

Proteção contra sobretensões e análise de Compatibilidade Magnética nas instalações elétricas em baixa tensão.

Keide Matumoto

Universidade Federal de Uberlândia
Departamento de Engenharia Elétrica
Av. Universitária s/n Campus Santa Mônica
Fone: (034)-2352888- ramal 4166 - Fax (034)236-5099
EMAIL Keide@BRUFU.BITNET
CEP: 38400-902 - Uberlândia - MG

1. Resumo- O artigo objetiva definir procedimentos que devem ser analisados em sistemas de energia, em subestações, sistemas de comunicações, transmissão de dados, etc., para garantir a proteção contra os surtos e a adequada compatibilidade eletromagnética. Os procedimentos propostos consideram todas as características operacionais da instalação, do sistema de aterramento e traçados dos condutores. São propostos métodos para prevenir e garantir a devida compatibilidade eletromagnética, dando proteção contra os surtos e interferências. Tais procedimentos são aplicados para os circuitos de alimentação e de transmissão de sinais.

Abstract This paper proposes some procedures and methods that would improve the overall overvoltage protection and electromagnetic compatibility quality of electrical power systems plants, substations, as well as of communications and transmissions data systems. The proposals take into considerations the interactions of the grounding systems with the way the conductors are disposed into the plants and with some others features an electrical systems exhibits.

2 - INTRODUÇÃO

Tendo em vista o aumento considerável de equipamentos eletrônicos utilizados em nossa dia a dia, tornou-se necessário a garantia de operacionalidade, segurança e confiabilidade de tais equipamentos e de sua respectiva instalação. Observamos que há um grande número de microcomputadores, telefones, fax, eletrodomésticos, aparelhos de áudio, vídeo, etc., sendo utilizados em instalações residenciais, comerciais e industriais e uma rede de comunicações e os sistemas de energia

responsável pelo funcionamento de tais equipamentos e sistemas. Dai a necessidade premente da proteção contra os efeitos da sobretensões originárias da operação de chaveamentos, partida e parada de motores elétricos, circulação de harmônicos e principalmente das sobretensões provenientes das descargas atmosféricas diretas e indiretas.

3. - FONTES DAS SOBRETENSÕES.

As redes de comunicações e a alimentação estão sujeitos a surtos de tensão e corrente causados por descargas atmosféricas diretas e indiretas, chaveamentos ou outros tipos de sobretensões que induzidas podem causar sérios danos. Estes surtos, geralmente podem ser de baixa ou alta frequência. Torna-se necessário especificar uma proteção adequada a fim de resguardar a integridade dos circuitos, manter a continuidade e confiabilidade dos serviços e ainda garantir baixos custos de manutenção. Com o rápido crescimento dos circuitos em estado sólidos, o uso de sistemas de teleprocessamento, controle e sistemas de comunicação de dados, essa proteção passou a ser indispensável. A escolha do tipo de proteção deve estar intimamente ligada ao tipo de sistema ou equipamento a ser protegido. O aspecto fundamental para a proteção a ser considerado é o da segurança que deverá abranger;

- a) usuários;
- b) equipamentos;
- c) rede de comunicação (telefonía, dados, etc.).

d) pessoal de instalação, operação e manutenção.

Os sistemas estão constantemente expostos aos seguintes fenômenos:

- Elevação do potencial de Terra;
- Sobretensão de origem atmosférica e de chaveamento;
- Indução nas linhas de energia de origem magnética e elétrica.

4. - ELEVAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRA

A elevação do potencial resulta quando há uma injeção de corrente no sistema de terra que pode ser pelo neutro de transformador, ou faltas fase-terra, ou fugas de corrente, ou desvios intencionais ou não. O grau de elevação do potencial de terra é proporcional à intensidade de corrente injetada no terra, da taxa de variação da corrente por tempo e da impedância da malha de terra. A elevação de potencial aparece nas imediações do terra e vai decrescendo exponencialmente com a distância. A presença de redes de comunicações sem a proteção adequada em uma instalação, pode oferecer um caminho alternativo de descarga desse potencial para o terra remoto. Esse caminho alternativo pode ser altamente perigoso, podendo provocar um acidente a um operador ou, na melhor das hipóteses, danificará o equipamento ou a instalação.

5. - SOBRETENSOES POR DESCARGA ATMOSFÉRICAS E CHAVEAMENTOS.

A descarga atmosféricas pode agir diretamente sobre o circuito de comunicação ou indiretamente através de outra estrutura, passando pelo terra. Assim sendo, nem mesmo os circuitos subterrâneos estão imunes e esse fenômeno. Além dessa ação, ela pode ainda agir através do efeito secundário de elevação do potencial da malha de aterramento. A simples proximidade de uma nuvem carregada com o circuito de comunicação, pode induzir cargas sobre este, e quando essa nuvem se descarrega em um outro ponto, a carga induzida no circuito é dissipada em forma de corrente ao longo da rede. A forma de onda de uma descarga apresenta um tempo de subida muito pequeno de 1 a 10 μ seg. e um tempo de decaimento de até 100 μ seg. As correntes de descargas podem algumas vezes atingir os valores da ordem de

200KA, sendo que a maioria não excede o nível de 20 KA. As sobretensões devido aos chaveamentos tem os mesmos efeitos provocadas por descargas atmosféricas só que em alguns casos em menor escala, mas de frequência muito maior.

6. - INDUÇÃO MAGNÉTICA

A indução magnética ocorre devido a uma circulação de corrente através de um circuito trifásico não balanceado, ou de um circuito monofásico com aterramento múltiplo ou queda de alguns desses circuitos, ou a presença de harmônicos. A influência é bastante forte, mesmo em caso de não ocorrência de falha na linha e depende primariamente do desbalanceamento, do conteúdo de harmônicos e dos valores de corrente e tensão envolvidos no sistema de energia. Com relação aos circuitos de comunicações, depende da característica de acoplamento com os circuitos de energia que é função da frequência, da separação física, da resistividade do solo e do comprimento de exposição, e depende também da suscetibilidade à interferência.

7. - INDUÇÃO ELÉTRICA

A indução elétrica também faz surgir no circuito de comunicações uma tensão induzida, e nesse caso ela não é proporcional ao comprimento de exposição. Este tipo de indução é crítico para pequenas distâncias físicas entre circuitos, devido à capacitância entre eles, enquanto que a magnética é crítica a distâncias grande.

8. - EFFITO DA FREQUENCIA

Os condutores de aterramento podem atuar como antenas, tanto do ponto de vista de irradiação quanto de recepção. Considerando como referência um monopolo de um quarto de onda ($\lambda/4$), com uma resistência de radiação de 36.5 Ohms, uma antena que transmita 10% ou menos que aquele monopolo teria comprimento inferior a $\lambda/11$ e seria considerada ineficiente. As descargas atmosféricas apresentam frequências variando de 5KHz a 1,5MHz, com maior concentração de energia na faixa até 10KHz, motivo pelo qual os condutores de terra não devem ter comprimentos superiores a 300

m.. Preferencialmente, devem ter comprimentos inferiores a 30 m.. Os efeitos da frequência nos circuitos de aterramento se fazem sentir também nas diferenças de potenciais desenvolvidas entre dois pontos do plano de terra, podendo ocorrer diferenças de potenciais perigosas entre fontes e cargas, dada a impedância ser diretamente proporcional à frequência das correntes que transitam pelos condutores.

9. - ORIGEM DAS INTERFERÊNCIAS.

O fenômeno de acoplamento de circuito de natureza diferentes através de tensões parasitas, denominadas interferências, podem provocar operações erradas ou intempestivas, mau funcionamento e, em alguns casos, até a destruição de elementos mais sensíveis. Os riscos representados por essas perturbações devem ser examinados acuradamente, pois o crescimento das instalações, representam um aumento do risco proporcionalmente à amplitude das perturbações. Por outro lado, o aumento gradativo do emprego de equipamentos eletrônicos de baixa potência e de baixos níveis de isolamento tornam as instalações mais sensíveis às interferências. A seguir descreve-se a natureza dos tipos principais de interferências encontradas nas instalações: São assim consideradas interferências cuja frequência esteja compreendida na faixa de 60Hz a alguns MHz. Estas são tais que os comprimentos e as distâncias em jogo são pequenos em relação ao comprimento da onda. Como a faixa de frequência desse tipo de interferência é a mesma de funcionamento dos equipamentos a estado sólido, ela pode provocar mau funcionamento desses equipamentos. As interferências de alta frequência são do tipo oscilações amortecidas, cuja frequência pode ultrapassar a faixa dos MHz. Nesse caso, as frequências e distâncias em jogo são tais que se deve ter em conta o fenômeno da propagação de ondas. As perturbações causadas por interferências de alta frequência são geralmente filtradas pela maioria dos equipamentos, em princípio, não influem no seu funcionamento. Entretanto, os valores dessas perturbações podem ser muito elevados, sobretudo as de modo comum, podendo mesmo perfurar uma isolação ou danificar um transistor em alguns mseg., em razão da tensão inversa muito elevada. De modo genérico pode-se

afirmar que as interferências de baixa frequência são provocadas por faltas no sistema e as de altas frequências por manobra de equipamentos de alta tensão ou bobinas de equipamentos de baixa tensão. Podemos indicar os casos mais frequentes de interferências provocados pelos seguintes fenômenos:

9.1. - MANOBRAS DE CIRCUITOS PRIMÁRIOS

A manobra de seccionadores e disjuntores é frequentemente fonte de ruídos. Especialmente durante a operação de abertura das seccionadoras onde ocorrem múltiplas descargas entre seus contatos. O valor máximo das tensões de reestabelecimento e consequentemente, o maior efeito de interferência é o produzido quando do último reestabelecimento, antes da extinção total do arco elétrico. O valor corresponde a duas vezes a amplitude de tensão fase-terra do sistema. Se a impedância característica de ambos os lados da seccionadora é a mesma, a amplitude da onda trafegante é a amplitude de onda fase-terra. Nas instalações sua forma de onda é caracterizada por uma frente íngreme, com tempo de subida de 10 a 20nanoseg, e por uma oscilação amortecida na faixa de 100KHz a 5MHz. A frente íngreme é provocada pela reignição entre os contatos. A frequência da oscilação é determinada pelas capacitâncias dos TC's e dos TP's, e pelos tempos de percurso da instalação. Os surtos transitórios de corrente e de tensão são transmitidos através de TC's e TP's aos circuitos de medição e proteção. A circulação da corrente através da blindagem dos cabos, produzida pelas ondas trafegantes, e a injeção de corrente no sistema de aterramento através dos TC's e TP's, geram tensão de modo comum que também influencia os circuitos secundários.

9.2. - DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Uma descarga atmosférica no condutor gera uma onda trafegante, cuja forma depende da amplitude e da forma da corrente do raio. Quando da descarga disruptiva de uma cadeia de isoladores, ou a operação dos pára-raios, é possível que as altas correntes transitórias injetadas no sistema de aterramento gerem nele diferenças de potenciais que podem produzir correntes transitórias nas blindagens dos cabos e

nos invólucros de equipamentos secundários. Em alguns poucos casos, estas diferenças de potenciais pode ser tão alta que pode ocorrer a ruptura da isolação do cabo. Descargas atmosféricas nas estruturas, nos cabos pára-raios, nos captosres dos sistemas de proteção produzem altas diferenças de potenciais transitórios nos sistemas de aterramento. Caso haja interligação entre os diversos sistemas de absorção da descarga, a corrente de raio será dividida entre os vários pontos de injeção no sistema de aterramento, atenuando o seu efeito.

9.3. - FALTAS À TERRA

Descargas atmosféricas, sobretensões de manobra, descargas devido à contaminação de isoladores e manobras acidentais podem causar faltas à terra com elevadas correntes na frequência industrial. O campo magnético influenciará os circuitos secundários. A amplitude da corrente e a distância entre o condutor e o circuito determinam o valor do campo magnético.

9.4. - MANOBRA NOS CIRCUITOS SECUNDÁRIOS

A desenergização de cargas indutivas (bobinas, motores) geram sobretensões transitórias de alta frequência nos circuitos secundários. Estas sobretensões ocorrem por causa da reigitação do espaço entre os contatos durante a abertura e são tipicamente da forma dente de serra, seguida de uma oscilação amortecida de baixa frequência. A amplitude das sobretensões pode atingir até 5KV, o tempo de subida da frente é da ordem de nanoseg, e a frequência da oscilação amortecida é, normalmente inferior a 1MHz. podendo, porém, algumas vezes, atingir até 20MHz. As ocorrências destes fenômenos, até hoje eram considerados desprezíveis, mas, devemos nos preocupar, principalmente nas instalações com equipamentos sensíveis à frequência, tais como redes de comunicação e transmissão de dados.

10. - MEDIDAS A SEREM ADOTADAS NO SISTEMA SECUNDÁRIO

Para reduzir os efeitos de interferência eletromagnética em equipamentos de proteção e controle a valores aceitáveis, as recomendações

abaixo são as mais importantes. Algumas delas são muito genéricas e específicas em função das características da instalação. Os requisitos abaixo concernem principalmente aos fabricantes de equipamentos, mas são também de interesse para os projetistas. Para assegurar compatibilidade eletromagnética, algumas precauções devem ser tomadas. Além disso os dispositivos de proteção sujeito à interferência podem ser danificados, se esta excede os limites toleráveis:

1. - Nos circuitos internos; a separação física dos vários circuitos conectados a dispositivos submetidos a diferentes níveis de interferência (fonte de energia, circuitos de entrada e de saída, conexões à terra, etc.); observar as recomendações normativas, principalmente de instalações elétricas. Separação galvânica dos circuitos de entrada saída e das linhas de alimentação auxiliar, através de relés de isolamento, optodiodos, transformadores, condensadores de acoplamento.
2. Ligação de aterramento, recomenda-se aterrar separadamente cada equipamento por meio de conexões radiais. O zero eletrônico, se possível, deve ser aterrado através de conexões de impedância muito baixa, isto é; conexões curtas localizadas em diferentes pontos do invólucro. Do ponto de vista prático, pode-se considerar como conexões curtas aquelas cujo comprimento não ultrapasse a $\lambda/10$, sendo λ o comprimento de onda do circuito. As blindagens dos cabos vindos da baia da chave liga-desliga não devem ser colocados dentro do invólucro, lado a lado a circuitos não blindados. Em caso de dificuldades, as blindagens devem ser interligadas e conectadas à barra de terra. Os filtros de entrada devem ser também conectados nesse ponto.
3. Blindagem, são largamente usadas na forma de cabos blindados, a fim de proteger o sinal das influências de campos externos e das tensões e correntes associadas induzidas no circuito. A função da blindagem é, assim, conduzir as correntes induzidas por campos externos, de forma tal que os sinais no interior dos cabos não sejam perturbados. No caso de cabos coaxiais, a corrente na blindagem resultará em uma tensão diferencial entre o condutor central e a blindagem. A razão entre esta tensão e a

corrente é chamada de impedância de transferência, e em baixas frequências, ela é igual à resistência da blindagem. Este efeito pode ser bastante melhorado com a otimização da blindagem ou com o uso de cabos duplamente blindados. As carcaças ou invólucros dos equipamentos geralmente utilizados têm um bom efeito de blindagem. Entretanto, todos os componentes do gabinete, devem ser interligados por conexões de baixa impedância.

4. As telas ou malhas são largamente usadas em torno dos equipamentos ou mesmo em salas, como parte integrante do edifício. É importante que todas as entradas e saídas que dão acesso ao volume protegido pela tela sejam filtradas e acopladas à própria tela, no ponto de entrada, a fim de impedir que elas funcionem como antenas.
5. Filtros e supressores de transitórios; filtros de circuitos de alimentação. Utilizar de preferência os de impedância indutiva e conexões de ligação à terra de baixa impedância. Os supressores de transitórios (para-raios de BT, diodos zener, varistores, etc.) nas entradas e saídas dos equipamentos, para diminuir o risco de arcos internos. Caso utilizados, os dispositivos de proteção devem ter capacidade suficiente para suportar os testes exigidos do equipamentos, por exemplo a limitação da tensão de corte do dispositivo que é determinada pelos semicondutores. Para transmissão de dados as seguintes tensões tendem a ser padronizadas: - RS422 - 7,5 V; - RS232 - 27 V; e linha telefônica normal - 200 V. Os sistemas baseados na operação do equipamento; consiste em adotar uma disposição adequada dos componentes ou adoção de lógica que tende a eliminar as interferências. Filtros digitais de frequência e dispositivos que aceitem a informação somente se ela for confirmada em ciclos subsequentes. No uso de filtros devemos tomar algumas precauções. No caso de ruído de modo diferencial, a proteção dependerá normalmente de se o equipamento é analógico ou digital. No caso de equipamento analógico, o ruído será superposto a um sinal normal, dando origem a um erro. Este erro aumentará a relação de ruído até chegar ao mal funcionamento dos dispositivos. Desde que a banda de frequência do sinal seja suficientemente

baixa, um filtro pode ser usado para impedir que os ruídos de alta frequência atinjam um nível capaz de comprometer o sinal. Portanto, o equipamento analógico é protegido com filtros. No caso de equipamentos digitais, ruídos menores não vão interferir com a entrada de sinal no equipamento, mas quando o ruído atinge um certo nível, ele começará a alterar o sinal digital, de forma que poderão aparecer grandes erros. Os filtros não podem ser usados nesse caso devido ao seu efeito sobre o sinal digital. Portanto, apenas dois princípios são viáveis:

6. O uso de dispositivos não lineares para descarregar o ruído do equipamento, com o risco de que, durante a condução do ruído, o sinal digital seja distorcido, razão pela qual o equipamento digital deve ser capaz de compensar o sinal desaparecido;
7. Colocar blindagens suficientes para reduzir o ruído ou introduzir uma alta impedância no circuito, utilizando, por exemplo, optoacopladores ou fibras ópticas.

11. - MEDIDAS A SEREM ADOTADAS NAS INSTALAÇÕES

As principais medidas a serem adotadas nas instalações para alcançar suficiente compatibilidade eletromagnética dos equipamentos de proteção e controle são as abaixo mencionadas. Um aspecto importante a ser levado em conta é que a adoção de várias medidas simultâneas geralmente produz condições mais favoráveis. Entretanto há exceções para as quais devem ser tomadas precauções, blindagem de cabos, que no caso de interferência transporta correntes transitórias que podem introduzir tensões de distúrbio em cabos adjacentes não blindados.

- I. - Segregação de fontes de interferência dos equipamentos secundários, pode-se conseguir boa atenuação pela segregação e separação física dos circuitos provocadores de distúrbio daqueles submetidos a perturbação, nos diferentes níveis de tensão. Os seguintes critérios devem ser adotados:
 - A. Separação dos circuitos de força dos cabos de controle e sinalização;

- B. Cablagem separada para os circuitos de baixa e os de alta frequência; e
- C. Conexões de aterramento dos equipamentos à malha de aterramento mantidas tão curtas quanto possível ($\lambda/10$) e geralmente separadas dos cabos.
- II. - Melhoramentos dos sistemas e das condições de aterramento:
- A. Aumentar a densidade do malhamento nos locais onde é maior a probabilidade de incidência de altas correntes transitórias. Isto deve ser aplicado principalmente nas regimes próximas aos pára-raios, aos gaps de proteção e aos TC's e TP's.
- B. As conexões e aterramento dos vários equipamentos devem ser os mais curtos possíveis. Deve-se dispensar cuidado especial à impedância da conexão entre equipamento e a rede de aterramento que deve ter, a impedância, a mais baixa possível. Utilizar, no mínimo, duas ligações curtas entre o suporte do equipamento e a malha de terra; e
- C. Interconectar as várias partes separadas dos sistemas de aterramento.
- III. - Configuração ótima e blindagem dos circuitos:
- A. A rota de cabos deve ser o mais afastado possível e não paralela aos barramentos ou cabos de energia;
- B. Os condutores de ida e volta de um mesmo circuito devem pertencer a um mesmo cabo. Sempre que possível, adotar pares encordoados ou cabos quádruplos;
- C. Todos os cabos blindados devem correr o mais próximo possível entre si, de modo a se beneficiarem do efeito mútuo de blindagem;
- D. Instalação de condutor nú paralelo aos cabos. Os condutores devem ser conectados à rede de aterramento nas duas extremidades e, se possível, em alguns pontos ao longo da rota; e
- E. Para cabos de alimentação auxiliar de corrente contínua, a configuração radial é melhor que a em anel.
- IV. - O meio mais eficaz para reduzir interferência nos circuitos é a adoção de cabos blindados. Na condição ideal de uma blindagem contínua e perfeitamente homogênea de resistência nula, proteção contra campos elétrico e magnético de alta frequência seria perfeita. Entretanto, por causa do desempenho prático da blindagem dos cabos, deve-se considerar:
- A. A blindagem deve ser praticamente contínua e de baixa resistência, dentro de área de influência do sistema de aterramento;
- B. - A blindagem deve ter uma baixa impedância de acoplamento dentro da faixa de frequência de interferência;
- C. O terra da blindagem deve ter uma impedância muito baixa, isto é, os condutores de terra devem ter seção adequada, comprimento mínimo e ótima condição de contato; e
- D. Em alguns casos pode ser necessário aterrar as blindagens na entrada das salas dos equipamentos ou no gabinete dos equipamentos de controle, de modo que as correntes circulantes nas blindagens não afetem os circuitos não blindados. Sempre que as interferências sejam devidas a indução, o terra em ambas as extremidades é uma medida adequada; desde que seja mantida a equipotencialidade dos aterramentos dessa blindagem.
- V. - Uso de dispositivos de limitação de tensão. Os dispositivos mencionados devem ser instalados dentro do

equipamento de proteção e controle. Em instalações novas deve ser evitada sua instalação fora dos equipamentos. Entretanto, essa solução pode ser muito útil em instalações existentes em operação, de modo a permitir a instalação de dispositivos padronizados com baixos limites de compatibilidade eletromagnética. Para circuitos que fazem parte de sistemas de terra isolados e para circuitos de alimentação, é adequado o uso de condensadores e filtros RC que reduzem as sobretensões da radiofrequência. Uma aplicação interessante é a filtragem de circuitos de força auxiliar de corrente contínua de baixos níveis de compatibilidade eletromagnética, alimentados por bateria que suprem também circuitos e equipamentos de compatibilidade eletromagnética mais elevada. Também podem ser utilizados para-raios de baixa tensão para descarregar sobretensões com alto teor de energia em circuitos de CA e CC de tensões iguais ou menores que 48 volts. Eles apresentam, entretanto, um retardo no seu tempo de atuação que os torna inadequados para sobretensões de frentes de onda muito íngremes e de alta frequência. Necessitam de conexões de baixa impedância entre eles e o equipamento protegido e à terra. Tais para-raios são muito utilizados em linhas de telecomunicações. Os diodos zener são indicados para sobretensões com baixo conteúdo de energia, portanto, devem ser utilizados com cautela e varistores possuem resistência inversamente proporcional à tensão aplicada. A utilização do óxido de zinco está aumentando e há uma tendência de se substituir os circuitos RC e os diodos zener por varistores de ZnO, devido ao seu pequeno tempo de retardamento (< 25nanoseg.) e alta corrente de impulso (até 25KA.).

12. - FILOSOFIA DA PROTEÇÃO

Todas as medidas de proteção são feitas com base em princípios bastante simples, tais como a redução das influências através de

arranjos geométricos, nos quais os laços expostos a campos são minimizados ou evitados; as correntes e tensões de ruído induzidas nos circuitos devem ser desviadas para o sistema de aterramento; e introdução de altas impedâncias nos circuitos para limitar a corrente nos mesmos ou nos equipamentos que devem ser protegidos, por meio de indutâncias, optoacopladores, fibras ópticas. etc.. Estes três princípios são utilizados, via de regra combinados. Os surtos atingem os equipamentos através das linhas físicas às quais se encontram conectados e que atravessam ambientes hostis. O circuito básico dos dispositivos de proteção para aplicação em redes de comunicações consiste numa associação de dispositivos de proteção de atuação rápida. O princípio de funcionamento de qualquer dispositivo consiste em:

- I. Na ocorrência de surto, os semicondutores atuarão primeiro, devido à sua baixa tensão de corte e alta velocidade.
- II. Uma vez acionados, sua resistência interna cai a praticamente um Ohm, fazendo com que a corrente de surto alcance a terra, através dos próprios semicondutores e da impedância que está em série com eles.
- III. À medida que a corrente de surto se eleva, a tensão vista pelos eletrodos do centelhador aumenta proporcionalmente, pois estes estão em paralelo com a impedância-série do semicondutor.
- IV. Se a corrente de surto for suficiente para provocar o aparecimento de tensão capaz de o levar ao disparo, este atuará, drenando todo o excesso de energia para a terra e, assim, fornecendo a proteção extra necessária para que os semicondutores não sejam destruídos.

13. - DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

1. - Condutores - Os condutores têm sempre uma indutância de aproximadamente 1,5µH por metro. Portanto, os condutores usados para ligar dispositivos de proteção devem ser curtos, para que não funcionem como uma indutância. Se mais elementos têm de ser ligados ao mesmo sistema de aterramento, em vez de ligar cada componente ao terra

- através de fios, é muito melhor conectar os componentes a uma placa de referência.
2. - **Capacitores** - Por razões similares, os capacitores também apresenta um certo valor de indutância. Em baixas frequências, essa indutância torna-se desprezível, mas em altas frequências pode apresentar um fator determinante na impedância do componente. Para melhor operação destes, sua ligação deve ser através de terminais os mais curtos possíveis.
 3. - **Indutâncias** - Indutâncias terão sempre uma certa capacitância parasita. Em baixa frequência, estas capacitâncias não influencia o comportamento da indutância, mas em altas frequências, reduzem a impedância da indutância podendo levá-lo à operar como capacitor. A fim de reduzir as capacitâncias parasitas, os indutores são feitos com grupos de enrolamentos separados.
 4. - **Centelhadores** - Muitos tipos de centelhadores são disponíveis. Eles centelharão a uma certa tensão, dependendo do tipo utilizado. A vantagem do centelhador é que ele é um dispositivo simples, pode absorver altas quantidades de energia e apresentar uma carga muito pequena no ponto de ligação. A desvantagem é que, para tensões de frente escarpada, a limitação da tensão é consideravelmente reduzida.
 5. - **Varistores** - Os varistores são dispositivos com características altamente não lineares; o varistor de óxido de zinco, por exemplo, apresenta características superiores àquelas dos de carboneto de silício. Os varistores representam uma carga capacitiva no ponto do circuito em que estão instalados e seu uso, portanto, torna-se limitado no caso de frequências elevadas. Eles suportam uma considerável quantidade de energia, embora menor do que a dos centelhadores.
 6. - **Diodos** - Existem uma gama grande de diodos entre os quais podem ser mencionados, diodo zener e o diodo zener aperfeiçoado, os diodos supressores.
 7. - **Circuitos híbridos** - Todos os dispositivos não-lineares mencionados até aqui, têm seus méritos e suas limitações. Normalmente, torna-se necessário utilizar uma combinação desses dispositivos, nos quais os centelhadores e os varistores descarregam a maior parte da energia dos surtos, deixando

a redução final da tensão residual para os diodos, mais rápidos. Considerando que os elementos sejam ligados em paralelo, o dispositivo mais rápido atuará primeiramente e, devido ao fato serão destruídos antes que os componentes mais lentos comecem a atuar. Portanto é necessário separar os tipos de dispositivos por meio de impedâncias em um componente chamado de híbrido. O centelhador começará a descarregar a maior parte de energia e, somente daí em diante os varistores farão sua parte na proteção, isto é, absorverão sua parte do surto. Por fim os diodos absorverão a última parte, resultando em uma descarga segura, de quase toda a energia do surto, reduzindo a tensão residual a um valor muito baixo.

14. - SISTEMAS DE ATERRAMENTO

O aterramento dos equipamentos eletrônicos adquiriu grande importância e interesse em nossos dias, face a fenomenal escalada destes dispositivos, não só na indústria mas praticamente em todas as áreas e atividades humanas. Os dispositivos à estado sólido apresentam uma capacidade muito baixa de suportar surtos, mesmos os de curta duração. Também vimos que em muitas situações a qual nos referimos nos procedimentos para garantir a proteção dos tais equipamentos o sistema de aterramento está presente.

14.1. - Funções básicas dos sistemas de aterramento.

Antes de descrever os sistemas modernos de aterramento de equipamentos à estado sólido, é necessário conhecer as funções básicas dos mesmos, que podem ser resumidas da seguinte forma:

- A. Escoamento pelo condutor de aterramento, da corrente devida à falha de isolamento dos equipamentos, protegendo o operador;
- B. Ainda com referência a situação anterior, prover um percurso de retorno de baixa impedância para a corrente de falta à terra resultante para que, desta maneira, o sistema de proteção

- possa operar de maneira rápida e segura;
- C. Fornecer controle das tensões desenvolvidas no solo tais como tensões de toque, passo, transferência, quando houver escoamento de corrente para o sistema de aterramento;
 - D. Mesmo caso do item anterior, quando ocorrer uma descarga atmosférica no local;
 - E. Estabilizar a tensão durante transitórios no sistema elétrico, de tal forma que não apareçam surtos que possibilitem a ruptura dos equipamentos durante os transitórios;
 - F. Escoar cargas estáticas acumuladas nos equipamentos; e
 - G. Especificamente nos sistemas eletrônicos, fornecer um plano de referência sem perturbações, fundamental ao bom desempenho dos mesmos.

Para os equipamentos sensíveis, dependendo das circunstâncias e metodologia de instalação, todas ou pelo menos algumas dessas funções dever ser exercidas, sendo essenciais as de segurança pessoal e, particularmente, o plano de referência sem perturbações, sem o qual os equipamentos podem apresentar funcionamento errático ou mesmo serem danificados pelas flutuações de potencial do sistema de aterramento. Além disso, tais equipamentos exigem que o aterramento tenham operação satisfatória em baixa e altas frequências.

14.2. - Utilização do sistema de terra de energia.

O sistema de aterramento para os equipamentos de energia foi empregado também para os equipamentos eletrônicos, mas ocorreram-se muitas falhas. Isto se deveu à ignorância quanto aos seguintes aspectos:

- A. Fundamentalmente, os sistemas de aterramento de energia são projetados para frequências industriais. Desta forma, o mais importante é a resistência. Assim, consegue-se equalizar os

potenciais dos equipamentos à frequência industrial, bem como obter baixa impedância de retorno para as correntes em 60/50Hz, ou menos, uma condição necessária para operar a proteção de forma segura.

- B. Também a diferença de potencial tolerável entre equipamentos de energia, definida pela condição de segurança pessoal, é relativamente elevada.
- C. Para os equipamentos à estado sólido, a situação é outra, pois a diferença de potencial tolerável entre os barramentos de terra é extremamente pequena, podendo chegar a milivolts. Isto por que o barramento de terra serve de referência para o funcionamento dos componentes eletrônicos.

A alteração do potencial do barramento, que é ligado ao sistema de aterramento, pode dar origem a dois efeitos negativos principais. O primeiro, alterando-se o potencial de referência, o equipamento entra em funcionamento errático; e o segundo, havendo diferenças de potenciais de terra entre os equipamentos, uma corrente percorre os condutores de aterramento que os interligam. Surge uma tensão entre os cabos que conduzem o sinal e a terra, que, dependendo do valor danificam os componentes. É neste pormenor que as características geométricas e físicas dos condutores de aterramento se tornam fundamentais. Os condutores devem atuar na equalização de potenciais, não só para fontes de baixas frequências, como também para as induções eletromagnéticas de altas frequências, tais como harmônicas, *clock* dos computadores, emanações originadas de chaveamentos, radiofrequências, etc.. Neste aspecto, a indutância é o elemento mais importante. Comparando duas reatâncias para um dado condutor de indutância L, verifica-se que a reatância a 30MHz é cerca de 500 mil vezes maior que a 60Hz, isto é, os condutores que equalizam o potencial a 60Hz operam como circuito aberto a 30MHz., não equalizando o potencial. Infelizmente, aumentando a bitola do condutor, sua indutância praticamente não se altera. Pois a indutância de um dado condutor

depende apenas de sua forma geométrica, então podemos dizer que os condutores de seção circular não são os melhores para equalização de potenciais a altas frequências. O condutor para altas frequências, deve ser a fita de pequena espessura e largura adequada, e o mínimo comprimento.

14.3. - Sistema de aterramento isolado.

Como os sistemas de aterramento de energia apresentam limitações, devido as variações de potenciais em regime estacionário e transitório, os quais podem provocar funcionamento errático dos dispositivos eletrônicos e mesmo danificá-los, uma alternativa foi estabelecer um sistema de aterramento isolado, independente para tais equipamentos. A sua concepção exigia que todas as massas e barras de terra fossem isoladas dos painéis ou estrutura de suporte dos mesmos, e ligadas através de cabos isolados em um sistema de aterramento independente, situado em algum local longe da malha de energia. Esta malha, embora tenha tido sucesso, pois efetivamente controla alguns aspectos negativos da malha de energia, foi e é duramente combatida pelos seguintes motivos:

A. O aterramento das massas dos painéis não é equalizado com o aterramento independente. Na eventualidade de faltas à terra ou descargas atmosféricas na malha de energia, surge uma diferença de potencial entre as duas malhas. Logo este procedimento pode levar a transferência de potencial de uma a outra, o que contraria o requisito de segurança pessoal constante de qualquer norma de instalação, o que é por si só, justificativa de abandono do método;

B. Projetar uma malha de terra isolada de outra malha é uma tarefa praticamente impossível no perímetro urbano, pois o solo, mesmo o de elevada resistividade, comporta-se como condutor. Assim, existe um acoplamento resistivo à baixas frequências e capacitivo a altas

frequências. Este acoplamento reduz drasticamente a eficácia do sistema isolado, principalmente durante transitórios de altas frequências. Não tendo sofrido alteração na sua geometria, a malha apresenta ainda deficiências construtivas, como condutores longos, incapazes de equalizar altas frequências. Este fato e a indução de potenciais perigosos à segurança pessoal.

14.4. - Aterramento de ponto único.

Este método representa o passo seguinte na evolução dos sistemas de terra de equipamentos sensíveis. Elimina do sistema isolado sua principal desvantagem, que é a falta de segurança pessoal. Suas principais características são:

A. Os equipamentos eletrônicos continuam isolados do painel. Suas barras de terra, também, isoladas, radiais, a uma barra de terra geral. Esta barra também é isolada do quadro de distribuição, mas conectada através de um cabo isolado a um único ponto do sistema de terra;

B. As massas dos painéis são ligadas ao sistema de terra da forma convencional, isto é, de forma a permitir o re-torno de correntes de faltas dos circuitos de alimentação.

O quadro pode possuir três barras de terra: a barra de neutro, a barra de terra que recebe os cabos radiais de aterramento das massas dos painéis e a barra das massas dos equipamentos sensíveis. A filosofia de ponto único deve manter uma ligação única entre o sistema de aterramento de energia e o sistema de aterramento de referência. A conexão acima ainda pode apresentar alguns inconvenientes. O maior deles é a incapacidade dos condutores de aterramento longos de equalizar as barras de terra nos casos de altas frequências. Outro inconveniente é o acoplamento capacitivo entre o terra e as massas dos painéis. Este acoplamento poder formar *loops* de altas

freqüências, resultando em correntes circulantes que produzem ruídos. Estes problemas são reduzidos quando os cabos de aterramento são curtos.

14.5. - Malha de terra de referência.

As malhas de terra de referência objetiva cancelar o inconveniente grave de todos os tipos de malhas aqui descrita. Sua construção baseia-se na determinação dos comprimentos do condutor, como vimos inferiores a $\lambda/10$. Será montada uma grade de condutores espaçados entre si com esta distância e interconectados, é criado um grande número de circuitos paralelos de baixa impedância. Deve-se observar que a função básica desta malha é a equalização de potenciais e não condução de correntes de faltas. Isto significa que os condutores de proteção devem ser utilizados. A malha de terra de referência deve ser obrigatoriamente conectada ao sistema de aterramento de energia. Pode existir um ou mais pontos de conexão. Todas as carcaças e barras de terra de referência dos quadros, bem como partes metálicas e demais equipamentos integrantes do ambiente, como eletrodutos, colunas metálicas, etc., devem ser ligadas à malha de terra de referência através de cordoalhas ou fitas de cobre. Conclui-se que o local ideal da instalação da malha de terra de referência é sob os equipamentos, de modo que a ligação do equipamento à malha de referência seja o mais curto possível. Uma situação a ser analisada é a interconexão de equipamentos situados em prédios ou locais distantes. Embora cada prédio possa ter sua malha de referência, elas são interconectadas através de condutores longos, que não conseguem equalizá-las para altas freqüências. Desta forma podem surgir diferenças de potenciais entre malhas. Estes surtos podem ser atenuados por técnicas de proteção, dentre algumas já mencionadas. A situação pode ser contornada pelo emprego de protetores de surtos ou, dependendo da fonte do surto ser empregado transformadores de isolamento, associado a protetores de surtos nos circuitos de energia e comunicação.

15. - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até aqui ilustramos os problemas envolvidos e algumas sugestões que podem ser usados para a proteção de equipamentos eletrônicos e redes de comunicação contra

surtos e interferências. O aterramento e o sistema equipotencial, enfim, as ligações que são normalmente requeridas num sistema de proteção contra surtos, transitórios e interferências reduzirão as sobretensões que podem ocorrer na instalação protegida, mas não são suficientes para a proteção de equipamentos eletrônicos. As mesmas medidas usadas para resolver problemas de compatibilidade eletromagnética podem ser utilizadas para proteção contra conseqüências das descargas atmosféricas, surtos e transitórios. Se executadas adequadamente, elas poderão solucionar ao mesmo tempo os problemas de compatibilidade eletromagnética e os de proteção contra descargas atmosféricas e surtos.

16. - BIBLIOGRAFIA

- [1] - GAUMIN, Claude: Sobretensões transitórias: proteção de instalações, Eletricidade Moderna, nº 208, fevereiro/91. MM Editora, SP.
- [2] - A guide for protection of wire line communication facilities serving electric power stations - IEEE Committee Report, IEEE Transactions on Power and Systems, Vol PAS 85 nº 10, October, 1966.
- [3] - Prática Telebrás nº 565-520-500 - Janeiro 1978, Análise dos Problemas Associados à Indução Elétrica.
- [4] - ERIKSSON, A. J. e GELDENHUYS, H. J., "A lightning surge disturbance environmental for electronic systems - Guideline standards for surge withstand compliance and testing.
- [5] - ERIKSSON, A. J., STRAUSS, K. S. G. E VAN NIEKERK, H. R., "A lightning protection guide for electronic installations.
- [6] - CEMIG: Projeto de instalação da Estação de Pesquisas de Descargas Atmosféricas - Circuitos, diagramas de interligação e malha de aterramento.
- [7] - PEDERSEN A., Proteção de equipamentos e sistemas de baixa tensão, Eletricidade Moderna, Nº 200, Novembro/90, MM Editora, SP.
- [8] - GUILLOT J. Etude de perturbations electriques agissant sur les circuits BT, de postes e centrales. EDF, 1973.
- [9] - DENNY H. W. e WODDY I. A. Grounding, bonding and shielding practices and procedures for electronics equipments and facilities. Vol II - Procedures for facilities and equipments. Report

Nro FA-A-RD-75-215, Geogia Institute for Technology, 1975.

[10] - LEE H. Grouding of computers and others similar sensitive equipments, IEEE Trans Ind App. Vol IA-23, Nro 3. Maio/junho/. 1987.

[11] - MATUMOTO K., Técnicas de aterramento em instalações elétricas, medição, cálculos, efeitos sobre o ser humano e instalações. Apostila Universidade Federal de Uberlândia, 1984.

[12] - MATUMOTO K., Proteção contra surtos e transitórios em equipamentos eletrônicos e sistemas de Baixa Tensão. - Informe Técnico apresentado no II Seminário Internacional de Proteção Contra Descarga Atmosférica - II SIPDA, Julho/92, Guaratinguetá - SP.

[13] - MATUMOTO K., Laudo técnico Análise dos problemas de queima de terminais e microcomputadores instalados em rede no Armazém do Comércio S.A. Uberlândia, em Dezembro/92 Armazém Peixoto, Cooperatira Agrícola de Leite de Uberlândia, Rumag Fósferil Araxá, Fósferil Uberaba Martins.Ind. Comerc. Exp. Ltda

