impacto de um raio, o risco mais provável está ligado aos prejuízos financeiros - (L4-R4) perda de aparelhos tais como televisores, máquinas de lavar louça, condicionadores de ar, aparelhos de som, etc., exceto nos casos em que o componente R1 for alto. A Versão 3 é analisada destacando alguns aspectos do sistema, que remetem o leitor à Versão 3 da norma.

Aspectos gerais

A nova Versão 3 da norma IEC 64-8 "Sistemas elétricos de usuários com tensão nominal não superior a 1000 V em corrente alternada e 1500 V em corrente contínua" entrou em vigor em 01/09/2011 e se refere às unidades imobiliárias de uso residencial unifamiliar ou multifamiliar, ou no interior de condomínios.

O pacote de regras visa garantir a segurança das pessoas, da propriedade, e a melhorar o desempenho e a confiabilidade das instalações domésticas.

A Versão 3 se aplica às instalações novas e a reformas completas de instalações existentes em caso de reestruturação.

A Versão 3 introduz pela primeira vez o conceito de desempenho da instalação, que é expresso através de três níveis (L1, L2 e L3) que diferem entre si essencialmente pela estrutura e pelo equipamento mínimo que caracteriza o sistema elétrico.

Os três níveis têm o seguinte em comum:

- I. Potências mínimas de 3 kW para unidades residenciais com menos de 75 m², e de 6 kW para metragens maiores.
- II. A instalação deve ser dividida em pelo menos dois circuitos separados, cada um com seu disjuntor diferencial, para reduzir o tempo de inatividade em caso de falha. Se, após o medidor, estiver instalado um disjuntor diferencial, ele deve assegurar a separação total em relação aos disjuntores diferenciais instalados antes do medidor. Se o disjuntor principal do sistema for do tipo disjuntor diferencial, ele deve ser equipado com aparelho de rearme automático.
A Versão prevê a utilização de novos tipos de disjuntores de acordo com a carga instalada na linha, por exemplo, disjuntores do Tipo A para a proteção dos circuitos de alimentação de máquinas de lavar e/ou condicionadores de ar fixos.
- III. O quadro principal da casa DEVE conter o condutor de proteção proveniente do aterramento da construção, a fim de permitir o aterramento adequado do DPS.

Níveis de desempenho

- L1: Nível mínimo estabelecido pela Versão 3 da norma IEC 64-8: prevê pelo menos dois disjuntores diferenciais e um número mínimo de tomadas e soquetes de luz, dependendo da metragem quadrada e do tipo de cada local.
- L2: em relação ao L1, prevê um número maior de componentes no sistema, bem como serviços auxiliares: - Vídeo interfone
- Alarme antifurto
- Sistemas de controle de cargas
- L3: equipamentos amplos e inovadores: automação residencial que proporcione a economia de energia dentro do imóvel.

Um sistema de automação residencial deve gerenciar pelo menos quatro das seguintes funções:

- Controle dos cenários (persianas, etc.)
- Alarme antifurto
- Gestão do comando de luzes
- Gestão da temperatura, mesmo remotamente
- Controle de cargas
- Sistemas anti inundação e/ou de detecção de gás
- Sistema de alto-falante
- Detecção de incêndio

Lista incompleta - apenas ilustrativa - das funções individuais de automa o que podem ser incorporadas aos níveis L1 e L2.

A Versão 3 na prática

Cada imóvel deve ser equipado com um ou mais quadros de distribui o. Os quadros devem prever pelo menos dois módulos livres para modifica es subseqüentes na instala o. O ideal   que prevejam 15% dos módulos a mais em rela o aos módulos efetivamente utilizados. Deve-se chegar ao quadro principal de distribui o diretamente do condutor de prote o proveniente do aterramento da constru o, para o aterramento adequado do DPS.

Deve ser instalada, no quadro principal, uma chave geral de fácil acesso para o usuário. Se a chave geral for um disjuntor diferencial, ele deve garantir a separa o total em rela o às prote es que se encontram depois dele. Recomenda-se usar disjuntores diferenciais caracterizados por uma elevada resistência a desarmes indesejados.

Em aplica es civis, o sistema de distribui o utilizado   o TT, que também prevê o uso de disjuntores do tipo AC que funcionam corretamente com correntes diferenciais da natureza senoidal, mas não são muito sensíveis a correntes em dire o   terra com componentes contínuos. Como já foi dito, a Versão 3 prevê a instala o de disjuntores do tipo A ou B nas linhas dedicadas, por exemplo, para alimentar máquinas de lavar roupa ou condicionadores de ar. Isso ocorre por causa dos conversores est ticos utilizados na alimenta o DC e para o comando do motor.

Os disjuntores do tipo A são adequados a correntes alternadas senoidais, tais como o tipo AC, mas também são adequados para componentes unidirecionais e chaves unidirecionais superpostas a componentes contínuos.

Os disjuntores do tipo B têm o desarme assegurado como ocorre nos disjuntores do tipo A, além de serem acionados para correntes alternadas senoidais com frequência máxima de 1000 Hz, para correntes diferenciais pulsantes unidirecionais retificadas, e para correntes diferenciais contínuas.

Pontos de amostragem de energia e comando

Junto a tomadas de telefone e transmissão de dados,   necessário prever pelo menos uma tomada elétrica.

As tomadas de TV previstas na tabela A da Versão 3 devem estar preparadas para seis tomadas elétricas.

O interruptor de luz de um local deve ser instalado perto da porta, dentro ou fora do local. Se o comando de luzes for para luminárias externas, ele deve ser dotado de uma luz de indica o "ligado".

8 - Instalações fotovoltaicas: proteção contra raios e surtos de tensão

Ao projetar um sistema fotovoltaico, é necessário dedicar muita atenção a sua proteção contra impactos diretos e indiretos de raios, mais do que para uma instalação elétrica comum.

A razão é, provavelmente, apenas psicológica, pois uma instalação comum está tão exposta aos efeitos das descargas atmosféricas quanto um sistema fotovoltaico, mas este é instalado ao ar livre, sobre telhados, muitas vezes sobre estruturas metálicas, áreas verdes com árvores ou postes de distribuição elétrica, elementos que aumentam a probabilidade de que um raio atinja o solo.

A instalação comum, no entanto, é considerada protegida contra riscos de impacto direto e indireto de raios porque está envolvida por cimento. Nada poderia estar mais errado! Na verdade, o cimento não contribui para criar um escudo contra os efeitos do campo eletromagnético do raio. A blindagem, como se sabe, é feita apenas com condutores de metal muito próximos uns dos outros. Assim, por exemplo, ela é produzida com uma malha de arame espesso obtida com os induzidos envolvidos por cimento ou com uma gaiola de Faraday.

Para saber se há e quais são as medidas de proteção contra raios, deve ser realizada uma "análise de riscos", de acordo com a norma EN 62305-2 (CEI 81-10/2), nas estruturas a serem protegidas.

Os danos que um raio pode causar vão desde a morte de pessoas, incêndios, explosões ou danos a equipamentos eletrônicos, com os consequentes prejuízos econômicos causados pela perda de produção. Com referência à norma EN 62305, os riscos a considerar, dependendo da utilização prevista da instalação, são os seguintes:

R₁: perda de vidas humanas

R₂: perda de serviços (TV, água, gás, eletricidade...)

R₃: perda do patrimônio cultural (por exemplo: um museu)

R₄: prejuízos econômicos (parada da produção de eletricidade, etc.)

Dependendo do tipo de instalação, serão realizadas diferentes análises: Instalação no solo: a análise de riscos será relacionada a uma parte da construção ou a uma área bem definida. Instalação no telhado: a análise de riscos contempla todo o edifício.

A análise de riscos define o risco de impacto direto e indireto de raios sobre a instalação a ser protegida.

Falamos de impacto direto quando um raio atinge diretamente uma estrutura, ou de impacto indireto quando o raio cai próximo de uma estrutura. Neste caso, todos os condutores elétricos, inclusive aqueles que saem dos painéis fotovoltaicos (lado DC) ficam expostos a picos de tensão induzidos causados pelo campo eletromagnético do raio.

O mesmo pode acontecer nas linhas que entram, e/ou saem do campo fotovoltaico: em caso de impacto direto ou indireto de um raio sobre uma linha MT, ligada à instalação PV, ocorre a injeção da corrente do raio no lado AC do campo, com a inevitável destruição do lado AC do inversor.

Impacto direto

Antes de começar a projetar um sistema de proteção contra surtos de tensão para um sistema fotovoltaico, é necessário primeiramente avaliar o risco de perda de vidas humanas (R₁). Perceba que as únicas maneiras de proteger uma estrutura contra raios diretos é a gaiola de Faraday ou um pára-raios (SPDA). Mesmo no caso de sistemas fotovoltaicos, tanto no solo como sobre um edifício, é necessário primeiramente avaliar o risco de perda de vidas humanas (R₁). Em segundo lugar, é necessário realizar avaliações do ponto de vista econômico (R₄): É o caso de proteger o inversor e os painéis contra surtos de tensão? Quanto custaria reparar uma parada de produção (além da perda de produção)? Para maximizar a segurança, devo instalar um pára-raios (SPDA)?

Quanto às primeiras perguntas, é necessário avaliar, na fase de projeto, quanto custa reparar um dano causado por um raio, o tempo necessário para a manutenção intervir e resolver o problema (reparo de produtos, instalações, etc.), e, no caso de parada de uma máquina, quanto custa deixar de produzir. Deve-se, portanto, avaliar com o cliente o nível de risco que ele está disposto a aceitar.

No que se refere aos pára-raios, no entanto, em geral, não é conveniente proteger um sistema PV com um pára-raios, pois os custos são tão altos que a relação entre custo e benefício é desvantajosa. Além disso, é conveniente levar em conta que o pára-raios é fabricado com postes captadores e cabos suspensos que criam o sombreamento do campo e, portanto, diminuem o rendimento. Os pára-raios, portanto, devem ser instalados apenas quando for estritamente necessário, ao contrário dos DPSs, que ainda são o sistema de proteção mais econômico e eficiente que existe.

Impacto direto pelo aterramento do PV:

No caso de sistemas fotovoltaicos no solo, partimos do pressuposto de que sempre pode haver pessoas presentes (R_1), portanto, é necessário levar em conta as tensões de passo (V_p) e de toque (V_t), enquanto o risco de incêndio é praticamente insignificante.

Nas instalações no solo, o parâmetro fundamental de um bom projeto é a resistividade do solo ρ_0 : se $\rho_0 = 5 \text{ k}\Omega$, será como se houvesse um tapete isolante, e a V_p é insignificante (5 cm de asfalto ou 15 cm de cascalho deveriam garantir esse valor ôhmico). No entanto, se o campo PV estiver em terras agrícolas, é necessário realizar uma análise de riscos.

Instalação fotovoltaica no telhado de um edifício:

Se for necessário realizar uma instalação fotovoltaica no telhado de um edifício, não se deve pressupor que esteja automaticamente protegido. Deve-se sempre realizar a análise de risco ou solicitá-la ao cliente.

Se o edifício já tiver um pára-raios e for realizada uma instalação fotovoltaica no telhado, a frequência de impacto de raios pode aumentar porque, por exemplo, os painéis inclinados e não-integrados aumentam a altura do edifício, expondo-o mais a impactos diretos de raios. Nesse caso, por exemplo, é possível reduzir a malha de 20 x 20 cm para 15 x 15 cm, a menos que o pára-raios não pertença à classe mais restritiva: a Classe I.

Se o edifício estiver equipado com um pára-raios, é necessário:

- Tomar cuidado com a equipotencialidade para evitar descargas transversais
- Conectar o DPS entre captadores e quedas
- Evitar que as estruturas metálicas utilizadas para o campo PV se tornem captadores naturais

Na prática: a instalação PV deve ser construída em colaboração estreita com o projetista do pára-raios.

Impacto indireto

Os impactos indiretos de raios podem levar a surtos de tensão e descargas perigosas, respectivamente por acoplamento indutivo e acoplamento resistivo.

O acoplamento resistivo ocorre quando um raio atinge uma linha de alimentação e a corrente, propagando-se pela linha, entra na construção. Se os valores do surto de tensão forem elevados e ultrapassarem a resistência dos isolantes dos componentes afetados (eletrônica, cabos, etc.), podem desencadear incêndios. Os surtos de tensão que surgem por acoplamento indutivo são gerados pelo campo eletromagnético do raio, que, sendo altamente variável, chegando aos condutores da instalação fotovoltaica (ou AC comum), gera surtos de tensão. Esses surtos de tensão não são capazes de gerar incêndios, mas sim de destruir os equipamentos.

Para produzir um bom sistema de proteção para aparelhos, é necessário consultar a tensão de impulso dos aparelhos, não o nível de imunidade (esses dados são fornecidos pelos fabricantes). O nível de imunidade é um valor de tensão que, se for ultrapassado, causa defeitos no aparelho. Quanto mais nos afastarmos desse valor, menor será a vida útil do equipamento, mas não ocorrem danos irreversíveis.

A tensão de impulso é o valor máximo de tensão que pode ser suportado por um aparelho, e, caso seja ultrapassado, ocorrerão danos irreversíveis.

Tensão do sistema		Tensão de resistência ao pulso [V]			
[V]		Categoria de surto de tensão			
AC	DC	I	II	III	IV
50	71	330	500	800	1500
100	141	500	800	1500	2500
150	213	800	1500	2500	4000
300	424	1500	2500	4000	6000
600	849	2500	4000	6000	8000
1000	1500	4000	6000	8000	12000

Tensão de resistência ao pulso (1,2/50 µs) para sistemas de baixa tensão (CEI EN 62109-1:2010-12)

Se considerarmos um inversor, ele tem duas ligações com o mundo exterior: o lado DC para conectar-se com os painéis, e o lado AC, para conectar-se à rede elétrica; isso significa que ele deve ser protegido com auxílio do DPS em ambos os lados.

Medidas de proteção contra surtos de tensão

Proteção do lado AC

Começamos analisando os surtos de tensão que ocorrem por acoplamento resistivo, que são os de maior energia e, portanto, mais perigosos.

É importante lembrar que os surtos de tensão que surgem por acoplamento resistivo podem gerar descargas perigosas porque contém energia suficiente para iniciar um incêndio ou destruir os equipamentos ligados à rede elétrica AC.

O acoplamento resistivo entre as partes condutoras também provoca o aparecimento de tensões perigosas de passo e de toque. As tensões de passo apresentam um percurso decrescente e são perigosas para seres humanos e animais.

Um exemplo típico de acoplamento resistivo é um raio que atinge a linha elétrica e se propaga ao longo dela.

As instalações PV estão conectadas à rede elétrica e, portanto, estão sujeitas a esses tipos de surtos de tensão. O inversor, portanto, deve ser protegido tanto dos surtos de tensão induzidos como dos surtos de tensão transportados pela linha elétrica devido a impactos diretos e indiretos de raios.

O inversor pode ser equipado com um transformador de isolamento, que, por si, representa um ótimo filtro contra surtos de tensão; neste caso, o DPS protege o transformador.

Na ausência de um transformador, ou caso não se saiba se o transformador conta com uma blindagem aterrada, deve-se instalar um ou mais DPSs no ponto de entrada da energia elétrica.

Os DPSs devem ter as seguintes características:

- Classe I caracterizado por uma $I_{imp} \geq 10 \text{ kA}$
- Para os sistemas TN e TT a $U_c \geq 1,1 U_o$. Para os sistemas IT $U_c \geq \sqrt{3} U_o$.

U_o é a tensão em direção à terra.

- Nível de proteção efetivo, $U_{p/f} \leq kU_{w\text{inverter}}$.

Onde: k: coeficiente de segurança que leva em conta o envelhecimento do DPS.

Neste caso, pressupõe-se $K = 0,9$

$U_{w\text{inverter}}$: Valor de resistência ao pulso do inversor.

Considerando uma queda ΔU de 1 kV/m causada pelas indutâncias parasitas dos cabos,

$U_{p/f}$ deve ser calculado oportunamente de acordo com os DPSs utilizados:

$U_{p/f} = U_c + \Delta U$ por DPS por limitação (varistores)

$U_{p/f} = \text{MAX}(U_c, \Delta U)$ isto é, o valor máximo entre os dois, para DPSs a comutação, portanto, centelhadores.

- Capacidade de extinguir a corrente de curto-circuito a 50/60 Hz, com ou sem fusíveis, superior à corrente de curto-circuito no ponto de instalação.

Observe que a onda do surto de tensão que passa do DPS Classe I (com amplitude $U_{p/f}$) está sujeita a fenômenos de flutuação e reflexão que podem dobrar o valor, expondo o inversor a valores que podem pressionar o isolamento em direção à terra. Além de propagar-se de um surto de tensão com amplitude $2 U_{p/f}$, é possível adicionar aos condutores um surto de tensão induzida que a norma IEC 64-8 identifica como 40 V por metro de cabo que separa o DPS T1 do inversor (40 V/m).

A partir daí, entende-se que os DPS Classe I instalados no ponto de entrada da energia elétrica bastam para proteger o inversor, caso seja satisfeita a relação:

$$U_{p/f} \leq kU_w/2$$

Se a relação acima não for respeitada, devem-se instalar mais DPSs de Classe II. Neste caso, é necessário cumprir os requisitos de coordenação dos DPSs, fornecidos pelo fabricante.

Os DPSs Classe II devem ter as seguintes características:

- $I_n \geq 5 \text{ kA}$
- Para os sistemas TN e TT a $U_c \geq 1,1 U_o$.
Para os sistemas IT $U_c \geq \sqrt{3} U_o$. U_o é a tensão em direção à terra.
- Capacidade de extinguir a corrente de curto-circuito a 50 Hz, com ou sem fusíveis, superior à corrente de curto-circuito no ponto de instalação.

Para instalações internas, a norma permite negligenciar os fenômenos de indução, que podem ser negligenciados mesmo que os condutores ativos sejam blindados, passem por conduítes metálicos fechados, ou quando os condutores ativos e PE forem trançados e a análise de risco excluir a necessidade de pára-raios.

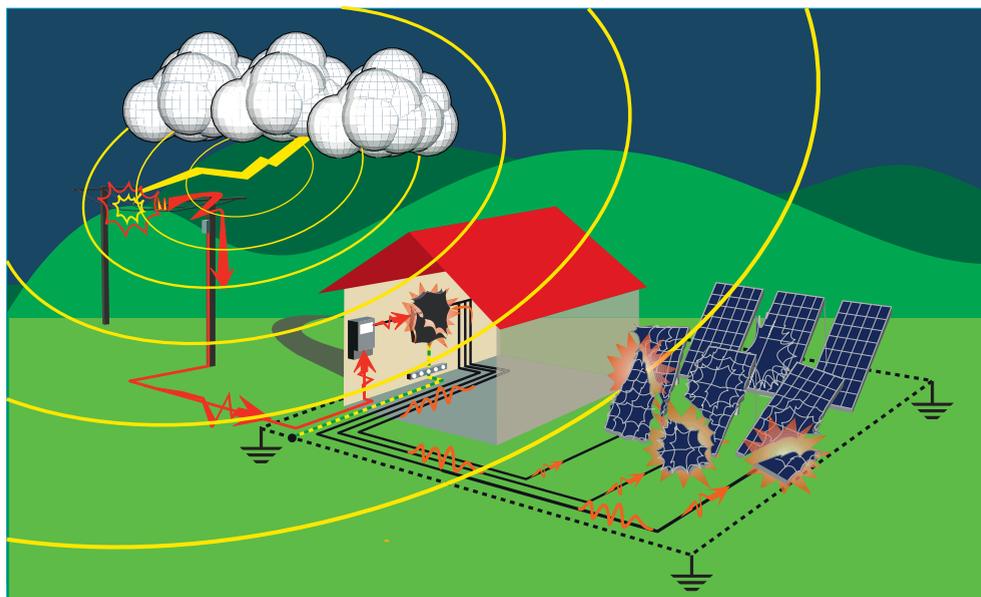


Figura 35: soma dos vários efeitos das descargas atmosféricas: acoplamento resistivo e indutivo

Então, para reduzir o valor dos surtos de tensão dentro de limites certamente suportáveis pelo inversor, deve-se instalar na proximidade imediata do mesmo um DPS de Classe II com as seguintes características:

- $I_n \geq 10 \text{ kA}$
- $U_c > 1,1 U_o$ para sistemas TT ou TN (com U_o em direção à terra)
- $U_c > 1,73 U_o$ para sistemas IT
- $U_p < (0,9 U_w)/2$
- Capacidade de eliminar a corrente de curto-circuito no ponto de instalação, com ou sem fusíveis.

Se forem instalados DPSs para proteger instalações internas, a norma permite a negligenciar os fenômenos de indução. Portanto, os DPSs devem ser caracterizados por $U_p < (0.9 U_w)/2$, para ter certeza de que a U_w do aparelho a ser protegido não será ultrapassada, mesmo em presença de fenômenos de oscilação.

Do ponto de vista normativo, podemos desprezar a presença de surtos de tensão induzidos quando a análise de riscos tiver descartado a necessidade de um pára-raios, ou se os cabos do sistema tiverem uma das seguintes características:

- Cabos blindados
- Cabos passados por conduítes metálicos
- Cabos trançados

Essas características fazem parte das medidas preventivas que serão analisadas mais adiante.

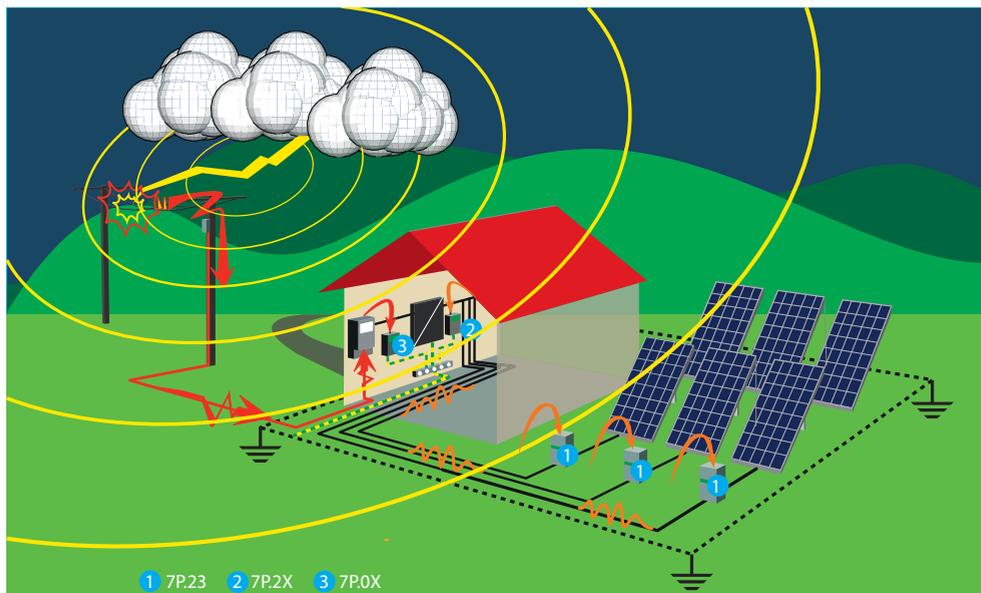


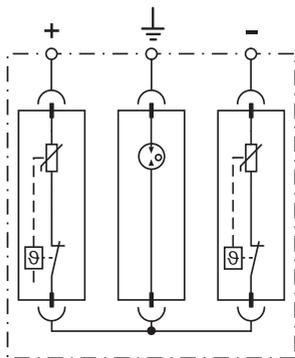
Figura 36: efeito da presença de DPSs energeticamente coordenados

Proteção do LADO DC

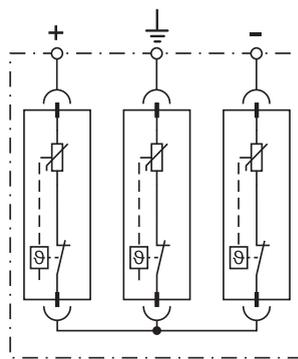
A discussão a seguir refere-se apenas a instalações sem pára-raios, porque, conforme mencionado acima, o pára-raios é instalado apenas se a análise de riscos o exigir, pois os custos de produção são elevados e o pára-raios reduz o rendimento do campo fotovoltaico.

O “lado DC” de um sistema fotovoltaico é afetado pelos surtos de tensão induzidos por raios que caem na sua proximidade.

É necessário prever que na corrente contínua, só é possível instalar centelhadores em série com os varistores, pois, como a corrente contínua nunca cruza o zero, uma vez desencadeado o arco no centelhador, ele se desfaz apenas com o auxílio de varistores que, uma vez terminado o surto de tensão, voltam aos valores de resistência elevados, limitando a corrente e permitindo a desativação do arco no centelhador. A figura a seguir, mostra as duas soluções de circuitos, que podem ser usadas para representar a conexão em “Y”. É possível notar que o centelhador está em série com um varistor, uma para cada pólo.



Conexão em Y
com o centelhador em direção à terra.



Conexão em Y
é feita com três varistores.

A proteção completa no lado DC é conseguida através da instalação de um DPS Classe II na extremidade da linha, portanto, na proximidade imediata do inversor e dos módulos fotovoltaicos. Para otimizar o trabalho, os cabos devem ser introduzidos em condutíveis metálicos, conforme será explicado mais adiante, nas medidas preventivas.

A proteção ideal é conseguida usando cabos blindados, aterrado nas duas extremidades e aterrando os DPSs apropriados. Na realidade, no entanto, é raro o uso de cabos blindados, dado o elevado custo. Portanto, recorre-se apenas aos DPSs, mesmo quando o inversor estiver protegido por DPSs internos, pois:

- 1) Não se sabem as características elétricas dos DPSs utilizados dentro do inversor
- 2) Em caso de falha dos DPSs internos (após o acionamento), é necessário chamar a assistência técnica para manutenção (para não invalidar a garantia), com o inevitável tempo de inatividade e a perda de produção.

Fazendo referência à norma TS-62257-7-1, os valores mínimos que devem apresentar os DPSs utilizados na proteção do inversor e dos painéis são os seguintes:

- SPD Classe II
- $U_c \geq 1,2 \text{ NU}_{ocstc}$
(1,2: coeficiente de segurança que leva em conta as variações de tensão dos painéis em virtude das variações de temperatura)
N = número de painéis que compõem a cadeia
 U_{ocstc} = valor da tensão sem carga do painel sob condições normais
- $U_p < KU_w$ (K = 0.9 é um coeficiente de segurança que leva em conta o envelhecimento do DPS
 U_w = valor de resistência ao pulso do inversor)
- $I_{max} = 5 \text{ kA}$ (valor mínimo aceitável)
- Capacidade de eliminar a corrente de curto-circuito no ponto de instalação, com ou sem fusíveis.

A distância à qual o DPS deve ser posicionado em relação ao inversor depende da U_w , da U_p , da área da bobina dos condutores fotovoltaicos e do percurso seguido pelo PE (mesma condução ou mesmo cabo multipolar, PE separado dos condutores ativos). Recomenda-se sempre posicionar o DPS o mais próximo possível do inversor.

O DPS é montado antes do disjuntor de isolamento e manobra, porque, caso o disjuntor se desarme, protege-se o inversor, mas não os módulos.

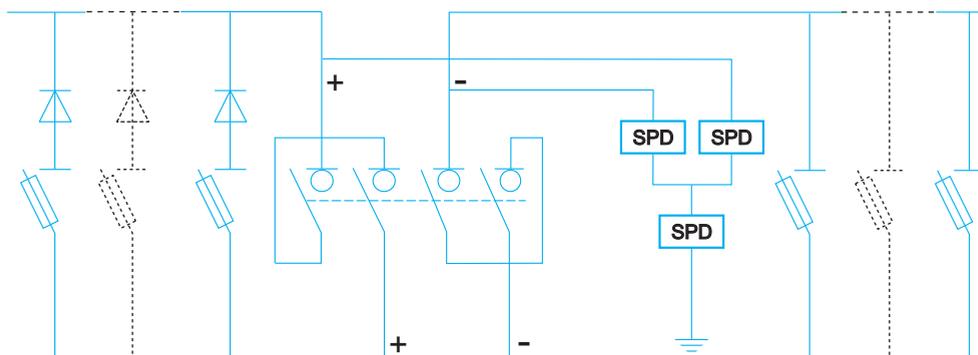
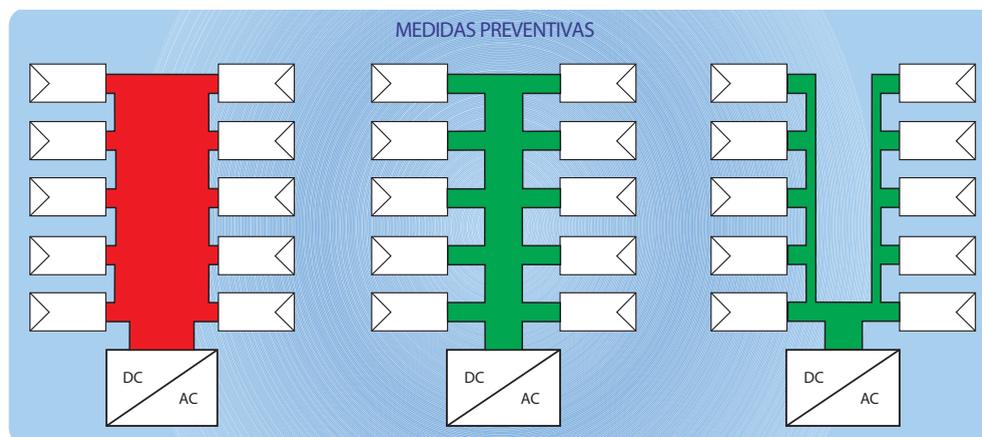


Figura 37: DPS instalado antes do disjuntor de manobra e isolamento

Medidas preventivas

Consistem nas estratégias que podem ser realizadas na fase de construção da instalação, e têm por base o uso de blindagens e a redução do número de bobinas:

- 1) Cabos blindados, teoricamente trançados, condutores metálicos, tubos, etc. são as blindagens normalmente utilizadas. A blindagem é obtida com telas contínuas, não encaixadas. Às vezes podem ser usados invólucros sem fechamento, caracterizados por um efeito de blindagem limitado.
- 2) Uma instalação de boa qualidade baseia-se na produção de bobinas com a menor amplitude possível. Isso ocorre porque o campo eletromagnético do raio, conectando-se com os condutores (fotovoltaicos ou não), cria surtos de tensão proporcionais à dimensão da bobina.



O surto de tensão induzido na área em vermelho é maior do que nas áreas verdes. Portanto, existe a tendência de realizar as configurações de instalação esquematizadas em verde, caracterizadas por uma bobina menor do que na área em vermelho.

Os métodos descritos são geralmente caros, e, portanto, raramente aplicados. Os DPSs, no entanto, continuam sendo a maneira mais econômica e eficaz de criar um sistema de proteção contra surtos de tensão, especialmente se forem associados a uma instalação realizada com todos os métodos que prevejam a melhoria do desempenho.

Proteções dos DPSs: fusíveis ou disjuntores? prEN 50539-11

Em nível europeu, mas também na Comissão Técnica Italiana, os fabricantes de DPSs estão trabalhando na norma de produto relativa aos DPSs específicos para o setor fotovoltaico: EN50539-11. Atualmente, o projeto da norma prEN50539-11 está em fase de votação no CENELEC. Esse projeto de norma visa a criar produtos caracterizados por componentes de qualidade para, em geral, ter um produto muito confiável, mais fácil de instalar e, principalmente, seguro.

Provavelmente, a pergunta mais comum diz respeito à proteção de reserva dos DPSs em aplicações fotovoltaicas. Em geral, as correntes de cadeia são baixas, e isso leva a pensar em proteger o DPS com fusíveis de baixa amperagem ou disjuntores com baixas de correntes nominais para garantir que sejam acionados. Não há nada mais errado, pois isso degrada o DPS e limita muito a capacidade de proteção.

A norma 50539-11 prevê testes de laboratório muito rigorosos no produto, especialmente na simulação do comportamento do DPS no final da vida útil (por envelhecimento ou surtos de tensão). Esses testes, decorrentes da experiência prática adquirida em vários anos com sistemas fotovoltaicos de pequeno e grande porte, levou ao desenvolvimento e à produção de varistores novos de melhor desempenho pelos fabricantes de componentes, bem como à produção de novos disjuntores térmicos, para os fabricantes de DPSs.

A norma, portanto, introduz novos conceitos e definições que o projetista deve consultar: esses valores, se forem seguidos, ajudam a resolver a antiga questão sobre a proteção de reserva: os fusíveis e os disjuntores passam a ser inúteis.

U_{cpv} : tensão contínua (DC) máxima que pode ser aplicada ao DPS: pode ser vista como a tensão máxima gerada pela cadeia. Dados específicos do sistema fotovoltaico.

I_{cpv} : corrente que passa entre os condutores + e - da cadeia em presença da tensão U_{cpv} . Dados específicos do sistema fotovoltaico.

I_{scpv} : corrente máxima de curto-circuito no ponto de instalação do DPS. Dados específicos do sistema fotovoltaico.

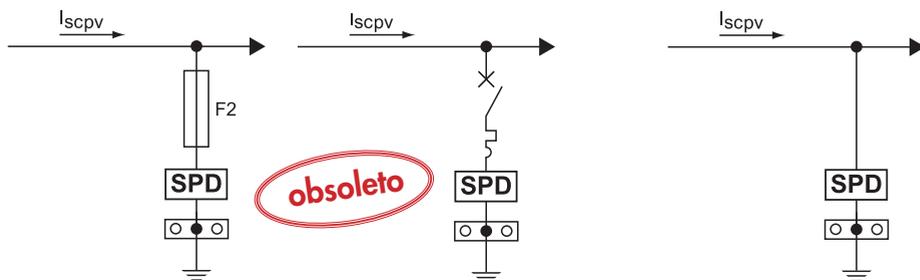
I_{scwpv} : corrente máxima de curto-circuito do gerador fotovoltaico que o DPS é capaz de suportar. O disjuntor térmico interno pode desconectar com segurança o DPS no final da vida útil, até a_{scwpv} .

A norma exige que o DPS seja capaz de suportar os valores de corrente de descarga declarados, com a aplicação da tensão contínua máxima operacional U_{cpv} , sem que suas características sejam alteradas. Além disso, em caso de falha, o DPS deve ser capaz de suportar a I_{scpv} sem causar situações perigosas, isso significa, que, por projeto, o DPS é capaz de resistir à corrente I_{scpv} e dar conta dela.

Assim, podemos escrever a seguinte regra:

Se a corrente máxima de curto-circuito de cadeia (I_{scpv}) for menor ou igual a I_{scwpv} / SPD o DPS pode ser instalado diretamente entre os condutores de cadeia (+ e -) sem instalar nenhum sistema de proteção de reserva, tais como fusíveis ou disjuntores.

Geralmente, os valores de I_{scwpv} são elevados; por exemplo, os DPSs da Finder apresentam valores de I_{scwpv} entre 63 e 125 A, dependendo da tensão do sistema fotovoltaico.



Crêterios antigos de prote o dos DPSs

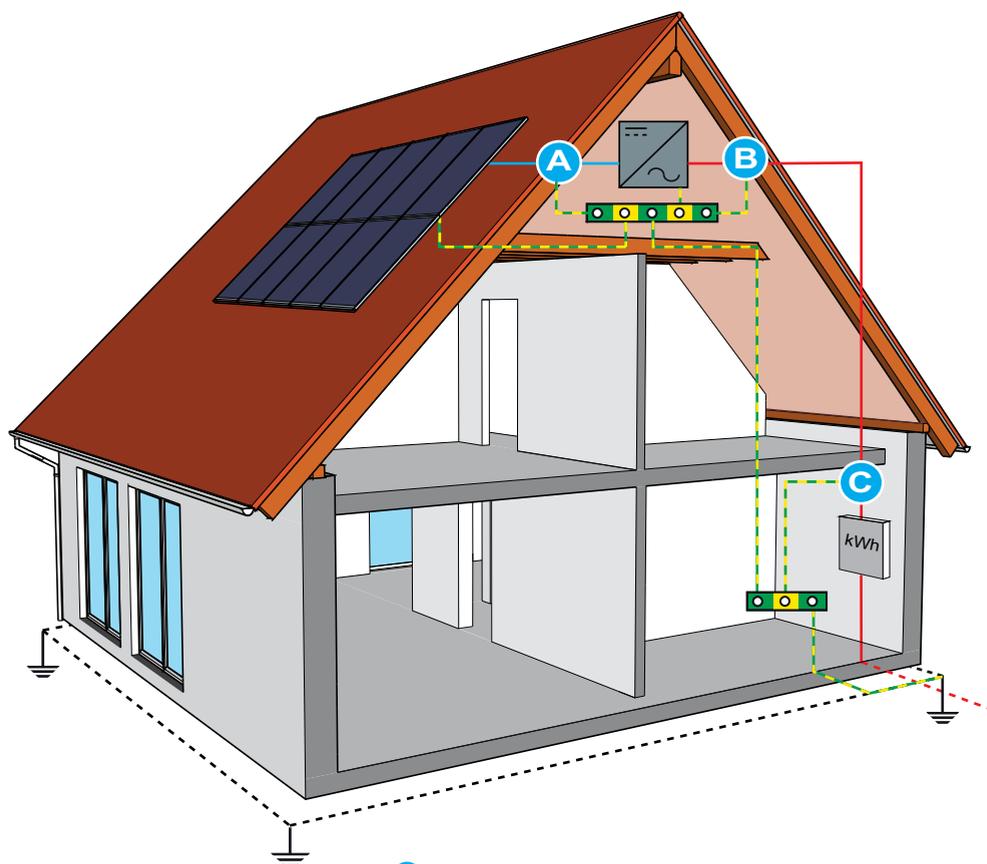
Novo critério de instala o dos DPSs

Nota

No momento da reda o deste texto, a norma está em nível de projeto; portanto, as defini es podem ser alteradas. O leitor deverá formular as conclusões técnicas.

Exemplos de aplicação - Quadro 1

Instalação fotovoltaica doméstica, inversor no sótão



A 7P.23.9.700.1020
(700 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1020
(1000 V - Tipo 2)

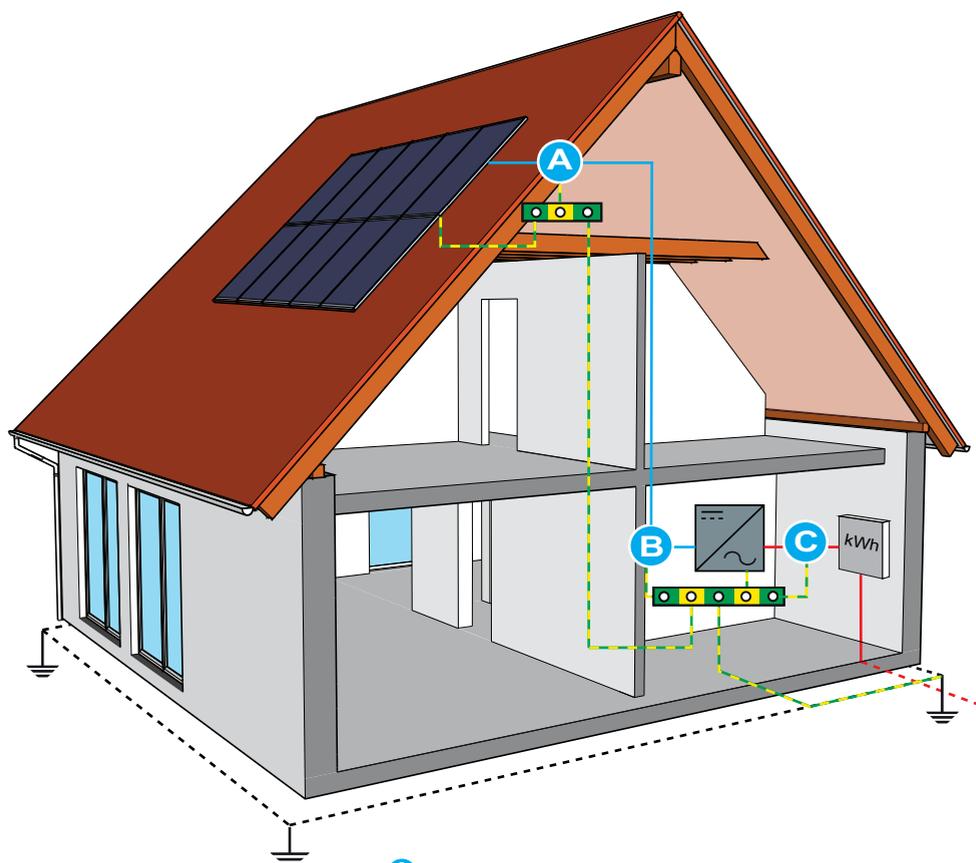
B 7P.22.8.275.1020
(monofásico - Tipo 2)

C 7P.12.8.275.1012
(monofásico - Tipo 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monofásico - Tipo 1+2)

Com a adequação à EN 50539-11, os DPS para aplicações fotovoltaicas estão sujeitos a alterações de código.

Exemplos de aplicação - Quadro 2

Instalação fotovoltaica doméstica, inversor no porão



A 7P.23.9.700.1020
(700 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1020
(1000 V - Tipo 2)

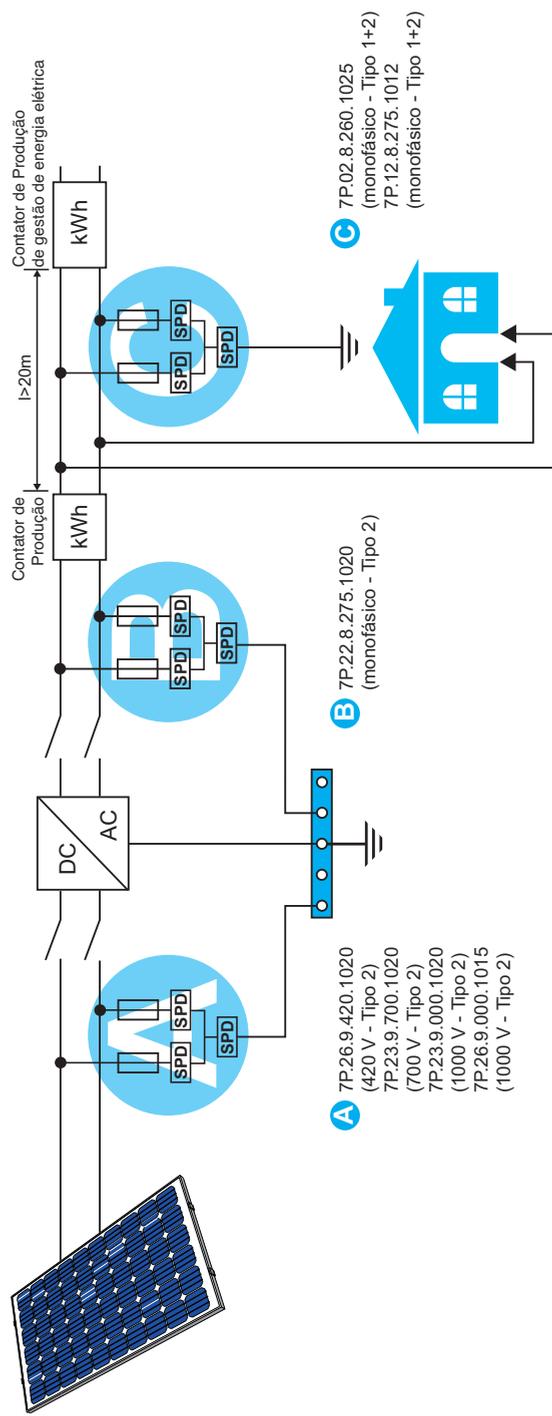
B 7P.23.9.700.1020
(700 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1020
(1000 V - Tipo 2)

C 7P.12.8.275.1012
(monofásico - Tipo 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monofásico - Tipo 1+2)

Com a adequação à EN 50539-11, os DPS para aplicações fotovoltaicas estão sujeitos a alterações de código.

Exemplos de aplicação - Quadro 3

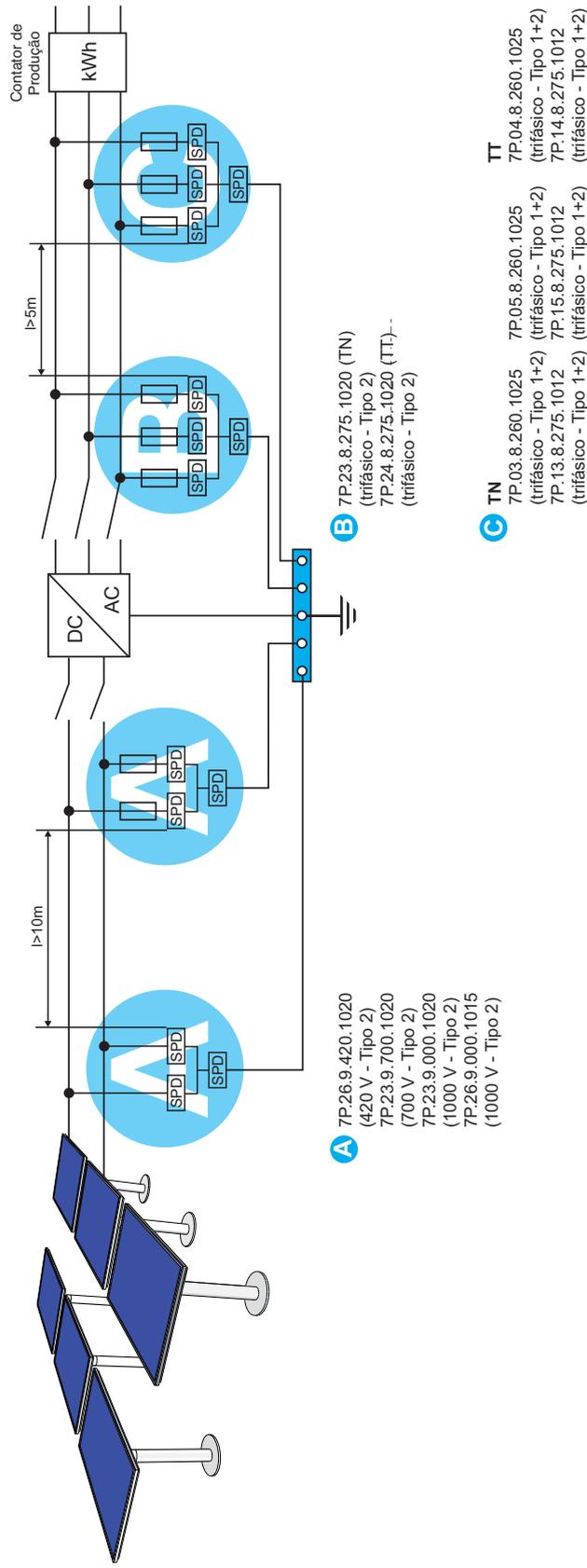
Instalação fotovoltaica no telhado, baixa potência



Com a adequação à EN 50539-11, os DPS para aplicações fotovoltaicas estão sujeitos a alterações de código.

Exemplos de aplicação - Quadro 4

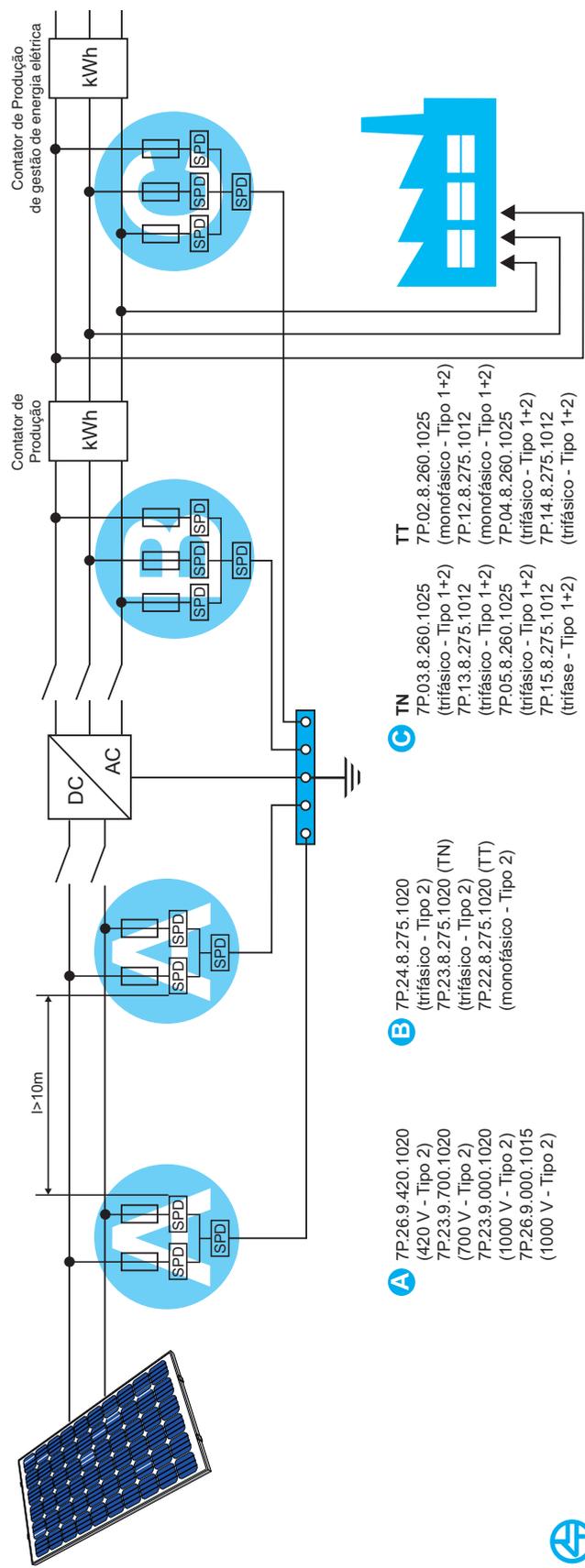
Instalação fotovoltaica no solo



Com a adequação à EN 50539-11, os DPS para aplicações fotovoltaicas estão sujeitos a alterações de código.

Exemplos de aplicação - Quadro 5

Instalação fotovoltaica no telhado, média/ alta potência



- A** 7P.26.9.420.1020 (420 V - Tipo 2)
7P.23.9.700.1020 (700 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1020 (1000 V - Tipo 2)
7P.26.9.000.1015 (1000 V - Tipo 2)
- B** 7P.24.8.275.1020 (trifásico - Tipo 2)
7P.23.8.275.1020 (TN) (trifásico - Tipo 2)
7P.22.8.275.1020 (TT) (monofásico - Tipo 2)
- C** **TN**
7P.03.8.260.1025 (trifásico - Tipo 1+2)
7P.13.8.275.1012 (trifásico - Tipo 1+2)
7P.05.8.260.1025 (trifásico - Tipo 1+2)
7P.15.8.275.1012 (trifásico - Tipo 1+2)
- TT**
7P.02.8.260.1025 (monofásico - Tipo 1+2)
7P.12.8.275.1012 (monofásico - Tipo 1+2)
7P.04.8.260.1025 (trifásico - Tipo 1+2)
7P.14.8.275.1012 (trifásico - Tipo 1+2)

Com a adequação à EN 50539-11, os DPS para aplicações fotovoltaicas estão sujeitos a alterações de código.

Finder, fabricante de relés e temporizadores desde 1954



Em 1954 se inicia a história da Finder em Almesse, Turim (Itália).

Desde a sua fundação, a empresa tem dedicado esforços à produção de relés, temporizadores e diversos produtos para os segmentos industriais e residenciais, com mais de 10.000 diferentes itens.

Hoje, a Finder é a fabricante com o maior número de homologações do mundo.



A Finder conta com sistemas de qualidade certificados pelas normas ISO 9001 e 14001.



Confirmando sua preocupação com o meio ambiente e as normas vigentes, a Finder está, desde 2006, em conformidade com a diretiva RoHS em todos os produtos de seu catálogo.

www.findernet.com

**A Finder apresenta sua linha
de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) Série 7P**

7P.09.1.255.0100



7P.01.8.260.1025



7P.32.8.275.2003



7P.02.8.260.1025



7P.03.8.260.1025



7P.04.8.260.1025



7P.05.8.260.1025



7P.12.8.275.1012



7P.13.8.275.1012



7P.14.8.275.1012



7P.15.8.275.1012



7P.21.8.275.1020



7P.22.8.275.1020



7P.23.8.275.1020



7P.24.8.275.1020



7P.25.8.275.1020



7P.26.9.420.1020



7P.23.9.700.1020



7P.23.9.000.1020



7P.26.9.000.1015



Bibliografia

Manuale degli impianti Elettrici - Editoriale Delfino - Nona Edizione 2010

Le guide blu, impianti a Norme CEI - Vol. 15 Fotovoltaico - TuttoNormel - Edizioni TNE - Febbraio 2009

Protezione contro le sovratensioni - TuttoNormel - Edizioni TNE - Maggio 2008

Corsi sulla normativa Elettrica "Impianti fotovoltaici" - TuttoNormel - Maggio 2009

Corsi sulla normativa Elettrica "Protezione contro i fulmini e le sovratensioni" - TuttoNormel - Novembre 2008

Atti dei Convegno "La più recente normativa CEI per la sicurezza e l'efficienza energetica degli impianti elettrici" - Comitato Elettrotecnico Italiano - Ottobre 2010

www.epcos.com

www.elektro.it

Norme: CEI EN 62305-3 (81-10/3)
CEI EN 62305-4 (81-10/4)
CEI EN 61643-11
prEN 50539-11
CEI 64/8

 **FINDER FRANCE Sarl**
Avenue d'Italie - BP 40
Zone Ind. du Pré de la Garde
F-73302 ST. JEAN DE MAURIENNE Cédex
Tel. +33/479/83 27 27
Fax +33/479/59 80 04
finder.fr@finder.fr

 **FINDER GmbH**
Hans-Böckler-Straße 44
D-65468 Trebur-Astheim
Tel. +49 / 6147/2033-0
Fax. +49 / 6147/2033-377
info@finder.de

 **S.P.R.L. FINDER BELGIUM B.V.B.A.**
Bloemendaal, 5
B - 1547 BEVER
Tel. +32/54/30 08 68
Fax +32/54/30 08 67
finder.be@findernet.com

 **FINDER RELAIS NEDERLAND B.V.**
Dukdalfweg 51
NL - 1041 BC AMSTERDAM
Tel. +31/20/615 65 57
Fax +31/20/617 89 92
finder.nl@findernet.com

 **FINDER PLC**
Opal Way - Stone Business Park
STONE, STAFFORDSHIRE,
ST15 0SS - UK
Tel. +44 (0)1785 818100
Fax +44 (0)1785 815500
finder.uk@findernet.com

 **FINDER RELAIS VERTRIEBS GmbH**
Industriezentrum NÖ-Süd
Straße 2a, Objekt M40
A - 2351 WIENER NEUDORF
Tel. +43/2236/86 41 36 - 0
Fax +43/2236/86 41 36 - 36
finder.at@findernet.com

 **FINDER AB**
Skrugatan 5
SE - 211 24 Malmö
Tel: +46 40 93 77 77
Fax: +46 40 93 78 78
finder.se@findernet.com

 **FINDER CZ, s.r.o.**
Hostivařská 92/6
CZ - 102 00 PRAHA 10
Tel. +420/286 889 504
Fax +420/286 889 505
finder.cz@findernet.com

 **FINDER ApS**
Postbox 26
DK - 2770 Kastrup
Tel. +45 60 22 44 77

 **FINDER-Hungary Kereskedelmi Kft.**
HU - 1046 BUDAPEST
Kiss Ernő u. 1-3.
Tel. +36/1-369-30-54
Fax +36/1-369-34-54
finder.hu@findernet.com

 **FINDER ELÉCTRICA S.L.U.**
Pol. Ind. La Pobla L'Elia, C/ Severo Ochoa, s/n
E-46185 La Pobla de Vallbona (VALENCIA)
Dirección Postal Aptdo 234
Tel. +34-96 272 52 62
Fax +34-96 275 02 50
finder.es@findernet.com

 **FINDER (SCHWEIZ) AG**
Industriestrasse 1a, Postfach 23
CH - 8157 DIELSDORF (ZH)
Tel. +41 44 885 30 10
Fax +41 44 885 30 20
finder.ch@finder-relais.ch

 **FINDER PORTUGAL, LDA**
Travessa Campo da Telheira, n° 56
Vila Nova da Telha,
P - 4470 - 828 - MAIA
Tel. +351/22 99 42 900 - 1 - 6 - 7 - 8
Fax +351/22 99 42 902
finder.pt@finder.pt

 **FINDER RELAYS, INC.**
4191 Capital View Drive
Suwanee, GA 30024 - U.S.A.
Tel. +1/770/271-4431
Fax +1/770/271-7530
finder.us@findernet.com

 **FINDER ECHIPAMENTE srl**
Str. Clujului nr. 75 F,
401180 TURDA
jud. CLUJ - ROMANIA
Tel. +40 264 403 888
Fax +40 264 403 889
finder.ro@finder.ro

 **RELEVADORES FINDER, S.A. de C.V.**
Calle 2 Sur 1003-C
Chipilo de Francisco Javier Mina
C.P. 74325 Chipilo, Puebla - MEXICO
Tel. +52/222/2832392 - 3
Fax +52/222/2832394
finder.mx@findernet.com

 **FINDER COMPONENTES LTDA.**
Rua Olavo Bilac, 326
Bairro Santo Antonio
São Caetano do Sul - SÃO PAULO
CEP 09530-260 - BRASIL
Tel. +55/11/2147 1550
Fax +55/11/2147 1590
finder.br@findernet.com

 **FINDER OOO**
Electrozavodskaya street 24-1
107023 MOSCOW
RUSSIAN FEDERATION
Tel. +7/495/229 4929
Fax +7/495/229 4942
finder.ru@findernet.com

 **FINDER ARGENTINA**
Calle Martín Lezica, 3079
San Isidro - Buenos Aires
CP B1642GJA - ARGENTINA
Tel. +54/11/5648.6576
Fax +54/11/5648.6577
finder.ar@findernet.com

 **FINDER ASIA Ltd.**
Room 901 - 903, 9F, Premier Center,
20 Cheung Shun Street, Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel. +852 3188 0212
Fax +852 3188 0263
finder.hk@finder-asia.com