

Programa de Formação Técnica Continuada

Compatibilidade eletromagnética



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Índice

1.0	Regras e regulamento.....	3	3.0	A função do aterramento.....	8
2.0	Perturbações eletromagnéticas.....	3	3.1	Laços (loops) de massa e entre massas.....	9
2.1	Perturbações conduzidas.....	3	3.2	Unicidade da rede de massas.....	10
2.2	Perturbações por condução em BF.....	4			
2.3	Flicker.....	4			
2.4	Perturbações de AF por indução.....	6			
2.5	Campos magnéticos de BF.....	7			
2.6	Campos magnéticos de AF.....	7			

1.0 Regras e regulamento

A legislação mundial sobre compatibilidade eletromagnética (CEM ou EMC, em inglês) é dividida basicamente em duas filosofias:

- dos países "liberais" como o Japão, nos quais a emissão de ruídos que perturbem as radiocomunicações é ilegal,
- dos países "regulamentados" como os EUA onde as emissões acima dos níveis normalizados estabelecidos pela FCC, parte 15, é ilegal.

Na Europa os regulamentos estão em uma posição intermediária entre essas duas: a emissão de ruídos e a fabricação de equipamentos muito sensíveis são ilegais. Ali, os regulamentos se aplicam a todos os aparelhos e instalações, em exceções.

Os limites toleráveis na Europa e nos EUA são diferentes, assim como os métodos de ensaio. As normas americanas dividem os equipamentos automáticos de processamento de dados (ADP) em classes A (a serem usados em ambientes industriais) e B a serem usados em ambiente residencial e os limites toleráveis para a classe B são mais exigentes que para a classe A. Para a classe B é exigida uma certificação enquanto que para a classe A é especificada a verificação da conformidade.

As normas usadas na Europa são as da CISPR (**Comissão Internacional Especial para Radiointerferência**) que são também usadas no Japão para solucionar as eventuais pendência jurídicas, embora atualmente o espírito de cidadania leve a população a respeitar os limites.

2.0 Perturbações eletromagnéticas

Os problema de EMC geralmente acontecem quando um equipamento altamente sensível a ruídos elétricos estranhos (e que são normalmente referidos como "interferências") é colocado em um ambiente sujeito a perturbações eletromagnéticas. Como tornar os equipamentos (geralmente eletrônicos) imunes a elas é difícil e as fontes de ruídos são numerosas e inevitáveis torna-se necessário considerar a distribuição física dos equipamentos sensíveis e a fiação correspondente de interligação de aparelhos e fontes. Este é o principal meio de assegurar um grau satisfatório de imunidade para a maioria dos equipamentos eletrônicos sensíveis (EES) que são atualmente denominados Equipamentos da Tecnologia da Informação (ETI).

Há dois modos de interferência eletromagnética:

- conduzida por cabos, fios, etc.,
- radiada por indução estacionária* (campos magnéticos ou eletrostáticos) e/ou ondas eletromagnéticas (rádio).

As intensidades das perturbações eletromagnéticas são dadas por quatro parâmetros: dois para o modo de condução (Vols e Ampères) e dois para o modo de radiação: V/m (E) e A/m (H).

A frequência é um dos principais fatores que caracterizam uma onda eletromagnética e na CEM as soluções adotadas são diferentes conforme se trate de baixa frequência (BT) ou de alta frequência (AT).

***Campos elétricos e magnéticos estacionários (mas mudando de intensidade) são geralmente significativos somente nas proximidades das fontes e têm sua influência são facilmente reduzida pela instalação dos equipamentos a uma distância**

adequada delas. Uma exceção é a de correntes de curto-circuito de dezenas de kA passando por um cabo.

2.1 Perturbações conduzidas

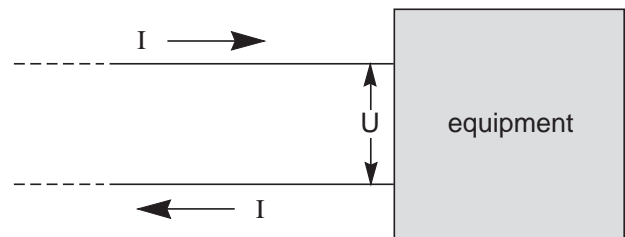
A energia elétrica, seja a desejada seja sob a forma de ruídos indesejáveis, se propaga ao longo dos condutores somente por dois modos: modo diferencial e modo comum.

Modo diferencial

O modo diferencial é o modo normal de condução de corrente por um circuito de dois condutores. Este modo é também conhecido como modo normal, modo simétrico ou modo série.

No modo diferencial a corrente flui em um condutor em exata oposição de fase àquela do outro condutor, ou seja circulam em direções opostas em cada instante.

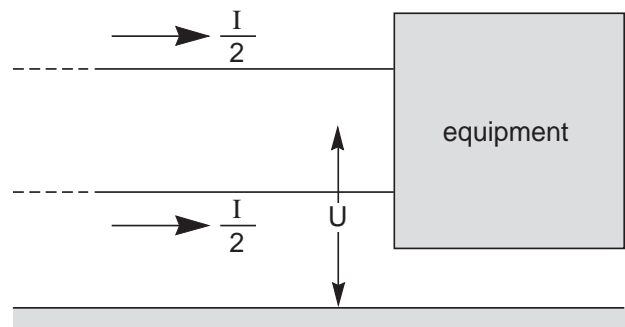
A tensão é medida entre os dois condutores.



As perturbações no modo diferencial são as mais severas em baixas frequências. Por baixas frequências (BF) entende-se em estudos de CEM que se está falando em tensões abaixo de 9kHz. Nas redes elétricas de potência são numerosas as perturbações em modo diferencial, podendo-se citar entre outras: interrupções de curta ou longa duração, flutuações de tensão, flicker, instabilidade de fase, harmônicos, picos de tensão. O efeito de uma perturbação eletromagnética depende largamente da sua duração. As permanentes ou mantidas afetam principalmente os aparelhos analógicos enquanto as de curta duração são mais perigosas para os aparelhos digitais.

Modo comum

O modo comum é essencialmente de perturbações, é também conhecido como modo paralelo, longitudinal, assimétrico. As correntes de modo comum passam por todos os condutores de um cabo na mesma direção. O percurso de retorno de tais corrente é pela terra, conexões de interligação, blindagem dos cabos, etc. Uma diferença de potencial em modo comum é medida entre as massas (terminal local de referência zero) e o valor de potencial médio de todos os condutores do cabo do circuito sendo testado. Esse potencial pode estar presente sem passagem de corrente.



Perturbações eletromagnéticas podem se acoplar a cabos no modo comum, particularmente em AF, pois eles atuam como antenas. São vários os tipos de acoplamentos que podem ocorrer entre circuitos vizinhos.

Somente as perturbações em modo diferencial podem ser filtradas localmente, cabo a cabo.

Os problemas de modo comum são particularmente críticos em HF em um ambiente isolado, ou onde a massa está "flutuando" em relação à terra (isto é, está isolada da terra). Algumas medidas de correção adotadas podem produzir efeitos secundários perigosos e precisam ser combinadas com outros cuidados para efetivamente trabalhar em todas as faixas de frequências e de amplitudes. A combinação de medidas corretivas é referida como proteção coordenada.

2.2 Perturbações por condução em BF

As perturbações em BF incluem todos os tipos de interferência nas quais as faixas de frequências significativas estão abaixo de 9 kHz. A frequência de 9 kHz é um limite convencional superior abaixo do qual os fenômenos elétricos podem ser analisados em termos simples, usando as técnicas de circuitos elétricos lineares baseadas em indutâncias (múltiplas e próprias) e capacitâncias. Por definição, uma perturbação em BF existe por um tempo relativamente "longo" (ao menos algumas centenas de micro-segundos). O nível de energia de uma perturbação em BF pode ser considerável e facilmente medido.

A impedância de um cabo em BF é praticamente equivalente a sua resistência. A indutância linear de um condutor de seção pequena sob vários kHz e sob 60 Hz (para cabos de grandes seções) é da ordem de 1 $\mu\text{H}/\text{m}$, e sua impedância aumenta linearmente com a frequência. Este fato é importante quando se consideram os harmônicos de frequência em uma rede.

Um condutor PE de 35 mm² ou mais terá aquecimento reduzido sob corrente de falta mas terá efeito desprezível na distribuição de potencial pois a indutância do cabo é praticamente independente da sua seção.

Interrupções (longas ou transitórias)

Uma interrupção é o desaparecimento total da tensão do sistema. No caso de uma falta ocorrendo em uma rede aérea de um sistema de distribuição um consumidor irá normalmente experimentar uma curta queda de tensão, às vezes seguida por uma breve interrupção; esta ocorrerá se o usuário for alimentado pela seção da linha aérea em que aconteceu a falta. Esta "falta passageira" ou breves nas linhas aéreas são muito comuns e consistem em arcos externos aos isoladores, devidos aos raios, ou devidos a contatos com pássaros grandes ou com galhos molhados, etc.

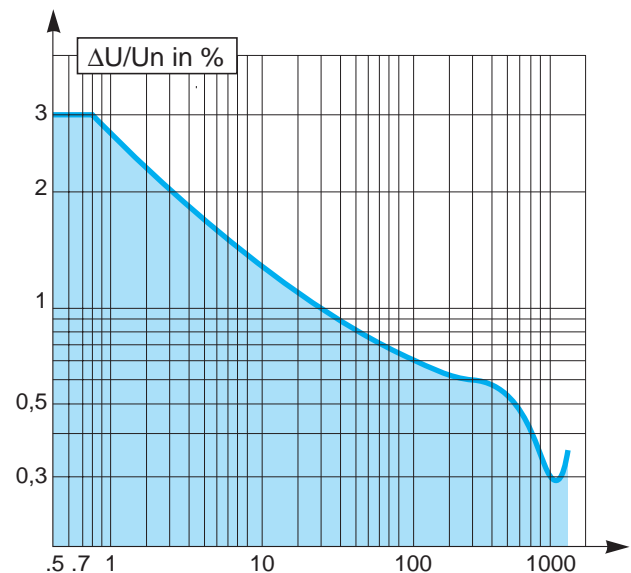
A sequência automática para eliminação dessas faltas passageiras nas linhas aéreas é incluída no esquema de proteção da linha. A duração é limitada a cerca de 0.5 segundos. Uma rede subterrânea tem cerca de 10% do número de interrupções de uma linha aérea, mas as faltas nessas redes não são auto-extinguíveis (a isolamento sólida não é auto-recuperante) de modo que são necessárias normalmente várias horas para localizar e consertar a isolamento defeituosa.

2.3 Flicker

É a existência de pequenas mas repetitivas quedas de tensão que são causadas por cargas elevadas que solicitam altas correntes por breves e repetidos períodos.

A impedância da rede é principalmente a do cabo e a do transformador AT/BT, sendo esta tão menor quanto maior for a potência (kVA) do transformador. Nas redes de distribuição públicas o flicker é mais frequente nas redes rurais ou longas com baixa densidade de consumidores. Os problemas aparecem nas linhas que alimentam fornos a arco, máquinas de solda, e em geral onde cargas pesadas são manobradas frequentemente.

O flicker tem um efeito fisiológico desagradável para as pessoas que trabalham em ambientes com lâmpadas incandescentes, mas sem nenhum efeito sobre os aparelhos e circuitos eletrônicos. O flicker é causa de preocupação somente quando cargas pesadas são frequentemente manobradas ou quando a impedância do circuito é alta. Os



limites dos parâmetros padronizados e um medidor de flicker são descritos nas normas IEC 1000-3-3 e 1000-4-15. Nas instalações industriais submetidas a flicker torna-se às vezes, necessária uma modificação nas instalações. As medidas mais efetivas incluem:

- separar cabos de cargas pesadas, preferivelmente alimentando cada carga pesada por um transformador individual AT/BT,
- divisão das cargas,
- aumento dos tempos de atraso nos sistemas de controle automáticos,
- redução da taxa de repetição do ciclo de trabalho,
- distribuição racional das operações que requerem pulsos de demanda, junto com a instalação de um compensador estático de potência reativa. Tecnicamente uma redução da impedância da fonte é uma excelente solução.

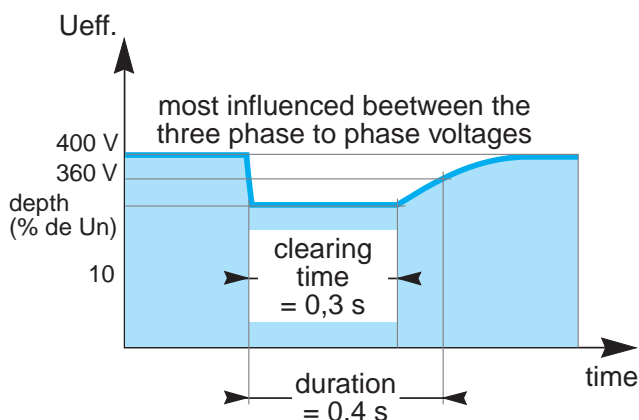
Vales e flutuações da tensão

Uma flutuação da tensão é uma mudança rápida da tensão da fonte não superando $\pm 10\%$ (geralmente o limite aceitável a nível da distribuição) durante a operação normal. Um "vale" é

uma brusca queda de tensão, causada principalmente pela manobra de cargas que no instante da energização, requerem uma corrente maior que o valor normal nominal da rede, por exemplo, correntes de partida de motores pequenos, ligamento de grandes dispositivos de aquecimento resistivos ou de grupos grandes de lâmpadas incandescentes, etc. Esses vales são transitórios mas são mais severos que os classificados como flicker, geralmente superando os 10%. Sua duração varia de 10 ms a aproximadamente 1 s.

Reduções de tensão que superam 10% e 1s, devidas por exemplo a partida de grandes motores ou a faltas do sistema são referidas simplesmente como queda de tensão e suas durações são especificadas. Dispositivos sensíveis de controle eletrônico de precisão, calculadoras eletrônicas antigas e lâmpadas fluorescentes eletrônicas (AF) podem ser prejudicadas em seu funcionamento. Um dispositivo eletrônico bem projetado pode suportar flutuações de tensão de até $\pm 8\%$.

Um vale de tensão é geralmente devido a um curto-circuito em algum ponto do sistema na mesma rede. Quanto mais perto for a falta, maior será o vale. A severidade é dada pela queda percentual da tensão e pela duração em ms e são devidas a ventanias, raios, ou faltas na rede (quebra de isoladores) ou que ocorrem na instalação de um consumidor vizinho.



Faltas nas extra-altas tensões de transmissão são raras e são devidas a raios ou a tempos excepcionalmente frios.

A consequência de vales de tensão (quando seguidos por uma interrupção) é uma perda completa da alimentação de dispositivos eletrônicos (e de potência).

Os relés irão cair e motores comandados por controles eletrônicos de variação de velocidade e dispositivos de frenagem por regeneração serão privados do controle de freio. Ainda que não haja interrupção, um vale de tensão grande e longo (até 1 segundo) pode causar maus funcionamentos semelhantes.

Os meios de evitar esses problemas ao mínimo custo exigem uma análise individual em cada caso. Para superar o problema do vale de tensão muitos dispositivos eletrônicos têm fontes individuais com autonomia de centenas de ms para 100% de queda de tensão da fonte. Para fontes de potência pesadas o período de autonomia cai para cerca de 20 ms, sendo fator limitante o tamanho requerido para os capacitores de armazenamento de energia. Grupos motores-geradores têm suficiente autonomia para superar os vales de tensão. Finalmente, as UPS rotativas ou estacionárias podem suprimir

aos vales de tensão e manter a alimentação durante a interrupção.

Desequilíbrios

O valor de uma tensão é expresso pelo seu valor eficaz. A tensão entre fases é denominada tensão de linha e a tensão de entre um condutor fase e a terra é a tensão de fase.

A tensão de linha em um sistema trifásico equilibrado é igual à 3 (1,732) vezes a tensão de fase. Um sistema trifásico pode ser definido simplesmente pela amplitude de 3 tensões de linha ou de fase.

Para definir um sistema senoidal que esteja em um estado não equilibrado, entretanto, os valores de corrente e tensão em cada fase são considerados, no caso geral, a soma de três vetores. Os três componentes de cada fase são conhecidos como:

- componente de sequência positiva,
- componente de sequência negativa,
- componente de sequência zero..

Um sistema equilibrado é composto somente de componentes de sequência positiva. Um sistema assimétrico é dito desequilibrado; nele estão presentes as componentes de sequências positiva, negativa e zero.

Uma causa comum de desequilíbrio é a de diferentes níveis de carga nas três fases. Cargas desequilibradas resultam em tensões desequilibradas aplicadas a motores trifásicos. Ocorrem então perdas crescentes nos rotores dos motores, e no caso de desequilíbrios muito grandes os motores podem ser destruídos por sobreaquecimento. As cargas monofásicas (fase-fase) não são normalmente afetadas por desequilíbrios.

São inevitáveis pequenos graus de desequilíbrio (0.5-1%) nas redes trifásicas a 3 fios em BT e até 2 a 3 % podem ser tolerados por alguns minutos por todas as cargas.

Quando o nível de desequilíbrio de tensões for elevado (> 2% por exemplo), é conveniente corrigir o balanceamento das cargas. Quando isso não for possível, a situação pode ser melhorada pelo aumento do nível de falta no circuito correspondente pela troca do transformador.

Transformadores especiais com enrolamentos entrelaçados têm impedância de curto da ordem de 2%, enquanto que um transformador normal AT/BT apresenta impedância de 5-6%. Isto significa maiores correntes de curto-circuito, uma situação que melhora o equilíbrio das tensões e (incidentalmente) melhora a forma de onda (se ela se apresentar distorcida) pela redução do conteúdo de harmônicos. Um método moderno, ainda que caro, de melhorar a condição de desequilíbrio é instalar um compensador estático. Este, consiste em um sistema capaz de armazenar energia em um indutor ou capacitor e restituir essa energia ao sistema nos instantes apropriados.

Um filtro ativo constitui uma das soluções preferidas para limitar as perturbações geradas por fornos a arco durante a fase de partida.

Variações de frequência

A rede Européia se comporta, na prática, como um sistema infinito em relação à estabilidade da frequência, no qual mudanças de carga não afetam sensivelmente a frequência. Em pequenos sistemas privados, e especialmente quando se

trata de geradores, onde a inércia é pequena e o sistema de regulação é geralmente rudimentar, a frequência irá variar (dentro de limites razoáveis) cada vez que a carga mudar abruptamente. Motores são menos estáveis, em termos de frequência que as turbinas. Variações de frequência não perturbam indevidamente os equipamentos eletrônicos e conversores baseados em corte de corrente são insensíveis à variações de frequência. Todos dispositivos modernos e seus componentes devem ser capazes de operar durante variações de frequência de $\pm 4\%$ por um período de 10 minutos.

Somente sistemas muito grandes com transformadores operando no limite de saturação podem ser submetidos a sobreaquecimentos por variações de frequência por longos períodos. Motores CA (amarrados à frequência) apresentarão variações de velocidade correspondentes às variações de frequência. Por outro lado a inércia dos motores tende a reduzir outras perturbações bruscas que ocorrem nas redes.

Harmônicos

Qualquer carga não linear (lâmpada fluorescente, forno a arco, etc.) toma uma corrente não senoidal da rede. Uma corrente desse tipo tem uma componente senoidal com a frequência da rede que é conhecida como componente fundamental junto com outras componentes senoidais cujas frequências são múltiplos inteiros da frequência fundamental.

Estas últimas são conhecidas como componentes harmônicas. Convencionalmente, nos sistemas de potência são consideradas as harmônicas até ordem 40, isto é, 2,4kHz (para sistemas de 60 Hz). Fontes para circuitos eletrônicos, reguladores de potência baseados em ponte de Graetz, e lâmpadas fluorescentes são ricos em harmônicos. A distorção da forma de onda da tensão é onerosa para os equipamentos; ela é definida com uma porcentagem e é proporcional ao conteúdo harmônico da corrente e à impedância da rede. O efeito da distorção é aumentar as perdas por aquecimento dos motores. Em um SPD (sistema de processamento de dados) pode ser considerada normal uma distorção de 5%. Todos componentes eletrônicos podem suportar uma distorção global de 8% incluindo possíveis inter-harmônicos de ao menos 8%. Uma corrente inter-harmônica tem uma frequência que não é um múltiplo inteiro da frequência fundamental. É feita uma distinção entre inter-harmônicos "verdadeiros" gerados em frequências discretas e aqueles que fazem parte de um espectro contínuo.

Harmônicos pares são gerados somente por retificadores assimétricos e correntes de carga que contêm componentes contínuas. Uma componente contínua pode realmente saturar o transformador da fonte de potência. A maioria das cargas não lineares (transformadores saturados, lâmpadas fluorescentes, fontes de potência que usam técnicas de corte de corrente) geram somente harmônicos de ordem ímpar.

O engenheiro de instalação tem praticamente somente um meio de proteger a instalação contra sobretensões que é a instalação de dispositivos de limitação de sobretensões nos condutores do circuito de alimentação. As sobretensões que surgem nas redes públicas de BT são de menor que as das redes industriais pesadas de energia e raramente excedem 100 Joules. O único caso realmente perigoso é o de um raio direto sobre uma linha próxima à instalação,

Os modernos pára-raios de BT baseados no uso de varistores com altas energias de dissipação nominais permitem uma proteção efetiva de todos os sistemas de BT e equipamentos

ajustante do ponto de instalação do pára-raios. Um curto-circuito à terra pela falha do pára-raios pode ser evitado pela instalação de um fusível entre a linha e o pára-raios ou a falha pode ser detectada por um termistor fixado no varistor que comanda um circuito de alarme ou desligamento. O cabo do pára-raios precisa ser conectado pelo caminho mais curto possível à massa do quadro de distribuição, ou seja ao TAP e não ao eletrodo de aterramento, que está normalmente muito afastado. O engenheiro de instalação tem praticamente somente um meio de proteger a instalação contra sobretensões que é a instalação de dispositivos de limitação de sobretensões nos condutores do circuito de alimentação. As sobretensões que surgem nas redes públicas de BT são de menor que as das redes industriais pesadas de energia e raramente excedem 100 Joules. O único caso realmente perigoso é o de um raio direto sobre uma linha próxima à instalação,

Os modernos pára-raios de BT baseados no uso de varistores com altas energias de dissipação nominais permitem uma proteção efetiva de todos os sistemas de BT e equipamentos a jusante do ponto de instalação do pára-raios. Um curto-circuito à terra pela falha do pára-raios pode ser evitado pela instalação de um fusível entre a linha e o pára-raios ou a falha pode ser detectada por um termistor fixado no varistor que comanda um circuito de alarme ou desligamento. O cabo do pára-raios precisa ser conectado pelo caminho mais curto possível à massa do quadro de distribuição, ou seja ao TAP e não ao eletrodo de aterramento, que está normalmente muito afastado.

2.4 Perturbações de AF por indução

Em AF, convencionalmente acima de 1MHz, os fenômenos de interferência tornam-se consideravelmente mais complicados. Os condutores de potência tornam-se antenas eficientes, e os campos eletromagnéticos ainda que fracos produzem interferência considerável, todos os cabos são afetados e alguns podem ainda entrar em ressonância. Os fenômenos em AF são severos, frequentes, difíceis de analisar e são motivos para reconsiderar as práticas estabelecidas para instalação da fiação. A indutância dos cabos é um problema mais importante em AF do que em BF. A indutância linear de uma estrutura condutora praticamente reta é aproximadamente $1 \mu\text{H/m}$.

Além disso uma interligação de um comprimento excedendo $1/30$ de um comprimento de onda torna-se praticamente incapaz de assegurar um equipotencialidade entre duas massas interligadas. Acima de $1/30$, um condutor torna-se uma efetiva antena radiante mas, sendo radiante, ele deixa de se comportar como um condutor equipotencial. O comprimento de onda λ correspondente a 1 MHz é 300m. Como a distância entre um equipamento e o terminal de aterramento principal (TAP) é geralmente maior que 10m, alguém pode deduzir que a natureza e qualidade do aterramento não terá consequência para frequências superiores a 1 MHz. Há uma regra simples: um condutor grande é bom mas um condutor menor é melhor. Considere-se que o maior problema para os especialistas em CEM são as perturbações em AF de modo comum em cabos. A redução das perturbações em modo comum em cabos de AF pode ser obtida por uma das três táticas a seguir:

- 1 - efeitos de atenuação: interligação fechada (em malha) por condutores de equipotencialização,
- 2 - filtros entre os condutores e massas mecânicas de cada equipamento,
- 3 - ferrites em cabos "problemáticos".

Um circuito elétrico, por exemplo, um cartão suportando chips, etc. não deve nunca ser deixado "flutuando" em relação ao seu envoltório condutor, uma condição que deve ser evitada a qualquer custo na presença de interferência em AF. As capacitâncias naturais ("parasitas") dos componentes do cartão, inferiores a 1 pF, podem ser suficientes para causar interferência com um circuito eletrônico. Uma excelente medida preventiva para limitar variações rápidas de tensão entre um circuito eletrônico e seu ambiente é conectar o terminal 0 V do filtro (referência de tensão) ao envoltório metálico, estando este ligado ou não à terra.

Pulsos (spikes) de AF

A faixa de frequências que apresenta as maiores dificuldades, tanto na radiação como na proteção contra a energia radiada, está na banda de 30 a 300 MHz, também conhecida como banda "métrica". A maioria dos arcos elétricos, faíscas, descargas eletrostáticas (como contatos secos, starters de lâmpadas fluorescentes, operação de disjuntores e outros dispositivos de manobra de sistemas de AT) geram pulsos que são conduzidos em modo comum e radiados. O espectro de radiação cobre a banda de VHF mencionada acima.

A amplitude dos pulsos de corrente pode atingir dezenas de ampères. Os circuitos digitais são particularmente sensíveis a esses pulsos. Um método altamente recomendável de conseguir uma proteção satisfatória e a compatibilidade eletromagnética de uma instalação é respeitar a imunidade padronizada pela norma IEC 1000-4-4.

Perturbações mantidas (de longa duração)

Conversores de frequência, controladores de velocidade eletrônicos, pontes de Graetz e escovas de motores com comutadores também geram perturbações de AF e em modo comum. O valor de pico dessas perturbações pode atingir e mesmo superar 1A. Uma solução é instalar um filtro eficiente na fonte de potência e ou no equipamento perturbado. Outra solução é o uso de cabos de potência que tenham uma blindagem, que seja aterrada nas duas pontas.

Para fontes de interferência pesada, é recomendado formar uma malha de interligações equipotenciais de todas as massas nas vizinhanças da vítima (equipamento perturbado), em particular, todos dutos metálicos, bandejas metálicas, bandejas etc.,

A propagação da energia elétrica não é só confinada só aos condutores. Ela pode ser feita no espaço sem um material de suporte. Essa propagação é referida como de campos ou ondas eletromagnéticas, ou ainda ondas Hertzianas. Elas têm uma componente E - campo elétrico em V/m, e uma componente H - campo magnético em A/m. Esses campos radiados, quando encontram um condutor (que funciona como antena receptora) dão origem a pequenas fems e correntes no material condutor, ou seja em forma de uma perturbação conduzida. Para os cabos dos circuitos, essas perturbações são em modo comum. É possível proteger os equipamentos contra esses campos radiados por meio de uma gaiola de Faraday ou, frequentemente, por filtros passa-baixo.

2.5 Campos magnéticos de BF

Nas baixas frequências só os campos magnéticos podem causar problema. Seja impulsivo (curto-circuito, raio, flash eletrônica...) ou mantido, o campo H é geralmente produzido junto ao equipamento afetado. A medição da intensidade do

campo exige apenas uma sonda em anel (loop) e um osciloscópio. O campo magnético em BF não se propaga mas se mantém nas proximidades da sua origem (transformador, ou motor de indução, por exemplo) e sua intensidade decresce rapidamente com a distância (D) da fonte na razão de $1/D^3$.

Em grandes distâncias o decréscimo é menor, e se aproxima a $1/D^2$. Este último valor é usado quando se considera o campo em torno de barramentos e linhas aéreas. A intensidade do campo magnético de uma corrente retilínea com retorno a uma distância infinita (como o devido aos raios) decresce de acordo com $1/D$. Fontes severas de campos magnéticos são, por exemplo, as correntes de sequência zero nos cabos de alimentação de um esquema TN-C. Os laços formados entre os condutores fase e correntes desviadas do condutor neutro (pelas ligações de equipotencialização) são às vezes muito grandes e as correntes podem atingir muitos ampères.

Durante um curto-circuito, a perturbação é evidentemente maior e em um certo grau depende da intensidade da corrente de falta. A consequência mais comum de um campo magnético de BF é a distorção da imagem de um CRT (tubo de raios catódicos) com saltos e movimentos em ondas da imagem (e ainda mudança de cor). Um CRT não blindado., um microscópio eletrônico, um espectrômetro de massa ou uma cabeça de leitura magnética, toleram algo em torno de 1A/m em BF. Além disso, os laços "de fuga" formados entre conexões equipotenciais às massas são associados (naturalmente) com as correspondentes tensões.

É muito difícil a blindagem magnética de um campo magnético de frequências inferiores a 10 kHz. A solução mais fácil é colocar a vítima fora do alcance do campo perturbador. Usar uma blindagem com chapa grossa pode reduzir a intensidade do campo por um fator da ordem de 10.

2.6 Campos magnéticos de AF

Em altas frequências os campos E e H formam ondas eletromagnéticas indivisíveis no espaço. A uma distância superior a um sexto do comprimento de onda de uma fonte pontual, a relação E/H tende a $120 \pi = 377$ ohms. É suficiente, por isso, dar o valor de um componente para deduzir o valor da intensidade do campo. Numerosos aparelhos industriais, científicos e médicos usam mais frequentemente rádio frequência na faixa de 1 MHz a 3 GHz .

Os transmissores de rádio têm potência radiante variando desde vários miliwatts para os aparelhos de rádio controle, a vários megawatts de pico para os sistemas de radar. Walky-talkies, que podem ser usados para transmissão muito próximos a equipamentos eletrônicos, são fontes perturbadoras, particularmente para circuitos analógicos de baixa potência.

Um meio efetivo de reduzir a intensidade do campo de um rádio transmissor "visto" por ETIs (equipamentos da tecnologia da informação) é usar antenas tão afastadas quanto possível dos ETIs e localizadas a maior altura atingível. Desde que este princípio não pode ser usado no caso dos transmissores portáteis, seu uso deve ser restrito às áreas suficientemente afastadas dos ETIs para assegurar uma operação sem perturbações destes últimos.

Os equipamentos eletrônicos raramente são afetados por campos da ordem de 1A/m.

Entretanto, campos de intensidades superiores a 10 A/m não podem, muito frequentemente, ser tolerados. A faixa de

frequências que dá as perturbações mais severas é a de VHF.

Uma corrente de modo comum, de AF, em um cabo sempre produz uma onda radiada. A recíproca também é verdadeira, isto é, uma onda de AF atingindo um cabo produz nele uma corrente de modo comum. Os métodos de proteção contra campos de AF são os mesmos adotados contra as perturbações por condução nas mesmas frequências.

O efeito de antena de cabos conduzindo correntes de AF por acoplamento em modo comum constitui o principal problema da CEM.

Para fazer corretamente a fiação de um sistema eletrônico ou corrigir uma instalação não satisfatória, é suficiente, frequentemente, aplicar algumas regras elementares simples.

O fator mais importante, sabe-se por experiência, é o conhecimento claro do fenômeno e a identificação de seus limites. Tornou-se necessária a observação estrita de regras tradicionais para obter instalação e fiação corretas. Este é o preço a pagar para se conseguir a CEM em sistemas eletrônicos modernos. Muitas práticas que são satisfatórias em BF têm demonstrado ser pobres ou catastróficas em AF. Certas opções de fiação podem ser escolhidas com segurança. A interligação de todos os terras não funcionais de um único local é um exemplo. Fatores que são sempre favoráveis devem se tornar prática padronizada.

As expressões "terra", "placa de terra", "haste de terra" se referem todas a um condutor enterrado e em contato íntimo com o solo. A palavra "massa" se refere a partes metálicas de equipamentos (elétricos ou não - como as tubulações de água) as quais, em condições normais não conduzem corrente. Condutores de interligação, usados para interconectar as massas são também referidos como "massas". Ainda que todas as massas nas práticas normais de instalações em BF sejam conectadas à terra, as duas palavras, "terra" e as outras equivalentes citadas acima não devem ser confundidas com "massa". "Massa" é comumente chamada "ground" em alguns países.

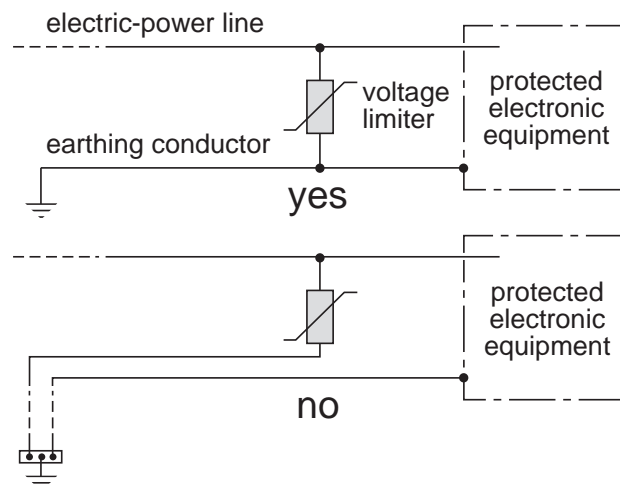
3.0 A função do aterramento

A função básica de um eletrodo de terra é manter todas as massas de uma instalação em uma tensão próxima de zero, seja a fonte aterrada ou não. Consegue-se isto em uma instalação de projeto adequado, ainda que ocorra uma condição de falta nos seus circuitos (que poderia elevar o potencial das suas massas), na rede de alimentação, ou em outras fontes externas à instalação. A função do aterramento, portanto, é proteger as pessoas contra os perigos de eletrocussão. A severidade de um choque elétrico é função não só da corrente mas também do seu caminho ao passar pelo corpo. As regras da IEC para proteção contra choques elétricos estabelecem valores seguros de tensão (denominados limites convencionais de tensão) acima dos quais as massas são consideradas inaceitavelmente perigosas. Para sistemas de potência em 50 Hz ou 60 Hz, esses valores são 50 Vef., para locais secos e 25 Vef. para locais úmidos, como banheiros e lavanderias.

Reconhece-se que nem sempre é possível obter uma resistência de terra de baixo valor para um eletrodo de terra. Além disso, esse valor é raramente constante, pois depende largamente da umidade do solo e por isso apresenta variações sazonais. Um fator essencial na manutenção da

segurança das pessoas no evento de uma alta resistência de terra é o conceito de equipotencialidade. Se, todas as massas estiverem a um mesmo potencial (ainda que perigoso), e a terra embaixo do prédio estiver a um potencial similar, uma pessoa pode tocar sem risco uma ou várias massas ao mesmo tempo. É por isto que aparelhos elétricos portáteis com cabos longos (como cortadores de grama) que permitem ao usuário deixar o ambiente equipotencial da casa precisam ser com nível de isolação da classe II (ou seja, com isolação dupla). As assim chamadas correntes de fuga normais (nenhuma isolação é perfeita) também incluem as pequenas correntes capacitivas da fiação para terra. Estas correntes e as correntes de curto-circuito à terra, passam principalmente pelos condutores de proteção PE (coloridos com tiras amarelas e verdes) e finalmente voltam para a subestação fonte, via terra (no sistema TT) ou via terra e (principalmente) pelo condutor neutro em paralelo (sistema TN). Como no sistema TN, praticamente todas correntes de falta (e de fuga) retornam à fonte pelo Neutro, a resistência do eletrodo de terra da instalação não é de importância primária (salvo se os pára-raios forem ligados a ele). Para a proteção de componentes eletrônicos, e fortemente recomendado que as correntes de modo comum que entrem no prédio por cabos externos sejam direcionadas à terra no ponto de entrada. Uma simples isolação galvânica não é geralmente suficiente: a suportabilidade a sobretensões de um transformador de isolação galvânica é inferior a 10 kV. Este valor é insuficiente em dias de fortes tempestades elétricas. Torna-se necessária a instalação de dispositivos não lineares limitadores de tensão.

É importante que todos os canos metálicos, dutos, etc. sejam ligados à terra na entrada da instalação. Esta prática pode



evitar a circulação de correntes (de fora do edifício) nos condutores de interligação das massas. A instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões precisa ser realizada com a menor impedância comum possível entre o circuito externo e o circuito a ser protegido. O comprimento do condutor em série com o limitador de tensões precisa ser conseqüentemente o mais curto possível.

A tensão residual "vista" pelo equipamento protegido é então independente da impedância do terra.

Ainda que com um "mau" terra é possível proteger efetivamente um equipamento contra sobretensões externas: é necessário e suficiente conectar o limitador de tensão à massa do equipamento usando o mais curto comprimento de cabo possível.

«estrela».

A maioria dos maus funcionamentos dos dispositivos eletromagnéticos é erroneamente considerado como devido a problemas de software ou erros humanos, são na verdade devidos a um nível suficiente de equipotencialidade entre unidade interconectadas (sondas, cartões, comandos). A equipotencialidade dos equipamentos e suas massas é um objetivo funcional. Desde que as interferências circulem pelas massas e não pelos circuitos elas não serão perigosas.

Por outro lado, se as massas não estiverem ao mesmo potencial e forem conectadas, por exemplo, em estrela*, as correntes das interferências irão circular pelos caminhos disponíveis, isto é, pelos cabos de sinal.

Interligar as massas com condutores formando uma malha fechada de baixa impedância de interligação do sistema é a única maneira econômica para assegurar um nível satisfatório de equipotencialidade. Instalar todos os ETIs em um arranjo em Gaiola de Faraday (uma sala envolvida por uma malha de condutores) seria tecnicamente ideal, mas geralmente não é justificável economicamente.

Uma tensão de toque pode aparecer em um nível perigoso durante uma falta no sistema se a resistência dos condutores de interligação não for suficientemente baixa.

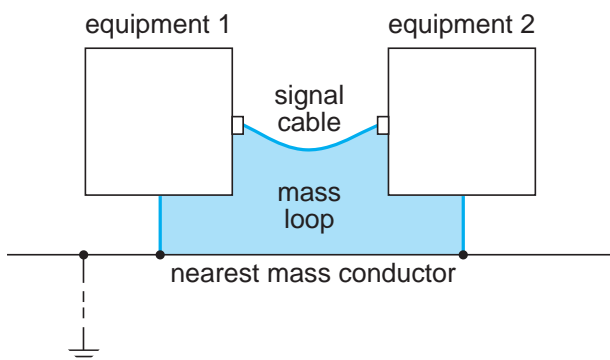
Em alguns casos pode ser necessário instalar condutores de equipotencialização adicionais em paralelo para manter as tensões de toque abaixo do limite convencional da IEC. Deve-se notar que o acesso simultâneo a duas massas é ilegal, ainda mais se elas pertencerem a duas instalações diferentes conectadas a dois sistemas de terra diferentes e não interconectados. O respeito às regras de segurança é obrigatório, mas ele não assegura a satisfação das condições impostas pela CEM.

De fato, o risco de eletrocussão só existe se houver uma tensão alta que permaneça um longo tempo entre duas massas adjacentes.

Aterramentos em estrela, por exemplo, garantem a segurança das pessoas, quando as normas relevantes são respeitadas, mas não a operação satisfatória de uma instalação que inclua ETIs.

O melhor meio de assegurar uma operação satisfatória e duradoura de uma instalação é estabelecer um alto grau de equipotencialidade.

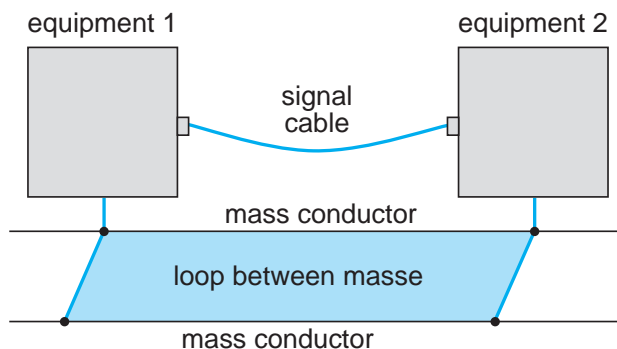
*Isto é, por vários condutores conectados radialmente à barra



principal de aterramento, parecendo o conjunto uma

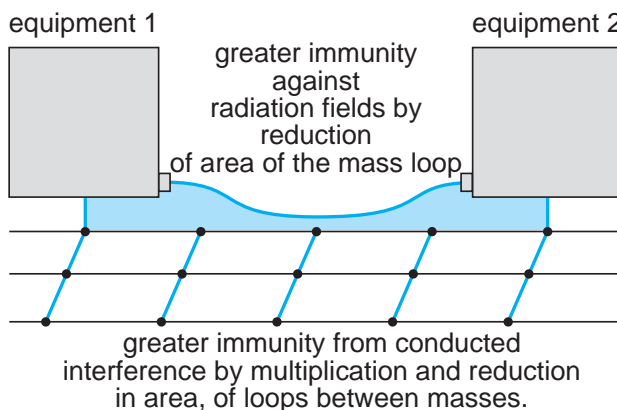
3.1 Laços (loops) de massa e entre massas

Um laço de massas é a área incluída entre um cabo funcional (cabo de medição, de controle, de alimentação de potência, do sistema de rede local) e o condutor de massa (condutor de interligação das massas, geralmente o condutor PE mais próximo). Há, portanto tantos laços de massa quantos sejam os cabos, o que é inevitável, sejam os condutores isolados galvanicamente ou não. Uma isolamento galvânica reduz as correntes de BF, sem entretanto reduzir a área do laço. Um laço pode oscilar fortemente em AF, de modo que os laços



envolvendo grandes.

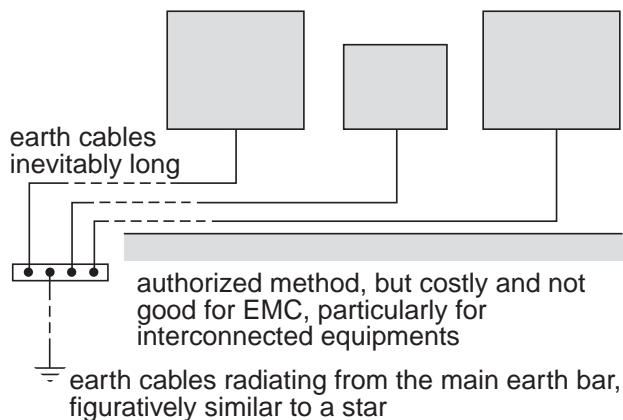
Se uma corrente circular por um laço de massa tal como uma corrente de modo comum pode, ou superpor um "ruído" (interferência) nos cabos de sinal (em modo diferencial, por conversão de modo comum para modo diferencial) ou perturbar os circuitos eletrônicos em cada extremidade. O risco pode ser tanto para radiação de, como para recepção por um laço. Os estágios de saída dos circuitos eletrônicos são tão sensíveis às interferências como os estágios de entrada e são mais difíceis de filtrar. As áreas envolvidas por condutores de massa não devem ser confundidas com os laços de massas referidos acima. É preferível deixar as correntes parasitas se propagar pelas massas do que pelos cabos de sinal. Esses laços entre condutores massas são chamados "laços entre massas".



As massas de todos os equipamentos que trocam dados entre si devem ser interligadas por condutores de massa para reduzir a diferença de potencial entre suas massas, que pode ser significativa. Um método de incrementar a equipotencialidade

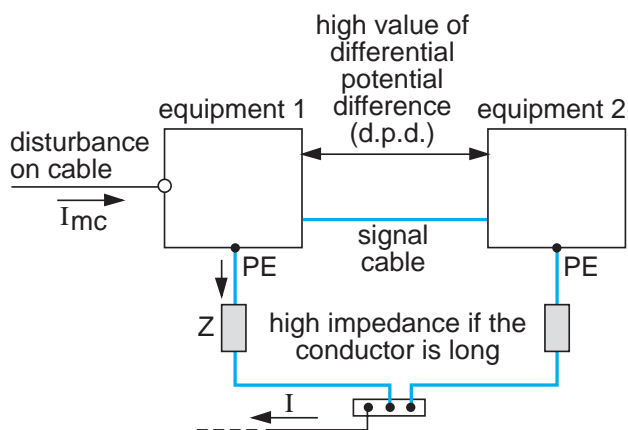
é interconectar as massas, havendo ou não troca de informações entre os equipamentos respectivos. Um laço de massa é sempre desfavorável e sua área precisa ser reduzida ao mínimo possível, para reduzir tanto quanto possível os efeitos de interferência causados pelos campos perturbadores. Por outro lado é de boa prática, sempre aumentar o número e reduzir as áreas dos laços entre massas.

Quanto mais essa política for aplicada mais efetivo será o



estágio da equipotencialidade, tanto em BF como em AF. É sempre benéfico conectar as massas a uma malha de condutores de massa de interligação, independente da natureza dos equipamentos em causa.

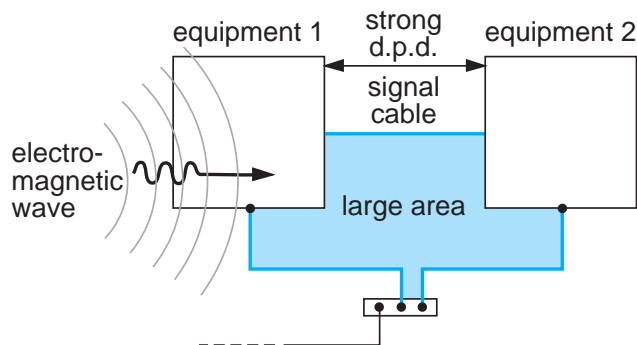
3.2 Unicidade da rede de massas



A massa precisa ser única para ser equipotencial. Há três métodos de interligar as massas que preservam essa unicidade:

1 - Conexões de aterramento em "estrela": cada equipamento tem seu próprio cabo de aterramento; todos os cabos de aterramento vão para uma única barra de aterramento.

A justificação dessa filosofia é muito simples: quando um equipamento escoar uma corrente de fuga para a massa, todos os restantes equipamentos permanecem no mesmo potencial

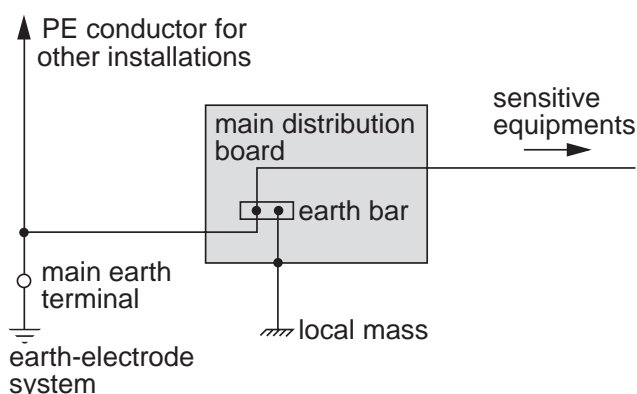


de terra. Mas potencial de "terra" não tem significado físico na prática da eletrônica, pois todos os potenciais são relativos uns aos outros, e o conceito de zero absoluto (ou "terra remoto") torna-se abstrato. Considera-se em geral que a configuração em estrela do aterramento elimina o problema da impedância comum. É exatamente o contrário! Esse aterramento na verdade, aumenta a impedância comum (isto é, forma um ponto comum de acoplamento) entre equipamentos interconectados.

Aterramento em "estrela" pode criar uma impedância em comum entre dois equipamentos interconectados. Considera-se às vezes que o aterramento em "estrela" suprime os laços de massas. Entre dois equipamentos interconectados, esse não é evidentemente o caso; a área envolvida pela laço de massas pode, de fato, ser considerável. Um campo eletromagnético devido, por exemplo, a uma descarga atmosférica, induzirá tensão no laço de massa maior que qualquer outro método de aterramento.

Este método de aterramento criado há muito tempo, só pode ser usado agora quando os equipamentos estão e permanecerão isolados uns dos outros. O método pode ser aplicável só a equipamentos eletrônicos analógicos (em oposição aos digitais) com sensores flutuantes, e com os circuitos eletrônicos completamente isolados uns dos outros.

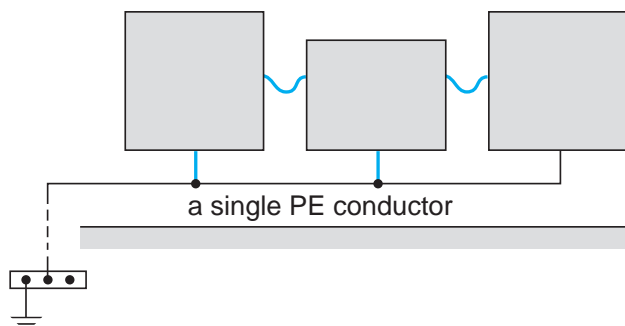
Estes casos estão se tornando cada vez mais raros. Com a



generalização da transmissão de dados em grandes distâncias, redes locais, periféricos compartilhados, e em geral troca de sinais entre equipamentos, o aterramento em estrela deve ser abandonado. Mesmo que a ligação de cada equipamento à terra feita por um condutor individual não seja prejudicial, continua sendo um método caro que requer grandes quantidades de cobre e muita horas de instalação.

A única aplicação razoável do arranjo em estrela do aterramento (de fato, conexão à massa) é o cabo de ligação

entre um equipamento e a tomada de força, ou o quadro de distribuição mais próximo. Assim, em um ambiente de ADP é razoável usar o condutor PE fio verde-amarelo dos circuitos de alimentação para conectar cada equipamento ao quadro geral de distribuição localizado na sala. Da barra geral de terra do quadro, sairá um único cabo de proteção para o eletrodo de aterramento principal da instalação. Este condutor pode ser



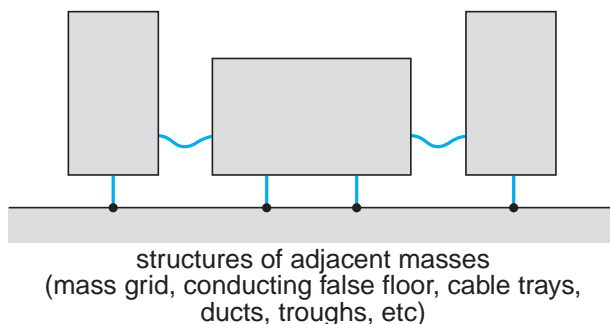
comum a outros dispositivos e pode, com vantagem, ser ligado a massas vizinhas.

Ainda que seja instalada um grande fonte de interferência no mesmo ambiente que o equipamento sensível, um aterramento separado para este será prejudicial e não é recomendado. No mínimo, é desejável alimentar os dois sistemas incompatíveis por cabos separados desde a rede de alimentação de força. Em qualquer caso é favorável a ligação das massas em malha. Essa malha de condutores PE tem o mérito de evitar laços involuntários que podem se tornar catastróficos se não forem eliminados.

Sistemas de aterramento em estrela podem ser aceitos somente para instalações de baixa-frequência que são e permanecerão isoladas de qualquer outra instalação.

2 - Conexão ao condutor PE mais próximo: um único condutor de proteção (PE), associado a vários equipamentos.

Usando este esquema de fiação, os laços de massa têm uma área pequena e a impedância comum entre equipamentos interconectados é menor que em um esquema de aterramento em estrela. Este método econômico é também recomendado por razões de segurança. É fácil provar que a tensão de toque entre duas massas ligadas ao mesmo condutor PE permanece inferior ao valor da tensão



convencional (UL).

O risco de usar o mesmo condutor PE para aterrar dois

sistemas, um "ruidoso" e outro sensível não é desprezível. Ainda que a baixa impedância dos condutores PE e o bom nível de imunidade à interferência em BF de modo comum limite os riscos, as correntes de AF geradas por fontes altamente poluidoras (como conversores de potência) não podem ser bem dissipadas por um único PE. Nestes caso é necessário instalar condutores PE suplementares na forma de uma rede em malha.

3 - A ligação mais curta à massa mais próxima Este terceiro método de ligação à massa mais próxima é melhor que os descritos anteriormente. Ele é baseado em uma conexão das massas em malha. As áreas dos laços de massa são reduzidas ao mínimo e o grau de equipotencialidade das massas é excelente.

Nota: com referência à segurança das pessoas este tipo de ligação local não é em geral um substituto aos condutores PE. É apropriado, portanto, superpor os métodos 2 (ou ainda 1) para segurança das pessoas e 3 para a CEM.

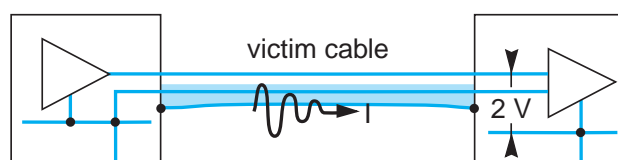
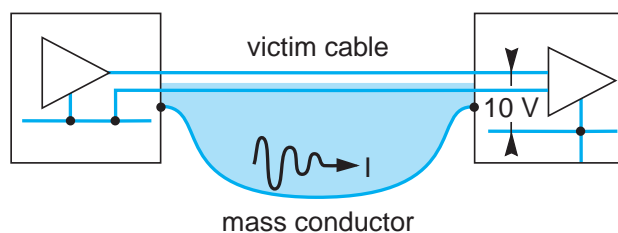
A interligação das massas em malha é ainda mais importante quando a área coberta pela instalação é grande, com longos cabos de interligação, ou quando os equipamentos são divididos entre vários andares.

A interligação das massas em malha não reduz a necessidade de alimentar os equipamentos sensíveis por cabos distintos daqueles utilizados para alimentar cargas poluidoras.

Entretanto, o uso de cabos distintos de alimentação não significa ligar as massa em estrela.

Os comprimentos dos condutores de proteção (PE) significa que, em AF, sua impedância é geralmente muito alta para melhorar efetivamente a situação de equipotencialidade. Por exemplo, um condutor PE de 100m de comprimento é incapaz de conduzir correntes de frequências superiores a 100 kHz. Sozinhos os condutores de aterramento e PE não são suficientes para garantir a CEM de uma instalação.

São também necessários condutores adicionais e interligações curtas entre as massas. Cabos PE, ainda que longos, e curto-circuitados em uma ponta por massas interligadas em malha, funcionam corretamente em BF para proteção das pessoas. Não deve ser retirada nenhuma interligação entre as massas e nenhum condutor de proteção ainda que pareça ou mesmo que eles tenham se tornado redundantes formando uma malha (interconexão fechada de equipamentos para formar uma "malha") de todas as massas adjacentes. Um condutor PE não deve ser considerado um condutor de aterramento, mas um condutor de interligação,



ou um condutor de interligação-aterramento cuja principal função é assegurar que a UL (a máxima tensão de toque admissível) não será nunca excedida. Além disso, não deve haver nunca mais que um sistema de aterramento por instalação (ou por local) semelhante ao sistema de massas que deve ser único e ligado ao único sistema de aterramento. Se este critério não for adotado, aparecerão problemas de CEM pela inevitáveis ligações entre instalações adjacentes (entradas de controle, vídeo, alarmes, medidas de segurança, etc.).

O efeito atenuante de uma estrutura condutora (massa) é definida pela relação entre a amplitude da interferência de modo comum que aparece em um cabo instalado em um local distante de quaisquer massas e a amplitude da interferência no mesmo cabo devido à mesma perturbação, mas com o cabo instalado junto (preso firmemente) à massa ao longo de seu comprimento.

O efeito atenuante é uma dos fatores chaves em CEM, sendo efetivo e não muito caro. De modo a trocar sinais em boas condições, isto é limitando a interferência captada pelos cabos de sinal, é importante reduzir o acoplamento de modo comum. Qualquer estrutura metálica, próxima a , isto é, em contato e em paralelo ao longo (de uma ponta a outra) de um cabo de sinal, pode proporcionar dois efeitos favoráveis:

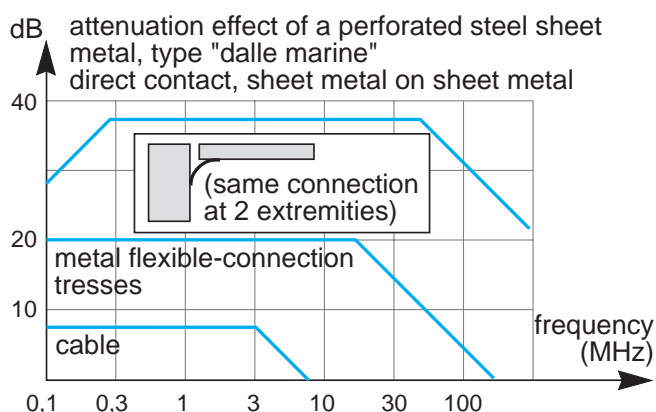
1 - Uma interligação das massas em malha mais efetiva (mais fechada)

Para corrente c.c. a malha não atua como um atenuador; seu efeito é reduzir a resistência entre as massas e não proporcionar um efeito de blindagem. O efeito atenuante da malha é independente da proximidade entre os cabos e a massa.

2 - Um efeito atenuante (blindagem). O efeito de proximidade adiciona-se ao mencionado acima, se a palavra "impedância" substituir "resistência". Ele é conseguido pela conexão de equipamentos os quais estão interconectados à massa das estruturas metálicas que estão próximas dos cabos de sinal. O benefício é uma blindagem eficiente que não custa praticamente nada. O efeito atenuante sendo devido diretamente à indução mútua, não há atenuação em c.c., como dito acima (em 1). Deve-se ter em mente que qualquer cabo é potencialmente uma excelente antena de banda larga, especialmente na faixa métrica.

Um método simples e eficiente e barato de reduzir sua capacidade de radiar, consiste em instalar o cabo tão próximo quanto possível de uma estrutura metálica ao longo de seu comprimento, isto é, junta uma bandeja, duto metálico, viga mestra estrutural, etc. O efeito atenuante de uma massa condutora colocada próxima de um cabo de sinal pode ser explicado como segue. Na ocorrência de uma perturbação em onda eletromagnética, é induzida uma corrente na massa condutora. Esta corrente gera, pela lei de Lenz, um campo magnético que atua em sentido oposto ao campo que produziu a corrente. Um cabo de sinal próximo à massa será afetado pela diferença entre os dois campos denominado campo residual que é evidentemente de intensidade muito menor que a do campo original. Um cabo de sinal muito próximo, de ponta a ponta, de uma massa condutora é menos exposto ao tipo mais severo de perturbação que é a de modo comum.

Os efeitos atenuantes podem ser mais efetivos se as massas forem dispostas de modo a envolver, sempre que possível, os cabos a serem protegidos. Deste modo, uma blindagem metálica entrelaçada, incorporada aos cabos de sinal e



interligada às massas, protege os condutores envolvidos contra frequências acima de 1 MHz com um fator de atenuação superior a 300. É difícil e caro blindar todas as interligações em uma instalação mas é fácil escolher rotas para os cabos que proporcionem boa atenuação. É suficiente fixar, de ponta a ponta, os cabos a massas condutoras.

Essas massas devem ser interligadas com continuidade elétrica entre si e a todas as ferragens estruturais próximas. A qualidade (baixa impedância) das ligações de interconexão é de importância primária. A mais eficiente é a de contato direto entre duas chapas metálicas.

É recomendável conectar, espaçadamente, as bandejas de cabos às estruturas condutoras do edifício ao longo da rota de cabos.

O ideal, em um ambiente industrial, é instalar três bandejas de cabos, uma para medição e funções similares, outra para circuitos de controle e sinalização e outra para os cabos de força. Um condutor de cobre proporciona um fator de atenuação da ordem de 5 se instalado ao longo de todo o comprimento e próximo ao cabo de sinal a ser protegido. É portanto vantagem associar cabos de sinal com cabos de interligação em canaletas de cabos (por exemplo, entre dois edifícios). Isto ainda é verdadeiro ainda que os terras sejam interligados em outro lugar. É sempre possível adicionar um condutor de massa adjacente a um cabo de sinal particularmente sensível, se necessário. O cabo de massa é designado "cabo de acompanhamento".

Um cabo enterrado conduzindo uma corrente alternada de modo comum cria um campo magnético no solo envolvente.

Este campo (concêntrico) dá origem a correntes de Foucault no solo e a energia magnética é dissipada sob a forma de calor. As correntes de modo comum são amortecidas por este efeito, que não é exatamente o mesmo descrito acima, mas é análogo a um transformador com uma carga resistiva. Este amortecimento é mais efetivo para os trens de ondas amortecidas (ou "bursts"). As correntes de Foucault no solo aumentam o grau de amortecimento.

Para resolver a maioria dos problemas de CEM, é suficiente respeitar (rigorosamente) algumas poucas regras de fiação. O primeiro requisito é decidir a que grupo pertence cada cabo. Na maior parte das aplicações práticas ele se inclui nas classes a seguir.

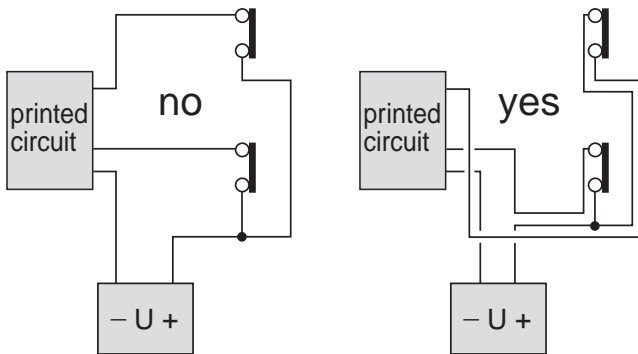
Grupo nº 1 - Circuitos de medição (sinais analógicos de nível baixo) e alimentação para sondas analógicas. Este grupo é sensível.

adequadamente instalados são imunes a "cross-talk".

Grupo nº 2 - Circuitos digitais. Este grupo também é sensível (especialmente a impulsos e bursts). Ele pode também interferir com os circuitos do grupo 1.

Grupo nº 3 - Circuitos de indicação e controle incluindo relés tudo-ou-nada (TON). Este grupo irá interferir com os grupos 1 e 2.

Grupo nº 4 - Cabos de alimentação de força. Estes cabos são da rede pública de distribuição, ou de fonte privada (fonte de emergência, por ex.). As correntes deste nível são



chaveadas e cortadas (por vários equipamentos eletrônicos de potência como retificadores, inversores e outros...). Em operação normal estas funções geram componentes de AF de correntes e tensões nos cabos de alimentação. Estas correntes e tensões constituem um ambiente altamente poluidor para os grupos 1, 2, e 3. É recomendável que os cabos e fios de cada grupo sejam de cores identificáveis e diferentes dos outros grupos.

Regra nº 1 - Os condutores de "ida" e "volta" precisam sempre ser colocados tão juntos quanto possível. Esta regra geral se aplica também aos condutores de alimentação de força. Não alimentar radialmente (em estrela) dois circuitos não isolados que troquem sinais. É necessário, até para os sinais dos relés TON com um condutor comum, "acompanhar" os condutores ativos com ao menos um condutor comum por cabo ou por cabo múltiplo. Para sinais analógicos ou digitais, a precaução mínima básica é usar cabos de **dois condutores (ou em pares)**

Regra nº 2 - Todos condutores interligando circuitos internos, cabos, etc. devem ser fixados em contato íntimo com estruturas equipotenciais constituindo massa elétricas. Esta medida assegura o benefício da atenuação de interferência descrita acima, praticamente sem custos. Assegura que fios ou cabos não usados possam se mover indevidamente em um equipamento.

Regra nº 3 - É recomendável usar cabos blindados para circuitos com ruídos ou circuitos sensíveis..

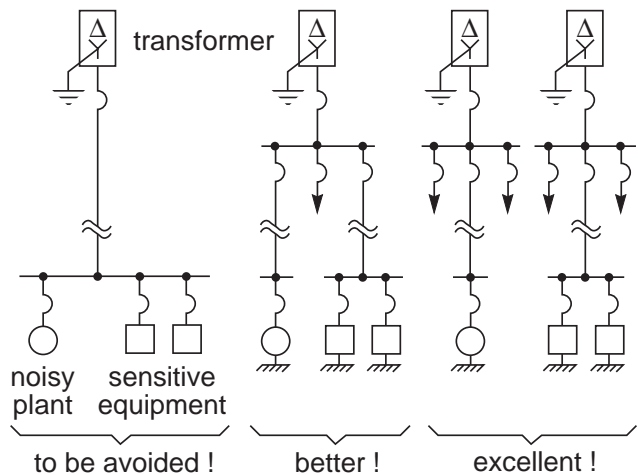
A blindagem é uma proteção efetiva contra ruídos de AF, desde que ela seja ligada à massa em ambas as pontas do cabo. É possível justapor dois cabos de grupos diferentes, desde que ao menos um (de preferência ambos) cabo(s) seja(m) blindado(s) e ligados à massa em cada ponta por uma cordoalha flexível de fios trançados. Cabos blindados

Regra nº 4 - Somente condutores do mesmo grupo podem ser instalados no mesmo cabo ou no mesmo feixe.

Para fitas chatas de cabos múltiplos, os condutores conduzindo sinais analógicos devem ser separados dos que conduzem sinais digitais por ao menos dois condutores ligados à massa de cada cartão. Para condutores digitais ligando um fio de um par ou de um cabo do tipo fita chata, ao zero de tensão em cada ponta, reduz-se o cross-talk de AF por um fator entre 5 e 10. Mais ainda, é prejudicial usar um cabo múltiplo como cabo de ligação entre Grupos diferentes. Na prática, espaçar os cabos de aproximadamente 30 cm é suficiente, ainda que em um ambiente isolado, para reduzir o cross-talk a um nível aceitável. Cruzar dois cabos de diferentes grupos proporciona o menor acoplamento mútuo se o ângulo de cruzamento for 90°. Esta prática deve por isso ser seguida como rotina.

Regra nº 5 - Qualquer condutor livre(não usado) dos grupos nº 2 ou nº 4 deve ser sempre conectado à massa do chassis em ambas as pontas. Por esse método, o efeito de atenuação pode atingir um fator superior a 2. Estas conexões à massa devem ser facilmente removíveis para liberar qualquer condutor que seja necessário posteriormente. Para o Grupo nº 1 (com frequência e tensão muito baixas) podem ser uma desvantagem e não são recomendadas. O ruído em frequência industrial pode causar interferência inaceitável.

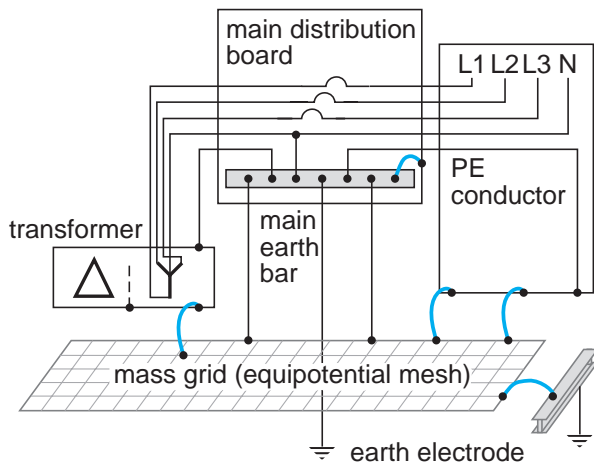
Regra nº 6 - Os cabos do Grupo nº 4 não precisam ser blindados se eles forem filtrados. É geralmente necessário



filtrar os cabos de alimentação de força na entrada do equipamento. Por outro lado, é difícil filtrar cabos de potência alimentando controladores de variação de velocidade, especialmente quando os picos de corrente são elevados. Torna-se necessário blindar os cabos por malhas metálicas de fios trançados ou por um tubo metálico ligado à massa em ambas as pontas. O caso oposito também é verdadeiro: um cabo bem blindado não necessita filtragem. Em um plinto comum, um cabo blindado de sinal não tem praticamente problemas de interferência com cabos vizinhos de alimentação de força.

Regra nº 7 - Equipamentos com ruídos devem ser alimentados por cabos de força separados.

Esta regra minimizará os ruídos de modo diferencial do



sistema de alimentação. Esta regra não deve ser confundida com a prática de conexões radiais das massas discutida anteriormente. O condutor neutro só deve ser ligado à massa em um único ponto. Esta é a diferença fundamental entre o condutor neutro e o condutor de proteção(PE).*

* O esquema TN-C usa um condutor PEN para ambas funções e nunca é usado quando a EMC é importante. Desde que os equipamentos recebam suas alimentações de força individuais e isoladas umas das outras, é um prudente alimentar equipamentos diferentes por linhas de força separadas. Em qualquer caso, é vantajoso que as massas (chassis) dos equipamentos sejam todas mantidas ao mesmo potencial: rede de alimentação radial e massas interligadas em malha.

A conexão da barra principal de aterramento (TAP) no quadro principal de distribuição da instalação (ver abaixo) à rede de massas deve ter uma indutância menor que 1 micro-Henry (quanto menor melhor). Um condutor único de 50 cm ou dois condutores paralelos (não muito próximos) de 1 m cada, etc.

Fonte de alimentação e conexões à massa de um equipamento elétrico

Para alimentar uma instalação, é vantajoso localizar o transformador tão próximo quanto possível da carga, não esquecendo de levar em conta o efeito dos campos magnéticos estáticos de indução.