

Guia de Aplicação de Qualidade de Energia

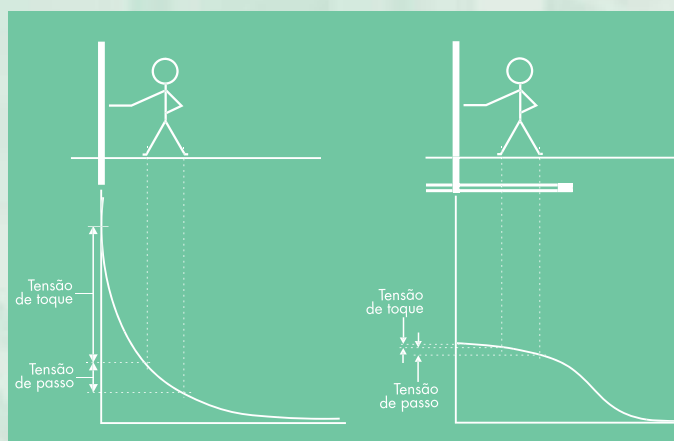


Leonardo da Vinci

Aterramento & CEM

Uma Abordagem dos Sistemas de Aterramento

6.1



COPPER
Linha 110kV

Aterramento & CEM

Uma Abordagem dos Sistemas de Aterramento

Reyer Venhuizen
KEMA T&D Power
Maio de 2002

European Copper Institute (ECI)

O Instituto Europeu do Cobre é uma joint venture entre a ICA (Associação Internacional do Cobre) e o IWCC (Conselho Internacional do Cobre Forjado). Por sua qualidade de membro, o ECI age em nome dos maiores produtores de cobre do mundo e dos fabricantes líderes da Europa, na promoção do cobre na Europa. Formado em janeiro de 1996, o ECI é apoiado por uma rede de dez Associações de Desenvolvimento do Cobre (CDAs) no Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polônia, Escandinávia, Espanha e o Reino Unido. Fomenta os esforços empreendidos inicialmente pela Associação de Desenvolvimento de Produtos de Cobre, criada em 1959, e a INCRA (Associação Internacional de Pesquisa do Cobre) formada em 1961.

Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre com a missão de estimular o uso técnico e econômico do metal, promovendo sua utilização correta e eficiente. Desenvolve projetos nas várias áreas de aplicação do metal, divulgando as vantagens da utilização do cobre na energia elétrica, nas instalações hidráulicas e de gás, na arquitetura, no design e decoração de interiores, na saúde e muitas outras.

Reconhecimentos

Este projeto foi realizado com o apoio da Comunidade Européia e da International Copper Association, Ltd.

Advertência

O European Copper Institute, a Copper Development Association, a KEMA T&D Power e o Instituto Brasileiro do Cobre, negam responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar do uso da informação, ou da inabilidade para usar as informações ou dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute, Copper Development Association and KEMA T&D Power.

A reprodução é autorizada com a condição de que o material não seja abreviado e a fonte seja reconhecida.



Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128-cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@copper.org
Internet: www.procobre.org



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Uma Abordagem dos Sistemas de Aterramento

Introdução

O aterramento de instalações e equipamentos é um assunto que cruza os limites das várias disciplinas envolvidas na construção e equipamento de um moderno edifício comercial ou industrial. Os engenheiros de construção precisam conversar com os engenheiros de instrumentação, e os profissionais de TI precisam discutir assuntos com os engenheiros elétricos, e assim por diante. Entretanto, às vezes estes engenheiros não falam a mesma linguagem técnica ou até mesmo não estão cientes das necessidades das outras instalações. Neste documento, é apresentada uma abordagem global do aterramento para servir como um guia básico para o aterramento e a supressão de interferências, que pode ser usado por equipes multidisciplinares.

Em geral, qualquer sistema de aterramento precisa satisfazer três exigências:

- ◆ **Descargas atmosféricas e curto-circuito:** o sistema de aterramento deve proteger os ocupantes, prevenir danos diretos como fogo, descargas disruptivas ou explosões devidas a descargas atmosféricas diretas e sobre-aquecimento devido a uma corrente de curto-circuito.
- ◆ **Segurança:** o sistema de aterramento deve conduzir as correntes de raio e de curtos-circuitos sem introduzir tensões de passo e de toque intoleráveis.
- ◆ **Proteção de equipamentos e funcionalidade:** o sistema de aterramento deve proteger os dispositivos eletrônicos provendo um caminho de baixa impedância para interconectar os equipamentos. Itinerário adequado de cabos, divisão em zonas e blindagem são aspectos importantes, e atendem ao propósito de prevenir a interferência de fontes de perturbação na operação do equipamento elétrico.

Embora os requisitos para estes três aspectos são freqüentemente especificados em separado, a sua implementação exige uma abordagem integrada dos sistemas.

Uma Abordagem dos Sistemas

O propósito original do terra de proteção foi garantir a segurança das pessoas e propriedades dentro da zona atendida pelo sistema de aterramento. Isto requer um caminho de capacidade de corrente elevada com impedância relativamente baixa na freqüência fundamental, de forma que as tensões desenvolvidas sob condições de correntes de falta altas não sejam perigosas.

É muito fácil fazer uma conexão à terra de baixa impedância boa. Tudo o que é necessário é uma condutividade alta, condutores resistentes à corrosão (o cobre é uma boa escolha) enterrados no solo a uma profundidade tal que não sofram resfriamento excessivo nem ressequem demais, de tamanho suficiente para fazer contato com um volume de terra adequadamente grande, cobrindo uma área suficientemente grande, e numa posição tal que não sejam influenciados por outros sistemas de aterramento. Um volume grande de terra reduz a densidade de corrente no solo, e, portanto, a resistência de terra. Uma conexão com área grande permite a modelagem do campo elétrico de forma adequada, reduzindo as tensões de toque e de passo (como já citado acima). Isto é um terra eletricamente limpo, ou pelo menos, tão limpo quanto possível.

Os problemas surgem assim que o equipamento é conectado. Na prática, a limpeza do terra é afetada por outros sistemas de aterramento próximos, e normalmente de forma mais séria pelo equipamento da própria instalação.

O uso de um condutor combinado de proteção de terra e neutro (PEN), como utilizado em um esquema TN-C, não pode ser conciliado com os princípios de bom projeto esboçados neste guia de aplicação. Em um esquema TN-C, as correntes de neutro, incluindo as harmônicas de 3ª ordem, e as correntes de terra se misturam nos condutores neutros, condutores de proteção e partes metálicas conectadas. As instalações devem ser sempre TN-S, até mesmo se são derivadas de esquemas TN-C no lado da alimentação do ponto de acoplamento comum (PCC, do inglês Point of Common Coupling). A existência de uma única ligação entre neutro e terra é muito importante.

Uma Abordagem dos Sistemas de Aterramento

A prática de instalação tradicional foca, corretamente, na segurança. Originalmente, pensava-se ser suficiente prover simplesmente um caminho para terra de baixa impedância. A prática moderna requer a “modelagem” do campo elétrico na terra para controlar os gradientes de potencial em torno do eletrodo de terra.

O “condutor de proteção” deve também prover um terra funcional para o equipamento que opera no sistema - isto é, tem que prover um caminho para as correntes de fuga (na frequência fundamental) e as correntes de ruído de alta frequência que surgem, por exemplo, de fontes de alimentação no modo chaveado (fontes chaveadas) via filtros de interferência de rádiofrequência (RFI, do inglês Radio Frequency Interference), sendo também uma referência de tensão para interfaces de sinal.

A magnitude das correntes de fuga varia conforme o ponto da instalação. Visto que a corrente de fuga à terra se origina principalmente de equipamentos monofásicos em cada uma das três fases, as componentes equilibradas na frequência fundamental de cada fase tenderão a se anular, de forma que a corrente no condutor de proteção pode aumentar ou diminuir conforme os circuitos são combinados ao longo do sistema de distribuição. Frequentemente, isto é pior em um circuito terminal (monofásico), alimentando equipamento de TI. As correntes de fuga são inofensivas enquanto circulam para terra, mas podem facilmente alcançar níveis letais se a conexão é interrompida, e, portanto, é requerido um projeto de alta integridade. Em essência, isto requer caminhos duplicados (cada um capaz de carregar a corrente de falta total) e conexões robustas e confiáveis - por exemplo, condutores de cobre, de vida longa, resistentes à corrosão, instalados por eletricitistas, em lugar de bandejas para cabos em aço instaladas por trabalhadores da construção. Onde a armadura dos cabos é usada como uma das rotas, é exigida atenção especial para assegurar que são conseguidas conexões confiáveis e mantidas vedadas. Os princípios de projeto de alta integridade devem se estender ao longo do sistema, inclusive direto até a mesa de trabalho, instalando tomadas suficientes, por exemplo, de forma que extensões do condutor de proteção, de baixa integridade, não sejam necessárias.

As correntes de alta frequência podem ser um problema importante, tanto quanto a funcionalidade for afetada. Muitos equipamentos que produzem ruído no terra também são sensíveis a ele, mas há uma diferença: o equipamento produz correntes de ruído e é sensível às tensões de ruído. Se as correntes de ruído puderem ser transportadas para terra sem produzir queda de tensão de ruído, não haverá problema. Isto requer uma conexão à terra que tenha baixa impedância em todas as frequências. Para diminuir o ruído irradiado, o caminho para terra da corrente de ruído deve ficar próximo dos condutores de alimentação. Deve ser destacado que neste contexto estamos mais preocupados com a impedância da conexão ao sistema de aterramento, que representa a superfície equipotencial que familiarmente chamamos “terra”, em lugar da terra física propriamente dita. Isto é diferente dos contextos de segurança e de proteção contra descargas atmosféricas, onde a própria impedância para terra é de importância crítica.

Quando a quantidade de equipamento instalado era pequena, era comum utilizar um terra de grande tamanho separado levando diretamente ao terminal de terra principal, ou até mesmo uma haste de terra separada (também ligada ao terminal de terra principal para atender os regulamentos locais). Isto era normalmente satisfatório, em parte porque estes sistemas e seus periféricos eram dispostos juntos em uma área geograficamente pequena e, portanto, podiam ser mantidos em equipotencialidade (se existe tal coisa), em vez de potencial zero. O caminho de retorno de ruído também ficava próximo dos condutores de alimentação, reduzindo o ruído irradiado. Entretanto, as conexões à terra radiais longas apresentam efeitos de ressonância de um quarto de comprimento de onda (Nota 1), que aumenta a impedância em algumas frequências, tornando-a uma técnica inadequada para as instalações modernas amplamente distribuídas. Os sistemas de computadores modernos normalmente se estendem ao longo de vários andares de um edifício. Manter uma equipotencialidade (em alta frequência) entre estes dispositivos dispersos torna-se difícil, e exige uma solução melhor.

É um fato que a maioria dos sistemas de computadores distribuídos funcionam. Conforme os dispositivos microeletrônicos se desenvolveram e reduziram as tensões de operação, a energia requerida para a troca de estados lógicos e a imunidade à tensão de ruído geralmente tem diminuído, tornando-os mais sensíveis ao ruído. O efeito desta tendência tem sido a compensação através de melhorias no projeto do sistema, para

Nota 1: este projeto do sistema de aterramento de um edifício, incluindo o sistema de proteção contra descargas atmosféricas, requer grande atenção para verificar se todos os objetivos foram atendidos. Como de hábito, é melhor e mais econômico se o sistema é projetado corretamente desde o início, em lugar de ter que refazer o projeto depois do edifício ter sido ocupado.

melhorar a imunidade ao ruído. Estas medidas incluem o uso de interfaces diferenciais e melhor projeto de software, bem como o uso de protocolos de detecção e correção de erros em redes. Estas técnicas são muito efetivas, mas reduzem a velocidade de processamento da rede enviando dados redundantes (controle de erro) e obrigando à re-transmissão de pacotes de dados errados. Conforme o ruído elétrico aumenta, aumenta a taxa de erro, e a velocidade de processamento diminui até que a comunicação útil cessa completamente. Para o usuário, parece como se o sistema tivesse falhado repentinamente, apesar de que de fato apenas degradou até um ponto em que os mecanismos de recuperação existentes podem não mais conseguir superar. Se o ruído elétrico pode ser reduzido para um nível suficientemente baixo, a taxa de erro se reduzirá também e a transmissão de dados será possível de novo. Níveis de ruído altos reduzem a velocidade de processamento, exigindo a repetição da transmissão e reduzindo a eficiência. Claramente, a eficiência da rede está relacionada com a eficiência de processamento de dados, que por sua vez está relacionado com a eficiência dos negócios. Como com muitas outras coisas, a eficiência é pior quando a necessidade é maior - quando a rede está ocupada. Reduzir o nível de ruído elétrico no ambiente de processamento de dados é crucial para uma eficiência crescente. É lamentável que, em empreendimentos para especulação, o cabo de dados mais popular para redes seja o par trançado não blindado. Para edifícios com instalações de TI intensivas e para taxas de transmissão de dados de 100 Mb/s, deve ser preferido o uso de cabos de pares trançados blindados (STP, do inglês Shielded Twisted Pair).

O melhor caminho para reduzir o ruído ao mínimo é usar um plano de terra equipotencial em malha de cobre. Esta técnica foi frequentemente usada para “salas de computador” quando o processamento de dados era centralizado e é ainda em muitos casos a única solução viável. Esta solução funciona porque existe um número infinito de caminhos pela malha com comprimentos elétricos aparentes diferentes: enquanto alguns destes caminhos podem ser múltiplos de um quarto de comprimento de onda, sem dúvida existirão muitos outros caminhos paralelos que não o são. O resultado é uma conexão de baixa impedância sobre uma ampla faixa de frequências. Esta malha deve cobrir a totalidade da área dos equipamentos instalados – hoje em dia normalmente o edifício inteiro – e não deve ser esquecido que isto se aplica tanto à direção vertical como à horizontal. Existe um pequeno detalhe a ser observado quando são utilizadas malhas horizontais em todos os andares, conectadas a um único condutor vertical de descida. As malhas normalmente são construídas usando fitas planas para manter o efeito pelicular num valor mínimo. Onde são usados como malha elementos estruturais, tal como os suportes para um piso elevado que foram selecionados mais por suas propriedades mecânicas do que elétricas, é importante assegurar que os elementos estão eletricamente interligados entre si - usando cordoalhas de cobre curtas – em cada interseção.

Pode-se pensar que uma instalação de malha de cobre completa é bastante cara para edifícios comerciais comuns - particularmente no caso de edifícios para especulação. Entretanto, o custo não é grande e é óbvio que o menor custo global é alcançado incorporando as malhas na fase de projeto, e que o caminho mais caro é o retrofit das malhas depois da ocupação. Um sistema de aterramento eficaz assegura que o edifício é apropriado para uma ampla faixa de usos e é assim mais fácil de comercializar. O edifício pode atrair um aluguel mais alto, justificado pela redução na frequência (e custo) de problemas para os inquilinos, e dos consequentes custos operacionais.

Colocando o Conceito em Prática

O eletrodo de terra

O projeto do eletrodo de terra (o seu tamanho, forma e disposição) é extremamente importante, não só para produzir uma impedância suficientemente baixa, mas também para controlar a forma do campo elétrico na superfície da terra.

A resistência do sistema de eletrodos de aterramento e a corrente no solo determinam a diferença de potencial entre o sistema e terra. Para correntes de falta grandes esta tensão será muito alta no eletrodo e diminuirá com a distância do condutor de terra, conforme aumenta o volume de terra através do qual a corrente está circulando. Esta subida do potencial de terra (GPR, do inglês Ground Potential Rise) pode resultar em situações perigosas.

Uma Abordagem dos Sistemas de Aterramento

Antes de examinar o assunto com mais detalhe, é necessário definir alguns conceitos (Figura 1). “Potencial de toque” é a diferença de tensão entre a estrutura aterrada e uma pessoa em pé no chão dentro da distância de toque da estrutura. O “potencial de passo” é a tensão entre os pés de uma pessoa (assumindo um afastamento de 1 metro) em pé no chão. Os potenciais máximos de toque e de passo são limitados por várias normas.

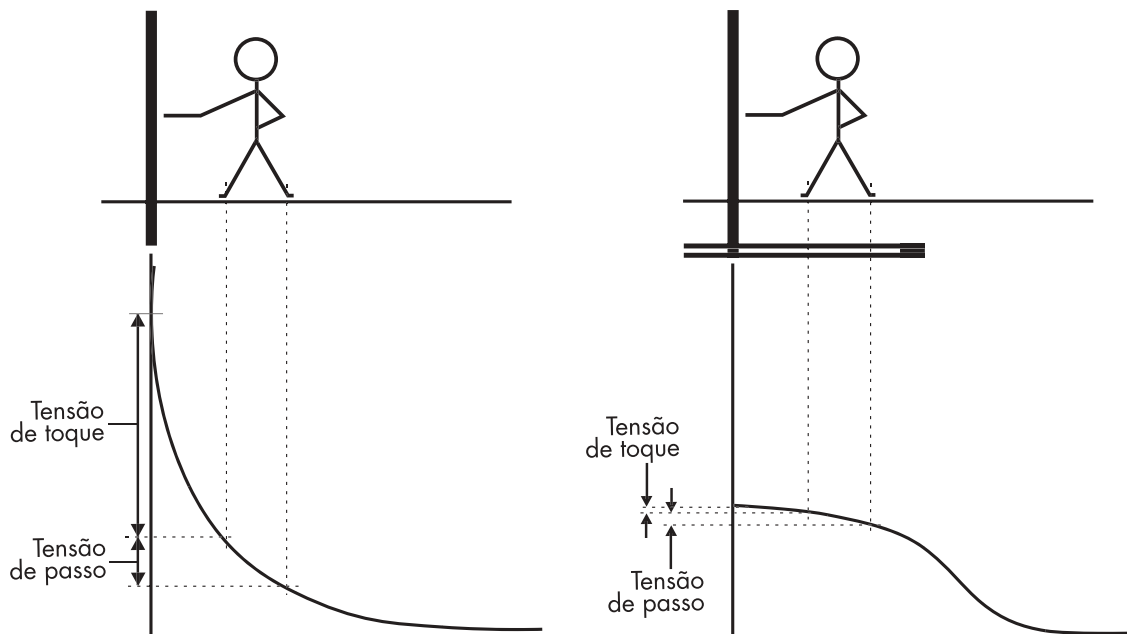


Figure 1 - Tensões de passos e de toque.

É perfeitamente possível alcançar uma impedância baixa (sob condições de solo adequadas) com uma haste da terra única. Um padrão de campo típico é mostrado no lado esquerdo da Figura 1. Pode-se perceber que o declive do potencial de terra é muito inclinado (isto é, as tensões de passo e de toque seriam altas), de modo que esta não é uma escolha apropriada de eletrodo. A Figura 1 mostra (lado direito) o efeito de adicionar ao sistema um anel de guarda de 1 metro fora do perímetro, enterrado a uma profundidade de 0,5 m. Isto não só reduz a impedância e, portanto, o GPR (porque um volume maior da terra está carregando a corrente), mas a forma do campo também está controlada dentro do anel de guarda reduzindo as tensões de passo e de toque.

Como pode ser visto, as tensões de passo e de toque em torno de um edifício são muito menores quando é usado um anel de aterramento. O topo da “montanha de potencial” fica mais largo e mais plano pelas características de formação do campo do anel no solo. Quando não é usado o anel, a “montanha” é mais íngreme e mais alta, especialmente perto de uma haste de aterramento ou estaca de concreto, levando assim, possivelmente, a situações perigosas.

O anel de eletrodo de terra enterrado em torno do edifício deve estar localizado a uma distância de menos de 1 m da parede externa. Deve ser suficientemente profundo para assegurar que não será afetado pelo gelo no inverno e não ressecará no verão. Onde não existe nenhuma diretriz local aplicável, a profundidade deve ser de pelo menos 0,5 m. O anel de terra deve ser feito de cobre com uma seção de pelo menos 50 mm².

O anel de eletrodo de terra deve ser conectado a uma rede malhada sob a estrutura e a uma rede malhada em torno da estrutura, se aplicável. As conexões entre o anel e o resto do sistema de aterramento do edifício ou local devem ser feitas em vários pontos.

Sistema de aterramento de um local grande

Um caminho de baixa impedância para terra é necessário para conduzir as descargas atmosféricas e as correntes de curto-circuito para o solo. Este sistema de aterramento principal tem que ser uma rede que forneça uma conexão de baixa impedância entre todos os objetos e um bom contato distribuído com o solo.

Deve ser capaz de conduzir todas as correntes que ocorrem simultaneamente, evitando tensões de toque perigosas e correntes grandes em cabos que conectam objetos distantes.

A Figura 2 mostra a vista superior de um sistema de aterramento em malha de uma fábrica. Para edifícios (1), as armações de aço formam uma boa rede em malha, que é conectada a um anel de cobre nu enterrado em torno do edifício, para evitar tensões de passo e de toque. Em outro lugar, é instalado um sistema de aterramento em malha. O espaçamento da malha diretamente em torno dos edifícios é de 5 m. Uma torre (2) e um equipamento isolado (3) também estão conectados a esta rede em malha. Todo objeto é conectado ao sistema de aterramento mediante conexões múltiplas. Uma bandeja para cabos (4) é usada como proteção para cabos instalados entre os edifícios.

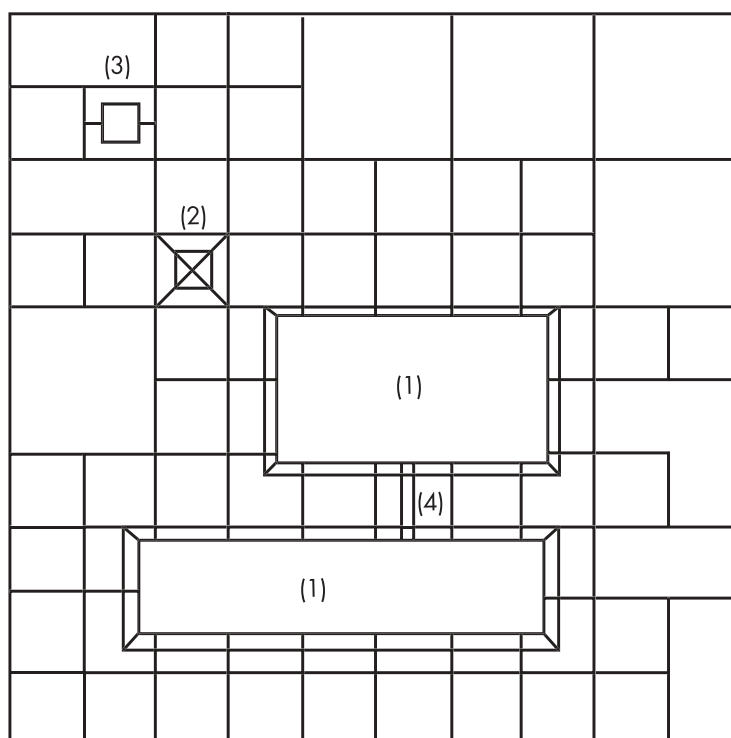


Figura 2 - Rede de terra (conforme figura 8 da IEC 61312-2).

Sistema de proteção contra descargas atmosféricas

Para limitar danos devidos a uma descarga direta de raio em uma estrutura, deve ser provido um caminho de baixa impedância do topo da estrutura até o solo. No nível da terra, o sistema de proteção de raio é diretamente conectado ao eletrodo de terra e o resto do sistema de aterramento. A Figura 3 mostra uma estrutura típica para um edifício.

O espaçamento máximo dos condutores verticais (d) é 10 m para proteção normal e 5 m para proteção de nível alto. Devem ser usados pelo menos dois condutores verticais, com uma seção transversal de, no mínimo, 20 mm². De preferência em cada andar, mas a intervalos de no máximo 20 m, os condutores verticais devem ser conectados ao sistema de aterramento do edifício. O objetivo é formar uma gaiola de Faraday em torno do edifício, compreendendo o arranjo externo de condutores verticais e as conexões horizontais em cada nível de andar, estabelecendo zonas “equipotenciais” locais para cada andar.

Deve ser lembrado que o raio é um evento transitório, portanto a indutância e o efeito pelicular devem ser mantidos baixos, usando condutores de fitas planas instalados em linhas retas.

Disposição do condutor de proteção para edifícios

O “condutor de proteção” de um edifício serve para várias funções:

- ◆ conduzir a corrente de falta para terra, permitindo assim a operação da proteção de sobrecorrente;
- ◆ conduzir a corrente de fuga para terra;
- ◆ agir como um plano de referência de sinal de forma que as interfaces de sinal de equipamentos interconectados possam operar corretamente;
- ◆ preservar a Compatibilidade Eletromagnética (CEM);
- ◆ conduzir as correntes de ruído dos filtros de Interferência por Radiofrequência (IRF), etc., para terra.

Com muita frequência, o “condutor de proteção” é projetado como se fosse apenas um condutor de proteção, omitindo completamente suas outras diversas funções. É uma pena que não seja melhor denominado.

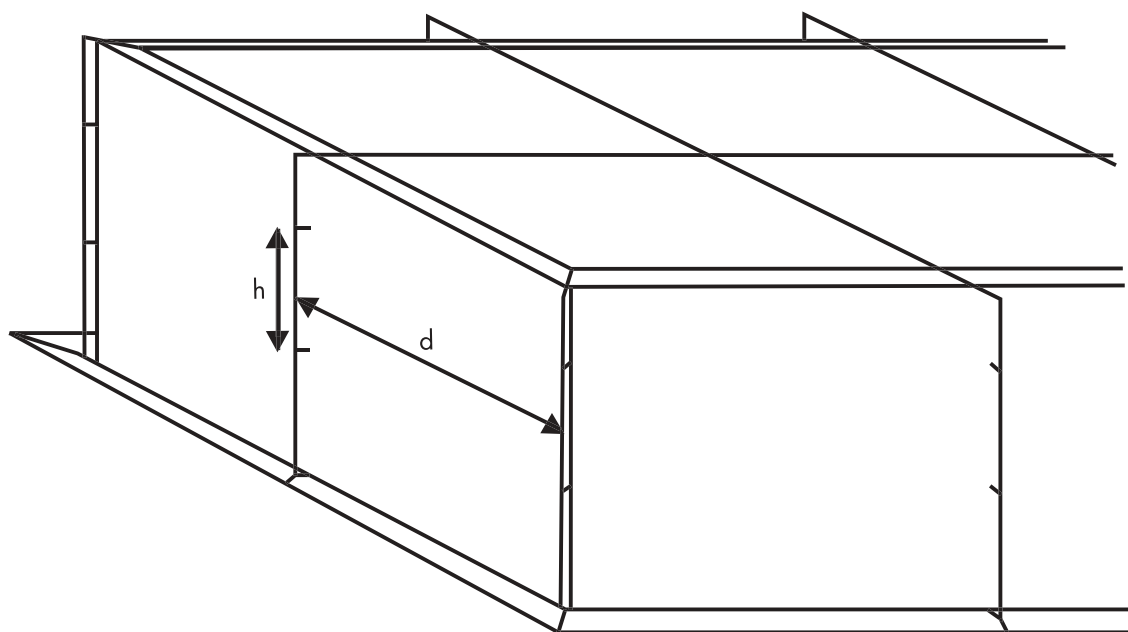


Figura 3 - Posicionamento das descidas dos condutores do pára raios.

Corrente de falta

Projetar para lidar com a corrente de falta é bem compreendido. Com proteção de sobrecorrente e de falta corretamente projetadas, a duração de uma corrente de falta será limitada, e a energia que “deixam passar” restrita a valores seguros. Este é o projeto de instalação padrão. Neste contexto, os critérios críticos são a resistência absoluta para terra e a resistência do laço da fonte, cabeamento e condutor de proteção.

Corrente de fuga

As correntes de fuga são frequentemente omitidas. Surgem principalmente de filtros com a intenção de reduzir a interferência por radiofrequência e, embora a contribuição de cada item de equipamento seja pequena, a soma combinada pode ser significativa. Estas correntes se originam de um capacitor divisor da tensão de alimentação, e, portanto, têm uma tensão de fonte de circuito aberto de metade da tensão de alimentação. Normalmente, este primeiro ponto é aterrado pelo condutor de proteção. Se uma seção do condutor de proteção fica isolada, por exemplo, um circuito radial, o condutor protetor fica desconectado no

ponto de distribuição, e então o condutor de proteção isolado flutuará até a metade da tensão de alimentação. A corrente da fonte disponível dependerá do número de unidades conectadas (se estão ligadas ou não é normalmente irrelevante) e pode exceder o nível em que o contato pode ser letal. A prática adequada é assegurar que a integridade do “condutor de proteção” seja melhorada, provendo mais de uma rota do ponto de conexão do equipamento para o ponto de distribuição. Pelo menos uma rota deve ser um condutor dedicado, mecanicamente robusto, enquanto os outros caminhos condutores podem ser providos pela armação do cabo, eletrodutos ou bandejas para cabos. Deve-se destacar que se um caminho desse tipo é usado, deve ser instalado e mantido de tal forma que a integridade da conexão seja assegurada. Visto que este tipo de corrente de fuga é realmente uma característica do projeto do filtro de IRF no equipamento, é agora denominada simplesmente “corrente do condutor de proteção” em alguns códigos de instalação.

A consideração mais importante para a corrente de fuga é a integridade do condutor de proteção. As correntes são relativamente pequenas, de forma que a resistência não é um problema, mas o risco de choque se a conexão for perdida é muito alto. O assunto mais difícil é como preservar a integridade do condutor de proteção: não existe uma maneira simples de descobrir que a integridade foi comprometida pela falha de uma das rotas. Da mesma forma, não há nenhuma indicação de falha completa até que um usuário desafortunado a descubra.

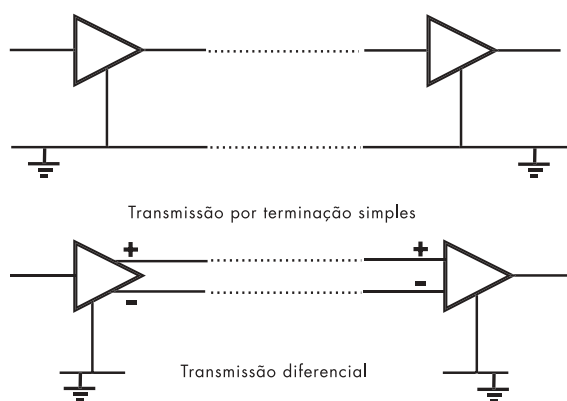


Figura 4 - Interfaces de sinal de terminação simples (acima) e diferencial.

Plano de referência de sinal

Para que o condutor de proteção atue como uma referência de tensão, de forma que o equipamento interligado possa operar corretamente, é necessária uma impedância muito baixa numa faixa de frequência larga. A preocupação aqui é que a totalidade do sistema de terra representado pelo condutor de proteção deve mostrar ser uma superfície equipotencial. Em outras palavras, na faixa de frequência completa de interesse, e sobre a área inteira do edifício, a diferença de potencial entre dois pontos quaisquer deve ser zero. Em condições práticas, isto não significa que a diferença de potencial realmente deva ser zero, mas que deve ser suficientemente baixa para não causar qualquer mau funcionamento do equipamento instalado. Muitas interfaces de sinal usam níveis de tensão diferencial (interfaces de rede, RS 485) e são tolerantes a diferenças relativamente altas (alguns volts) na tensão de referência. Alguns padrões de interface mais antigos, como as interfaces RS 232 usadas para modems e as IEEE 1284 usadas para impressoras, são de terminação simples e menos tolerantes.

A Figura 4 mostra interfaces típicas de terminação simples e diferenciais. Uma interface de terminação simples usa um condutor de sinal e um caminho de retorno à terra únicos. Claramente, qualquer diferença de potencial entre o “terra” local no transmissor e no receptor aparece em série com o sinal e é provável que ocasione corrupção de dados. A solução aparentemente simples de adicionar outro condutor de sinal entre os dois pontos de terra não é praticável - uma corrente grande e indefinida circulará, causando interferência e possivelmente danos.

Uma interface diferencial usa dois condutores de sinal e os dados são enviados como uma diferença de tensão entre eles. Em condições ideais, o receptor é sensível apenas à tensão diferencial entre as linhas de sinal e não sensível à tensão em modo comum (a tensão média nas linhas de sinal). Na prática isto não é assim e a tensão em modo comum deve ainda ser considerada, mas a um nível de talvez uma ou duas ordens de magnitude mais alta que a requerida para uma interface de terminação simples. A relação entre a sensibilidade diferencial e a sensibilidade em modo comum é conhecida como o fator de rejeição em modo comum (CMRR, do inglês Common Mode Rejection Ratio) e é expressa em dB (V). Para a maior parte dos receptores de semicondutores, o CMRR é alto em frequência baixa, mas diminui rapidamente conforme a frequência sobe. Em outras palavras, o uso de interfaces diferenciais, apesar de útil para reduzir a taxa de erro, na realidade não relaxa os requisitos do sistema de condutor de proteção.

Deve ser observado que o importante não é a impedância absoluta para terra, mas a impedância (numa faixa ampla de frequência) entre pontos diferentes no condutor de proteção.

Geralmente, as medidas requeridas para prover um bom plano de referência de sinal são semelhantes às requeridas para assegurar a CEM, discutidas a seguir.

Compatibilidade eletromagnética

Toda peça de equipamento elétrico e eletrônico produz alguma radiação eletromagnética. De forma semelhante, toda peça de equipamento é também sensível, numa extensão maior ou menor, à radiação eletromagnética. Se tudo estiver funcionando, o nível cumulativo de radiação em um ambiente deve ser bastante menor que o nível que perturbará a operação do equipamento que trabalha naquele ambiente. Para alcançar esta meta, o equipamento é projetado, fabricado e ensaiado de acordo com padrões que permitam reduzir a quantidade de radiação que é emitida e aumentar a quantidade que pode ser tolerada.

A CEM é definida na série de normas IEC 61000 como:

“A capacidade de um equipamento ou sistema de funcionar satisfatoriamente em seu ambiente eletromagnético, sem introduzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis para qualquer coisa naquele ambiente”.

Na prática, manter esta compatibilidade exige grande cuidado no projeto e implementação da instalação e do sistema de aterramento. Uma orientação detalhada será fornecida em seções posteriores deste Guia. Aqui é apresentada apenas uma avaliação geral.

Na engenharia elétrica tradicional, foram usados sistemas de aterramento separados, por exemplo, terra de sinal, terra de computador, terra para energia, terra para descargas atmosféricas, etc. Na engenharia elétrica atual, novas idéias têm sido aplicadas no que se refere ao aterramento e sua relação com a proteção de instrumentos. O conceito de sistemas de aterramento separados foi abandonado e as normas internacionais prescrevem agora um sistema de aterramento global. Não existem coisas tais como: terra “limpo” e “sujo”.

Este conceito de aterramento único significa na prática que os condutores de proteção (PE), condutores de aterramento paralelos, quadros, e as blindagens e telas dos cabos de dados ou de energia, são todos interconectados. Também as partes de aço das construções e tubulações de água e de gás, fazem parte deste sistema. Idealmente, todos os cabos que entram em uma zona devem entrar por um ponto em que todas as blindagens e outros condutores de terra são conectados.

Para reduzir a interferência no equipamento, os laços de aterramento entre blindagens de cabos e outras estruturas de aterramento devem ser mantidos pequenos. Cabos conectados às estruturas metálicas fazem essas estruturas servir como condutores de aterramento paralelos (PEC, do inglês Parallel Earthing Conductors). Estruturas de aterramento paralelas são usadas para cabos de dados e também de energia. Exemplos, em ordem ascendente de efetividade: cabos de aterramento, escadas para cabos, superfícies metálicas planas, bandejas para cabos ou, finalmente, tubulações metálicas. O PEC reduz a impedância do laço formado pelo cabo e a rede de aterramento. A resistência de aterramento com relação ao terra-mãe não é, na maior parte dos casos, importante para a proteção do equipamento. Uma forma muito efetiva de PEC é uma blindagem de cabos densamente tecida ou completamente fechada, com uma seção transversal metálica grande, conectada por todos os lados a ambas extremidades do cabo.

Uma Abordagem dos Sistemas de Aterramento

Para manter pequena a impedância das conexões na rede de aterramento para frequências altas, deve ser usado cabo de Litz (trançado, isolado individualmente) ou tiras de metal com um comprimento com relação à largura menor que 5. Para frequências acima de 10 MHz não devem ser usados cabos redondos.

Um piso elevado pode servir como um bom plano equipotencial. A malha de cobre sob ele deve ter um espaçamento máximo de 1,2 m e ser conectada à rede de aterramento comum por meio de vários condutores de equipotencialidade. A malha deve ser conectada a um anel de cobre de 50 mm² colocado em torno da área de piso elevado, nos limites do mesmo, a intervalos de 6 m. Os cabos de energia e de sinal devem estar afastados entre si pelo menos 20 cm, e onde se cruzam, devem fazê-lo em ângulo reto.

Conclusão

O sistema de aterramento de um edifício ou local é uma parte crítica da infra-estrutura elétrica e pode determinar a viabilidade futura de negócios que operam nele. É necessário lidar com correntes de falta de curta duração de várias centenas de Ampères, suportando correntes de alguns Ampères e correntes de ruído de alta frequência que retornam à fonte ou à terra, com queda de tensão próxima de zero para correntes de ruído, e sem risco de dano para correntes de falta. Ao mesmo tempo, deve proteger o equipamento e o pessoal existente no edifício durante as descargas atmosféricas (transitórios rápidos da ordem de kA) no sistema de aterramento interconectado.

O projeto do sistema de aterramento de um edifício, incluindo o sistema de proteção contra descargas atmosféricas, requer grande cuidado se têm que ser alcançados todos os objetivos. É, como de hábito, é melhor e mais barato se for corretamente projetado desde o começo, considerando a vida útil do edifício e, até onde possível, o uso potencial durante aquele período. A re-engenharia depois que o edifício foi ocupado é sempre uma prática cara.

Rede de Parceiros

Copper Benelux

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090
Fax: 00 32 2 777 7099
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

Copper Development Association

Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonnhof 5
D-40474 Duesseldorf
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

ECD Services

Via Cardinal Maffi 21
I-27100 Pavia
Italy

Tel: 00 39 0382 538934
Fax: 00 39 0382 308028
Email: info@ecd.it
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

Hevrox

Schoebroekstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420
Fax: 00 32 11 454 423
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendrikx

HTW

Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbruecken
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279
Fax: 00 49 681 5867 302
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italy

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirednet.it
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20
Fax: 00 32 16 32 19 85
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: pcpm@miedz.org.pl

Contact: Mr P Jurasz

TU Bergamo

Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07
Fax: 00 39 035 56 27 79
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspiarskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192
Fax: 00 48 71 32 03 596
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



Reyer Venhuizen



KEMA T&D Power
Utrechtseweg 310
PO Box 310
6800 ET Arnhem
The Netherlands

Tel: 00 31 26 356 3724
Fax: 00 31 26 443 3843
Email: r.venhuizen@kema.nl
Web: www.kema.nl



Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128-cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@copper.org
Internet: www.procobre.org



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org