

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ATERRAMENTO ELÉTRICO:**

***Esquemas de Aterramento convencionais e para
equipamentos eletrônicos***

Professor Orientador: Edson Guedes

Aluno: José Carlos Pacheco Porpino

Mat.: 20111226

Curso: Engenharia Elétrica

Campina Grande, 5 de dezembro de 2002



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	4
INTRODUÇÃO	5
1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	7
1.1 SISTEMAS ATERRADOS	7
1.1.1 TENSÃO DO NEUTRO EM RELAÇÃO À TERRA	7
1.2 ATERRAMENTO	8
1.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ATERRAMENTO	9
1.3.1 ELETRODOS DE ATERRAMENTO	10
1.3.2 CONEXÃO DOS ELETRODOS	10
1.3.3 CONDUTOR DE PROTEÇÃO	11
1.4 RESISTIVIDADE DO SOLO	11
1.5 RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO	12
1.6 FUNÇÕES BÁSICAS DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO	13
1.6.1 PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS DIRETOS E INDIRETOS	13
1.6.2 ESTABILIZAR AS TENSÕES FASE-TERRA	13
1.6.3 GARANTIA DA ATUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO	14
1.6.4 CONTROLE DE TENSÕES NO SOLO	14
1.6.5 ESCOAMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS	15
1.6.6 REFERENCIAL PARA EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	15
1.7 ATERRAMENTO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS	15
1.8 RUÍDO DE MODO COMUM	16
2 SISTEMAS DE PROTEÇÃO	18
2.1 PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS	18
2.1.1 ENERGIZAÇÃO ACIDENTAL	19
2.1.2 CORRENTE DE FUGA	20
2.2 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	21
2.3 PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES	22
2.3.1 SUPRESSORES DE SURTOS	23
2.3.2 APLICAÇÃO DOS SUPRESSORES	24
2.4 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ELETROSTÁTICAS	25
3 ESQUEMAS DE ATERRAMENTO PADRONIZADOS PELA ABNT (NBR 5410/97)	27
3.1 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TT	27
3.2 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN	29
3.2.1 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-C	29
3.2.2 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-S	31
3.2.3 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-C-S	32

3.3	ESQUEMA DE ATERRAMENTO IT _____	32
4	<i>ESQUEMAS DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS</i> _____	34
4.1	UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE FORÇA _____	35
4.2	UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO ISOLADO _____	35
4.3	UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO DE PONTO ÚNICO _____	36
4.4	MALHA DE TERRA DE REFERÊNCIA (MTR) _____	37
4.4.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MTR _____	39
4.4.2	CONDUTOR DA MTR _____	40
	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i> _____	41
	SISTEMAS ATERRADOS E A TENSÃO DO NEUTRO _____	41
	ATERRAMENTO E SUAS FUNÇÕES BÁSICAS _____	41
	ESQUEMAS DE ATERRAMENTO _____	42
	ESQUEMA DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS _____	43
	<i>BIBLIOGRAFIA</i> _____	44

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é um projeto de pesquisa sobre aterramento elétrico, tendo como enfoque os esquemas de aterramento normalizados pela ABNT e esquemas de aterramento para equipamentos eletrônicos. O projeto tem como objetivos o estudo sistemático dos fundamentos básicos de sistemas de aterramento, suas distinções, bem com suas aplicações e nuances.

INTRODUÇÃO

As instalações elétricas, independentemente do porte ou do objetivo, constituem o elo de ligação entre a geração da energia elétrica e suas formas de utilização pelo homem. Desde a geração da energia elétrica em uma usina hidrelétrica ou termelétrica, passando pelo sistema de transmissão e distribuição, e por fim, em uma indústria ou residência há uma série de riscos inerentes a qualquer instalação elétrica. Os choques elétricos e incêndios provocados por curtos-circuitos, bem como os danos acarretados por descargas atmosféricas são os acidentes mais comuns. Evidentemente, é necessário dotar as instalações elétricas de dispositivos de proteção que suprimam, ou pelo menos minimizem, os riscos às pessoas e às instalações.

O aterramento de equipamentos e partes metálicas de uma instalação é uma forma adotada desde muitas décadas para prover a segurança das pessoas e equipamentos. O aterramento faz parte, portanto, de qualquer sistema de proteção. Na verdade, o desempenho de qualquer sistema de proteção dependerá grandemente do aterramento da instalação. Apesar das normas técnicas, internacionais e brasileiras, apresentarem critérios rigorosos para o aterramento de todas as partes da instalação suscetíveis a energização acidental, há muito desconhecimento e negligência por parte de profissionais das áreas de construção civil e elétrica. Um exemplo da negligência é a pouca utilização de disjuntores diferencial-residuais em circuitos de chuveiros elétricos. Os riscos não podem ser subestimados, ou desprezados, uma vez que um acidente pode ser fatal.

O tema aterramento é bastante amplo, podendo ser tratado sob diversas óticas. O presente trabalho é fruto de uma pesquisa assaz abrangente acerca de aspectos teóricos e de cunho prático sobre o tema aterramento elétrico. O estudo sobre modelagem e cálculos de aterramentos não foi abordado.

A primeira parte do estudo é composta por conceitos e definições imprescindíveis para a familiarização com a terminologia que permeia o assunto e o entendimento de conceitos básicos como aterramento e suas funções básicas, bem como resistividade e resistência de aterramento. A segunda parte do estudo trata de forma sucinta os sistemas de proteção contra choques elétricos, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões e contra descargas eletrostáticas. A terceira parte aborda detalhadamente os

esquemas de aterramento normalizados pela ABNT, enfatizando particularmente o esquema TN-C. A quarta parte é dedicada aos sistemas de proteção de equipamentos eletrônicos.

1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

1.1 SISTEMAS ATERRADOS

O neutro nos sistemas elétricos geralmente é aterrado, exercendo funções extremamente importantes. Para sistemas de distribuição em baixa tensão, os quais quase sempre apresentam os transformadores ligados em Δ/Y , conforme mostrado na Figura 1, o neutro oferece um caminho para as correntes desequilibradas, bem como assegura que as tensões de fase sejam equilibradas em relação às tensões de linha. O estabelecimento de tensões em relação à terra dentro de limites bem fixos minimizam os esforços elétricos no isolamento dos equipamentos e reduzem os perigos de choques elétricos.

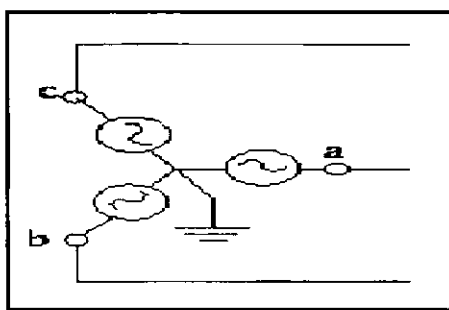


Figura 1: Ligação estrela com neutro aterrado

O objetivo primordial do aterramento nos sistemas elétricos é proteger as pessoas e o patrimônio contra um curto-circuito (falta) na instalação. Em um sistema não aterrado a ocorrência de um curto-circuito para a terra (falta fase-terra) não provoca a atuação dos dispositivos de proteção (fusíveis e disjuntores). Com o não desligamento dos dispositivos de proteção, as carcaças metálicas de equipamentos podem permanecer energizadas na ocorrência de um curto para a carcaça, acarretando o sério risco de choque elétrico para as pessoas que tocarem na carcaça energizada.

1.1.1 TENSÃO DO NEUTRO EM RELAÇÃO À TERRA

Nos sistemas elétricos aterrados o neutro é aterrado na fonte, no entanto a diferença de potencial do neutro para a terra não é sempre zero. O neutro serve de referência para os condutores fase e como caminho de retorno para os circuitos monofásicos. Como circula corrente no condutor neutro o tempo todo devido ao desbalanceamento das fases, existe uma flutuação da tensão do neutro. O desbalanceamento

das fases é decorrente da diversidade de cargas monofásicas ligadas a uma mesma fonte trifásica.

A tensão no neutro aumenta à medida que a distância da fonte (transformador) à carga aumenta, bem como com a adição de cargas desbalanceadas ao transformador. A tensão do neutro na extremidade de uma linha de distribuição pode atingir 10 a 20 V. O aterramento do neutro ao longo da rede elétrica tende a reduzir a tensão do neutro, contudo as normas de instalações elétricas da ABNT e das concessionárias de energia exigem que o neutro seja aterrado na entrada de toda instalação. Dessa forma, evita-se a flutuação da tensão do neutro, mantendo-se o seu valor em torno de zero.

A tensão de neutro aumenta os problemas de interferência eletromagnética (IEM) nos equipamentos eletrônicos, provocando ruídos de modo comum e outras perturbações. Os valores permissíveis de tensão do neutro em relação à terra não constam em normas, no entanto fabricantes de diversos tipos de equipamentos eletrônicos fornecem nos manuais valores limites da tensão de neutro em torno de 2 a 3 V.

1.2 ATERRAMENTO

O termo aterramento se refere à terra propriamente dita ou a uma grande massa que se utiliza em seu lugar. A terra representa um ponto de referência, potencial zero, ao qual todas as partes energizadas do sistema, bem como as partes potencialmente energizadas são referidas. Aterrar uma instalação ou equipamento consiste em ligar intencionalmente o neutro e as partes metálicas da instalação ou equipamento à terra, conforme a Figura 2.

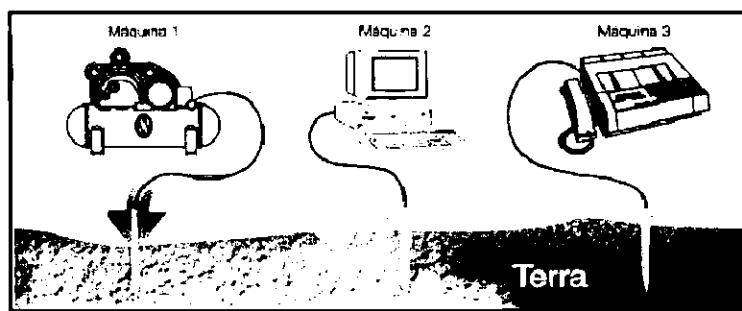


Figura 2: Equipamentos aterrados

O aterramento deve possuir as seguintes características:

baixa resistência de aterramento;

resistência de aterramento invariável ao longo do tempo;

robustez às solicitações térmicas, termomecânicas e eletromecânicas;

alta capacidade de condução de corrente.

Um sistema de aterramento essencialmente deve proporcionar o funcionamento do sistema elétrico dentro dos limites de segurança para os usuários e equipamentos do sistema, sobretudo em condições anormais de operação. Portanto, um sistema de aterramento deve assegurar:

- estabilizar as tensões fase-terra em sistemas estrela com neutro aterrado;
- a proteção de pessoas contra contatos com partes metálicas energizadas acidentalmente;
- a atuação dos dispositivos de proteção;
- a proteção das instalações contra descargas atmosféricas;
- um referencial de tensão para aparelhos eletrônicos.

1.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ATERRAMENTO

Um sistema de aterramento pode ser constituído por uma haste ou várias hastes de aterramento dispostas de formas diversas, conforme a Figura 3, ou uma malha de aterramento,

Figura 4.

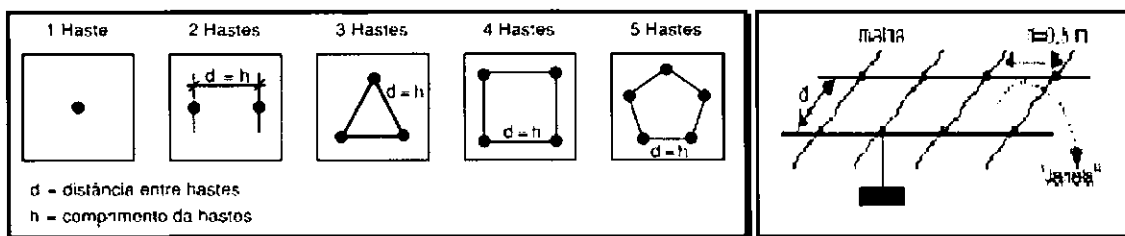


Figura 3: Disposição de hastes de aterramento

Figura 4: Malha de aterramento

Os principais componentes de um sistema de aterramento são os eletrodos (hastes) de terra, condutor de interligação das hastes, conexões e condutor de proteção, conforme é mostrado na Figura 6.

1.3.1 ELETRODOS DE ATERRAMENTO

Os eletrodos de aterramento podem ser divididos em: naturais, fabricados e encapsulados em concreto.

Os eletrodos naturais (existentes) são as estruturas metálicas de edifícios. As estruturas metálicas engastadas no concreto das fundações proporcionam o aterramento. Na Figura 5 é ilustrada a utilização da estrutura metálica de um como eletrodo de aterramento.

Os eletrodos fabricados normalmente são hastes. Os eletrodos são geralmente de aço galvanizado ou aço cobreado. Quando o solo permite, é mais satisfatório o uso de poucas hastes profundas do que muitas hastes curtas. O condutor de interligação das hastes é utilizado para a interligação dos eletrodos de aterramento. Geralmente utiliza-se um cabo de cobre nu.

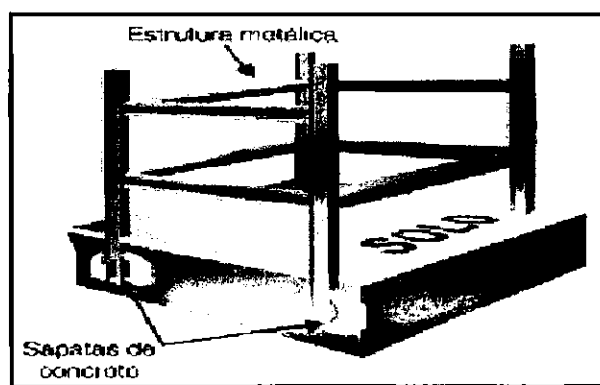


Figura 5: Estrutura metálica de edificação funciona como eletrodo

1.3.2 CONEXÃO DOS ELETRODOS

As conexões são elementos metálicos utilizados para conectar os condutores nas emendas ou derivações. Podem ser utilizados conectores mecânicos, solda exotérmica ou conexão por compressão.

Os conectores mecânicos são facilmente encontrados, simples de instalar e podem ser desconectados para efeitos de medição de resistência de aterramento. As conexões com conectores podem apresentar problemas de corrosão, mas bem protegidas as conexões são seguras. É recomendável que as conexões estejam sempre acessíveis para inspeção e manutenção. Na Figura 6 é mostrado um eletrodo de aterramento que faz parte de uma malha de aterramento, localizado em uma caixa de inspeção.

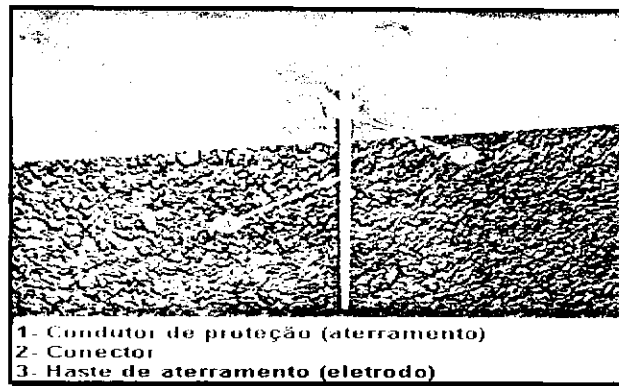


Figura 6: Eletrodo de aterramento em caixa de inspeção

A conexão com soda exotérmica realiza a fusão entre o condutor e o elemento de conexão, praticamente eliminando a resistência de contato e os problemas de corrosão. O método é ideal para ligações diretamente no solo. Conexões por compressão apresentam uma baixa resistência de contato, porém não podem ser desconectados para as medições de aterramento.

1.3.3 CONDUTOR DE PROTEÇÃO

O condutor de proteção, designado PE, é utilizado para a ligação das massas dos equipamentos, estruturas, etc, aos barramentos de aterramento e dos barramentos à malha de aterramento. A NBR 5410/97 estabelece a seção mínima dos condutores de proteção e as condições gerais de instalação e operação.

1.4 RESISTIVIDADE DO SOLO

O solo é o meio pelo qual circulará as correntes desequilibradas de um sistema monofásico, bem como as correntes que passam pelo condutor de proteção e eletrodos de aterramento. A resistividade do solo indica uma maior ou menor resistência à passagem da corrente elétrica.

O solo é um condutor de baixa qualidade, com valores típicos de resistividade de 100 a 1000 Ωm , cerca de um bilhão de vezes maior que a do cobre. O solo é um meio muito heterogêneo, cuja resistividade depende da sua composição química e concentração de sais na água retida no solo, da sua umidade e temperatura do solo e das suas condições de compactação. A Tabela 1 apresenta a resistividade de alguns tipos de solos.

Tabela 1: Resistividade de alguns tipos de solo

Tipo de solo	$\rho(\Omega.m)$
Limo	20 a 100
Húmus	10 a 150
Lama	5 a 100
Terra de jardim com 50% de umidade	140
Terra de jardim com 20% de umidade	180
Argila com 40% de umidade	80
Argila com 20% de umidade	330
Argila seca	1500 a 5000
Areia com 90% de umidade	1300
Areia comum	300 a 1800
Calcário fissurado	500 a 1000
Calcário compacto	1000 a 5000
Granito	1500 a 10 000
Basalto	10 000 a 20 000

1.5 RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

A resistência de aterramento resulta do efeito da resistência relativa às conexões existentes entre os eletrodos e condutores de terra (hastes e cabos), da resistência relativa ao contato entre os eletrodos de terra e a superfície do terreno que os circunda, e por fim da resistência relativa ao terreno nas imediações dos eletrodos de terra. Na prática, a resistência das conexões apresenta valores desprezíveis, sendo consideradas apenas as outras resistências.

A resistência de aterramento quantifica a capacidade do aterramento de descarregar a energia para a terra. Quanto menor essa resistência, melhor para a instalação, pois mais rápida será a atuação dos dispositivos de proteção e menores os riscos de sobretensão. Na verdade, metade da resistência total de aterramento concentra-se na vizinhança (15 cm) do eletrodo de aterramento.

A Norma de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (NBR 5410/97) da ABNT não define diretamente nenhum valor para a resistência de aterramento das instalações, enquanto a norma americana de instalação elétrica exige um valor máximo de 25 Ω . Todavia, a Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas (NBR 5419/93) da ABNT recomenda um valor máximo de 10 Ω .

1.6 FUNÇÕES BÁSICAS DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO

1.6.1 PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS DIRETOS E INDIRETOS

O contato de pessoas com partes metálicas energizadas de uma instalação acarreta um choque elétrico, o qual pode ter conseqüências fatais conforme as circunstâncias do acidente. Quando o contato ocorre com partes normalmente energizadas (condutores elétricos) o contato é dito direto, o qual apresenta maior ocorrência com pessoas que trabalham com eletricidade e curiosos. O contato indireto ocorre quando uma pessoa fica submetida a um potencial elétrico, ao entrar em contato com partes metálicas energizadas acidentalmente, conforme mostrado na Figura 7.

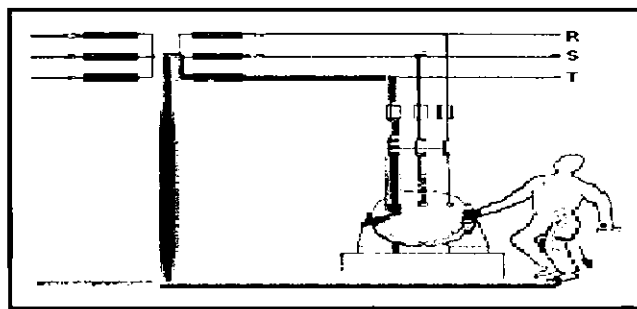


Figura 7: Pessoa ao entrar em contato com parte energizada (choque elétrico)

O choque elétrico também pode ser ocasionado pela corrente de fuga de um equipamento. Embora de valor bastante pequeno, a corrente de fuga pode ser suficiente para provocar danos irreversíveis ou até mesmo fatal a uma pessoa.

Os equipamentos devem ser aterrados de modo a permitir que, caso ocorra uma falha na isolação dos equipamentos, a corrente de falta passe através do condutor de aterramento ao invés de percorrer o corpo de uma pessoa que eventualmente toque o equipamento.

1.6.2 ESTABILIZAR AS TENSÕES FASE-TERRA

O sistema de aterramento estabiliza as tensões em relação à terra durante transitórios provocados por faltas para a terra, chaveamentos no sistema, etc. O aterramento minimiza sobretensões perigosas que podem ocorrer durante os transitórios, evitando o risco da ruptura de isolação de equipamentos elétricos.

1.6.3 GARANTIA DA ATUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

O sistema de aterramento oferece um percurso de baixa impedância de retorno para a terra à corrente de falta, facilitando o desligamento automático dos dispositivos de proteção, fusíveis e disjuntores, de maneira rápida e segura. Na Figura 8 é ilustrada a situação de um curto-circuito para a carcaça de um motor, sensibilizando o disjuntor do circuito.

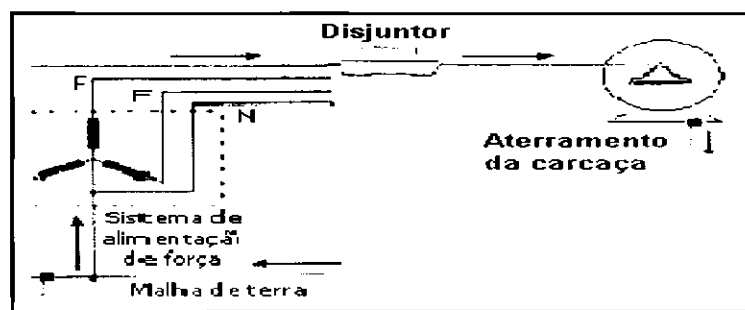


Figura 8: O aterramento da carcaça facilita a atuação do disjuntor

1.6.4 CONTROLE DE TENSÕES NO SOLO

O aterramento permite o controle das tensões desenvolvidas no solo quando da ocorrência de um curto-circuito fase-terra retorna pela terra para uma fonte próxima ou mesmo distante, ou quando da ocorrência de uma descarga atmosférica.

Uma corrente elétrica ao ser descarregada para o solo provoca uma elevação de potencial em torno do eletrodo de aterramento, formando regiões equipotenciais. Na Figura 9 é mostrado o efeito provocado no solo pela circulação de corrente no eletrodo de aterramento.

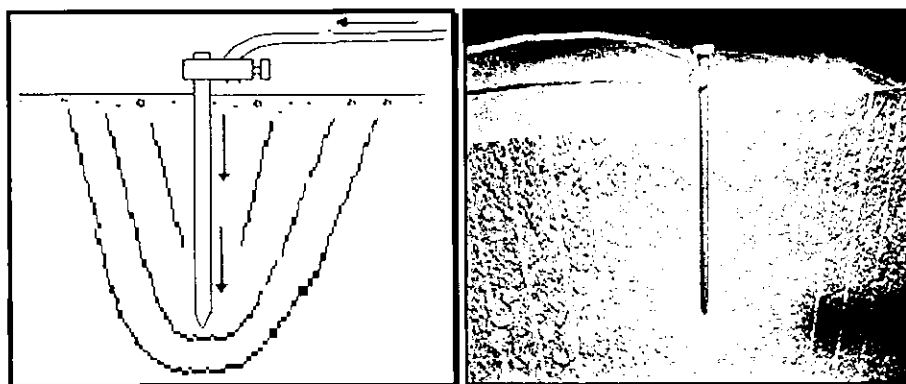


Figura 9: Regiões equipotenciais em torno do eletrodo de aterramento

Estruturas metálicas aterradas ou próximas ao sistema de aterramento podem sofrer uma elevação de potencial de modo a oferecer riscos às pessoas que entrem em contato com as estruturas.

A tensão de toque é a diferença de potencial, entre um equipamento aterrado ou o próprio condutor de aterramento e a terra, que provoca um choque elétrico quando uma pessoa toca na estrutura submetida à elevação de potencial. A tensão de toque deve ser limitada para que a circulação da corrente pelo corpo de uma pessoa não seja suficiente para danos físicos ou mesmo levar à morte.

A tensão de passo é a diferença de potencial entre as pernas de uma pessoa situada dentro das regiões equipotenciais, quando há o escoamento de correntes para o solo pelo aterramento. Da mesma forma que a tensão de toque, a tensão de passo deve ser limitada.

1.6.5 ESCOAMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS

O sistema de aterramento oferece caminho seguro, controlado e de baixa impedância em direção à terra para as descargas atmosféricas, bem para correntes induzidas. O sistema de aterramento é parte fundamental em um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

O aterramento deve escoar cargas estáticas acumuladas em estruturas, suportes e carcaças dos equipamentos em geral. Em ambientes onde há a manipulação de compostos químicos inflamáveis ou combustíveis o sistema de aterramento exerce papel capital minimizando o perigo de explosões.

1.6.6 REFERENCIAL PARA EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

O sistema de aterramento deve proporcionar um plano de referência sem perturbações, imune a ruídos, de modo que aparelhos eletrônicos não tenham seu funcionamento prejudicado por ruídos de baixa e alta frequência.

1.7 ATERRAMENTO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

As partes metálicas (estruturas, carcaças de equipamentos, etc) de uma instalação que não façam parte dos circuitos elétricos, mas que eventualmente possam ficar energizadas, devem ser aterradas quer seja com a finalidade de proteção ou funcional,

segundo as normas NBR 5410/97 e NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade).

Em instalações alimentadas em alta tensão devem ser aterrados os seguintes componentes da instalação: o neutro do transformador; os pára-raios; os suportes metálicos das chaves fusíveis e seccionadoras, transformadores de medição, telas de proteção, etc; as carcaças do transformador de força e dos demais equipamentos; os quadros de distribuição; e estruturas metálicas em geral.

Em instalações alimentadas em baixa tensão devem ser aterrados os seguintes componentes da instalação: o neutro na entrada da instalação; os quadros de distribuição; as carcaças dos eletrodomésticos e demais equipamentos (motores elétricos, estufas, chuveiro elétrico, etc); e computadores.

Os eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos de uma instalação são aterrados por meio dos condutores de proteção (aterramento). O condutor de proteção deve ter a mesma seção do condutor fase do circuito que alimenta o equipamento a ser aterrado. Geralmente os equipamentos e eletrodomésticos com potência elevada e que apresentem risco elevado de corrente de fuga devem ser aterrados, bem como equipamentos eletrônicos. Normalmente esses equipamentos já vêm de fábrica com o fio terra. Os seguintes eletrodomésticos e equipamentos devem ser aterrados: forno de microondas, máquina de lavar louça, chuveiro elétrico, torneira e aquecedor elétrico de água, máquina de lavar e secar roupa, ar condicionado, fogão e forno elétrico, computador.

1.8 RUÍDO DE MODO COMUM

O ruído de modo comum ocorre quando existe uma diferença de potencial entre o aterramento ao qual a fonte de energia se refere e o aterramento ao qual o equipamento se refere. O ruído é gerado a partir de corrente de outros sistemas, circulando por trechos comuns a vários circuitos.

Na Figura 10 é mostrado o aparecimento de ruído de modo comum, quando há corrente circulando no aterramento. Os distúrbios conhecidos como Modo Comum afetam o sinal de referência de terra usado nos modernos sistemas de microprocessadores. Os

equipamentos eletrônicos são bastante sensíveis a ruídos de modo comum entre os condutores de alimentação e o aterramento.

Os distúrbios são introduzidos na fiação de diversas maneiras, como por exemplo: induzidos por raios fortes, pequenas descargas estáticas devido ao ar seco no inverno ou pode ser conduzido para o sistema elétrico por todos os aparelhos elétricos.

A diferença de potencial entre os referenciais da fonte e do equipamento é gerada quando circula uma corrente pelo condutor de proteção ou pela terra, devido ao acoplamento resistivo ou capacitivo entre os circuitos internos do equipamento e a sua carcaça.

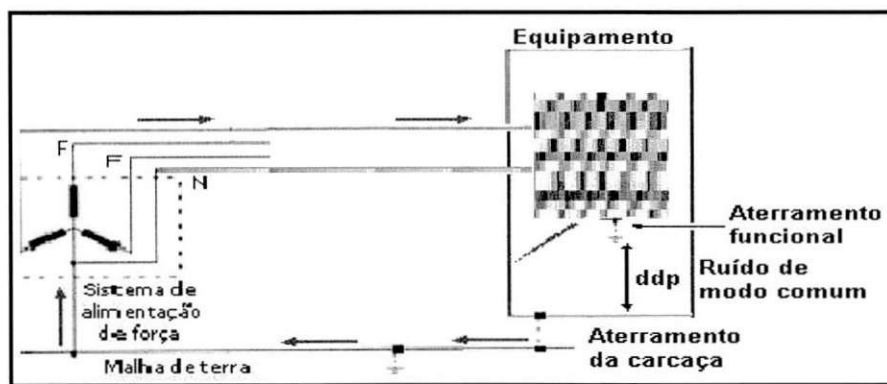


Figura 10: Aparecimento de ruído de modo comum

A maneira mais simples de se evitar o ruído de modo comum é o aterramento de ponto único, no qual todos os equipamentos que necessitam de aterramento estão aterrados no mesmo ponto.

2 SISTEMAS DE PROTEÇÃO

O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro de uma instalação elétrica: proteção contra choques elétricos, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões, proteção de equipamentos eletrônicos e proteção contra descargas eletrostáticas.

O objetivo mais amplo de um sistema de aterramento é de se obter, o mais possível, uma condição de potencial zero (equipotencialidade) entre os condutores de proteção dos equipamentos, as carcaças dos equipamentos, os condutos metálicos e todas as demais massas condutoras de uma edificação.

Os condutores de aterramento devem ser instalados próximos aos condutores vivos dos circuitos e não devem ser percorridos por correntes de carga normais da instalação. Dessa forma, é mantida diferença de potencial zero entre os diversos pontos de aterramento nos equipamentos e o à malha de aterramento.

Cada sistema de proteção é estudado individualmente, para facilitar a sua compreensão, porém, todos os sistemas de proteção são conectados no mesmo aterramento.

2.1 PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

O choque elétrico se caracteriza pela passagem de corrente elétrica pelo corpo de uma pessoa, quando partes ou todo corpo submetido a uma diferença de potencial. O perigo do choque elétrico depende da intensidade da corrente e do tempo de duração do choque elétrico. A dependência entre tempo e corrente pode ser observada na Figura 11, que apresenta um gráfico tempo-corrente obtido a partir de estudos realizados pela IEC.

A questão da proteção contra choques elétricos é limitar a corrente que atravessa o corpo e garantir a atuação dos dispositivos de proteção em um tempo seguro. A forma prática de prover a proteção contra choques elétricos é desviar as correntes do corpo humano e desligar a alimentação do circuito defeituoso o mais rápido possível. Para tanto, as partes metálicas da instalação e carcaças de equipamentos devem ser aterradas e os circuitos de alimentação devem ser protegidos por dispositivos de seccionamento automático e rápido, disjuntores e fusíveis.

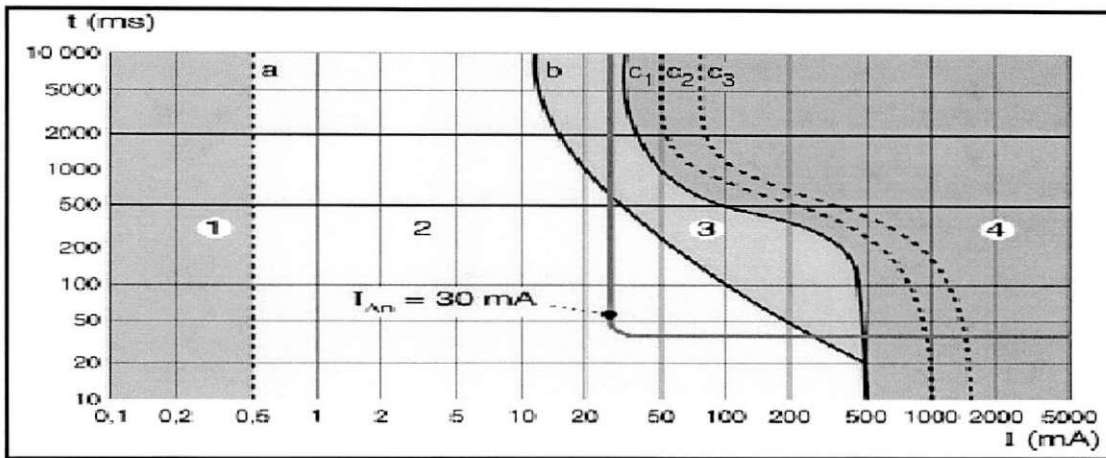


Figura 11: Gráfico dos efeitos da corrente elétrica no corpo em função do tempo, de acordo com a IEC 60479. Sobreposta ao gráfico, em azul, a curva de atuação de um dispositivo DR.

Legenda:

- Região 1: Nenhum efeito perceptível;
- Região 2: Efeitos fisiológicos não danosos;
- Região 3: Efeitos fisiológicos graves (parada cardíaca, parada respiratória, contrações musculares);
- Região 4: Elevada probabilidade de efeitos fisiológicos irreversíveis (fibrilação cardíaca, parada respiratória.).

2.1.1 ENERGIZAÇÃO ACIDENTAL

O choque elétrico ocorre quando parte ou todo corpo fica submetido a uma diferença de potencial, a qual é uma das principais variáveis que implicam em uma maior ou menor corrente no corpo da pessoa. A isolamento dos equipamentos e do ambiente é o outro parâmetro decisivo.

Uma energização acidental eleva o potencial em relação à terra de uma parte metálica da instalação (estruturas metálicas, carcaças de equipamentos, etc) à mesma intensidade de um condutor fase, ou seja, a parte energizada acidentalmente fica no mesmo potencial do condutor fase. A energização acidental ocorre freqüentemente quando o isolamento de um equipamento é rompido, por acidente ou envelhecimento, energizando a carcaça do equipamento.

Se a carcaça do equipamento estiver aterrada, a energização acidental provocará um curto-circuito. Se o aterramento estiver em boas condições, certamente a corrente de curto-circuito será suficiente para atuar o dispositivo de proteção (disjuntor ou fusível) que protege o circuito, protegendo as pessoas que estavam em contato ou entrariam em contato com a carcaça do equipamento.

Se a carcaça do equipamento não estiver aterrada, a energização acidental provocará apenas uma pequena corrente ou nenhuma corrente, dependendo a isolação da base do equipamento. Logo, nenhum dispositivo de proteção é atuado, permanecendo a carcaça do equipamento energizada. Quando uma pessoa entrar em contato com a carcaça do equipamento, certamente levará um choque elétrico de proporções extremamente perigosas.

2.1.2 CORRENTE DE FUGA

Todo equipamento energizado tem, através de sua isolação, uma fuga de corrente diretamente ou através da capacitância parasita intrínseca do circuito com a massa do equipamento. Se a isolação do equipamento não for compatível com a tensão de operação ou com as condições de trabalho do equipamento, a corrente de fuga pode atingir valores perigosos. Geralmente, a corrente de fuga pode ser imperceptível ou provocar apenas uma sensação desagradável de formigamento no corpo.

A corrente de fuga não sensibiliza os dispositivos de proteção convencionais (disjuntores termomagnéticos e fusíveis). Os dispositivos de proteção apropriados para a detecção de corrente de fuga são os interruptores e disjuntores diferencial-residuais. O dispositivo é descrito mais detalhadamente no item 3.1 (ESQUEMA DE ATERRAMENTO TT).

Equipamentos elétricos que seus condutores são expostos a condições ambientes de muita umidade ou estão diretamente em contato com a água apresentam maior corrente de fuga. Para evitar que a corrente de fuga atinja valores perigosos, esses equipamentos devem garantir uma isolação excelente. O chuveiro elétrico é um dispositivo elétrico que apresenta uma corrente de fuga bem elevada. A norma NBR 5410/97 exige o aterramento e utilização de dispositivo diferencial-residual nos circuitos que alimentem chuveiros elétricos.

A fuga de corrente em equipamentos e em instalações elétricas é ocasionada, de um modo geral, por: emendas de condutores mal feitas, condutores desencapados, mal dimensionados ou com isolação desgastadas pelo tempo, ou por eletrodomésticos defeituosos. O aterramento do equipamento proporciona um caminho de desvio para a corrente de fuga.

2.2 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A Norma brasileira NBR 5419/93 trata de maneira completa os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA's), nos quais o aterramento é o meio responsável pelo escoamento das correntes dos raios no solo, sem provocar tensões de passo perigosas. As correntes dos raios penetram na instalação pelos captores, pára-raios, e são conduzidas até os eletrodos de aterramento por meio de cabos de descida. O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas pode ser constituído por apenas um pára-raios tipo Franklin ou uma Gaiola de Faraday, conforme as Figura 12 e Figura 13.

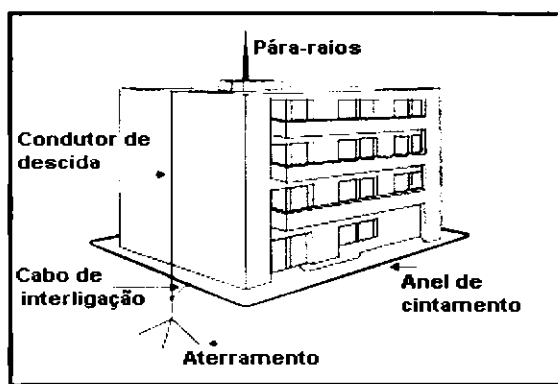


Figura 12: SPDA constituído por um pára-raios tipo Franklin

A partir de fevereiro de 1998, a NBR 5410/97 recomenda as ferragens da fundação de concreto armado como eletrodo de aterramento preferencial das instalações. A utilização das ferragens da própria estrutura da fundação de concreto é uma solução econômica e bastante eficiente, resultando em uma baixa resistência de aterramento, geralmente em torno de 1Ω . A equalização completa dos potenciais das massas e da estrutura da edificação é assegurada pela interligação com a ferragem das lajes.

A equalização de potenciais no nível do solo é obtida pela instalação de um anel de cintamento envolvendo as fundações da periferia, conforme mostrados nas Figura 12 e Figura 13. Geralmente, o anel é feito com um cabo de cobre nu de seção mínima de 25 mm^2 , enterrado e conectado apropriadamente. Em um ponto do cabo de cobre é derivado um outro cabo que será ligado ao TAP (Terminal de Aterramento Principal).

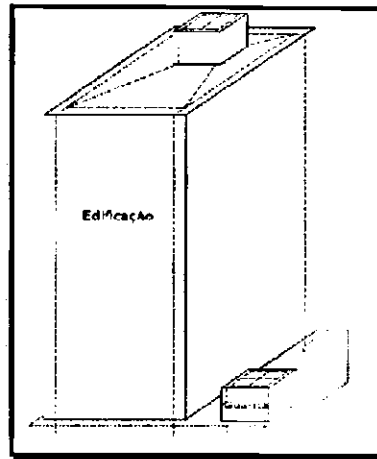


Figura 13: SPDA constituído por uma Gaiola de Faraday

2.3 PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES

Sobretensão é definida segundo a ABNT na Norma 5410/97 como uma tensão cujo valor de pico é maior do que o valor de pico correspondente à tensão máxima de um sistema ou equipamento. As sobretensões são originadas nas instalações elétricas quando circuitos são chaveados, ou ocorre alguma anormalidade (curto-circuito, perda de carga, etc), bem como podem ser provenientes da ação direta de raios ou induzidas pelos mesmos no sistema de alimentação. As sobretensões apresentam comportamento transitório, no entanto podem atingir valores de amplitude bastante elevados. Quando os limites de tensão suportáveis pelos equipamentos são superados, pode ocorrer a danificação de componentes ou a destruição completa do equipamento.

As descargas atmosféricas são responsáveis pelas sobretensões mais perigosas. As descargas atmosféricas ao atingirem diretamente linhas de energia ou de telefonia provocam surtos de corrente da ordem de vários kA, que se deslocam por quilômetros de distância em ambos sentidos do ponto de impacto. As descargas atmosféricas quando atingem locais próximos a linhas de energia ou de telefonia induzem surtos de corrente de kA, que podem provocar a queima de equipamentos, falha na operação e possíveis danos pessoais. A descarga atmosférica atinge o solo, provocando elevação do potencial do solo, induzindo altos valores de sobretensões em fios ou cabos enterrados.

2.3.1 SUPRESSORES DE SURTOS

Um surto é uma onda transitória de tensão, corrente ou potência, caracterizada pela elevada taxa de variação e que propaga ao longo do sistema elétrico. Os supressores de surtos são dispositivos utilizados para reduzir as sobretensões transitórias e desviar as altas correntes de surto. Os dispositivos supressores de surtos foram concebidos especificamente para a proteção de equipamentos e sistemas digitais ou que possuam nível de tensão de corte muito baixo. Existem diversos tipos de supressores de surtos, tais como varistores, centelhadores à gás, supressores de estado sólido. Cada um desses tipos possui aplicação específica, em função das características do equipamento à ser protegido.

Os supressores de surtos podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, formando protetores híbridos. É sugerido na Norma NBR 5410/97 que se os sistemas de proteção contra sobretensões sejam utilizados em cascata. Os dispositivos têm em comum o fato de desviarem a sobretensão do circuito de alimentação, utilizando o sistema de aterramento como caminho preferencial. Os supressores de surtos utilizados comumente são varistores, diodos zenner, e centelhadores.

Varistor

O varistor é um dispositivo eletro-cerâmico não-linear cujo funcionamento é esboçado segundo a curva apresentada Figura 14.

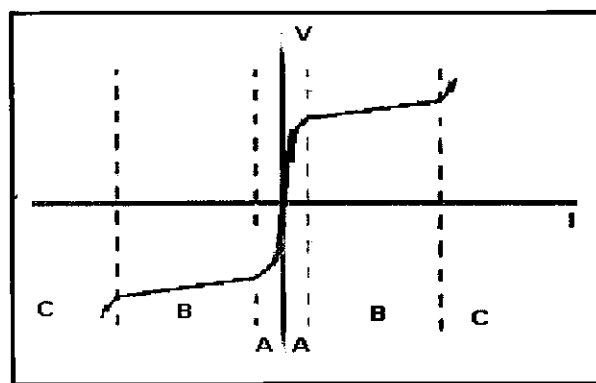


Figura 14: Curva característica tensão versus corrente de um varistor

Na região A do gráfico mostrado na Figura 14, o varistor apresenta um comportamento linear, resistência muito alta e praticamente constante. Quando a tensão aumenta, entrando na região B, a resistência do varistor sofre uma redução abrupta. O

varistor mantém a tensão praticamente constante entre seus terminais, passando a conduzir uma elevada corrente. Na região C, o varistor volta a apresentar comportamento linear.

Centelhador

O centelhador a gás funciona pela disrupção do gás em seu interior quando a tensão entre seus terminais atinge um determinado valor. O centelhador opera como uma chave dependente da tensão. Quando a tensão supera seu valor de "corte" (operação), um arco é criado entre seus terminais, ocorrendo a descarga para a terra.

Diodo Zenner

O diodo zenner é um dispositivo de estado sólido que passa a conduzir a partir de uma determinada tensão, mantendo então a tensão em seus terminais praticamente constante.

2.3.2 APLICAÇÃO DOS SUPRESSORES

A escolha correta de supressores de surtos em sistemas de baixa tensão torna-se difícil pelo fato do desconhecimento das características exatas dos transientes que podem chegar a uma instalação, bem como pelo desempenho não linear dos componentes protetores. Atualmente as aplicações práticas em projetos estão sendo baseadas em tabelas estatísticas e recomendações de fabricantes. Porém estes dados têm uma confiabilidade limitada.

Os varistores podem ser aplicados em praticamente quaisquer instalações. Em sistemas de energia de baixa tensão ele é recomendado como primeiro ponto de proteção de uma instalação, colocado no quadro geral de distribuição. No quadro de distribuição geral podem ser usados varistores de tensão nominal maior e de maior absorção de energia (varistores de maior diâmetro), o que garantirá para eles uma vida útil mais extensa. Junto aos quadros de distribuição parciais, a aplicação de varistores de menor tensão é importante. Os condutores dos circuitos alimentadores desde o quadro principal até os quadros parciais, devido à sua indutância e resistência, funcionarão como coordenadores para sua atuação.

Centelhadores a gás continuam muito úteis para uma primeira proteção de sistemas de telefonia na entrada de redes telefônicas em uma instalação. Porém junto a equipamentos mais sensíveis é necessário o uso de varistores ou diodos.

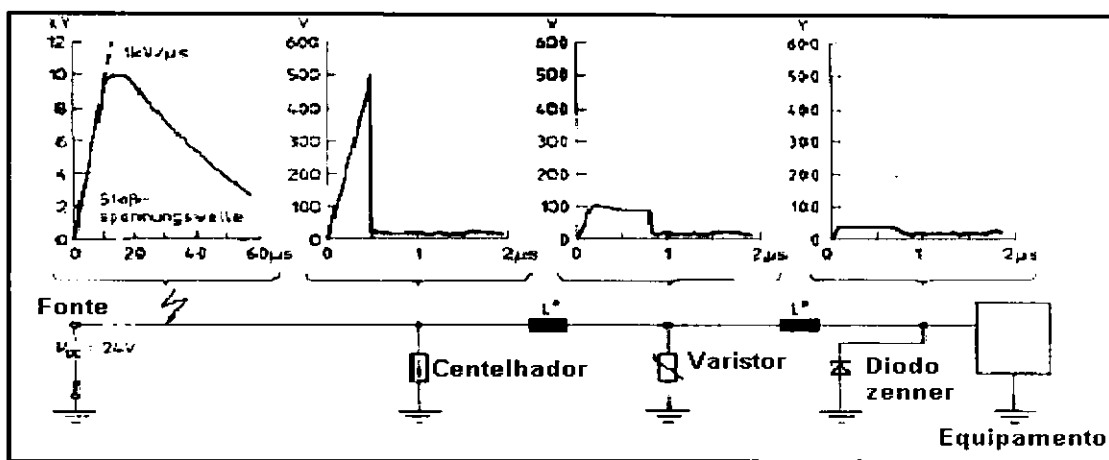


Figura 15: Sistema híbrido contra sobretensão

O protetor está em série com uma linha de 24 volts onde é induzida uma onda de sobretensão com 10 kV de pico. O centelhador mais lento, porém com maior capacidade de absorção de energia, faz o primeiro corte em aproximadamente 500 volts. A seguir o varistor atua, reduzindo para 100 volts de tensão máxima, que ainda é um valor alto para o circuito a ser protegido. Então o diodo atua reduzindo o transiente para aproximadamente 35 volts, que pode ser absorvido pelo circuito sem danos.

Deve ser ressaltado que nenhum dispositivo contra sobretensão funcionará corretamente se não existir o condutor de proteção e um sistema de aterramento adequado.

2.4 PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ELETROSTÁTICAS

A acumulação de eletricidade estática em equipamentos, materiais armazenados ou processados introduz um sério risco nos locais onde estão presentes líquidos, gases, poeiras ou fibras inflamáveis ou explosivas.

A eletricidade estática é, provavelmente, a primeira forma de eletricidade registrada pela humanidade, estando reportada em escritos gregos de 600 a.C. A eletricidade estática é gerada pela movimentação de cargas elétricas, segundo um dos seguintes processos: atrito, contato ou indução. Um corpo estará eletrizado, quando estiver com excesso ou falta de elétrons. A diferença de potencial entre o corpo eletrizado e um

outro corpo de potencial zero, ou carregado com cargas de sinal contrário, pode atingir milhares de volts, provocando uma descarga entre os corpos.

Muitos problemas de eletricidade estática podem ser resolvidos pela ligação equipotencial de várias partes dos equipamentos e a ligação à terra de todo o sistema. A ligação equipotencial minimiza a tensão entre equipamentos, prevenindo descargas entre eles.

Todavia, o aterramento não é a única solução para todos os problemas de eletricidade estática como, por exemplo: no processamento de materiais isolantes (papel, roupas, borrachas) ou de líquidos com baixa condutividade (refino de petróleo). Nesses casos, a eletricidade não pode ser removida pelo aterramento ou equipotencialidade e devem ser adotados outros métodos de controle: ionização, umidificação, etc.

3 ESQUEMAS DE ATERRAMENTO PADRONIZADOS PELA ABNT (NBR 5410/97)

A Norma Brasileira que rege as instalações elétricas em baixa tensão NBR 5410 da ABNT apresenta três topologias básicas de sistemas de aterramentos: TT, TN e IT. As topologias são codificadas por meio de duas ou mais letras, possuindo os seguintes significados:

- Primeira letra: situação da alimentação em relação à terra
 - T – sistema aterrado
 - I – sistema isolado
- Segunda letra: situação das massas em relação à terra
 - T – massas diretamente aterradas
 - N – massas ligadas ao neutro
- Outras letras: neutro x condutor de proteção
 - S – neutro e proteção em condutores separados
 - C – neutro e proteção num mesmo condutor
 - CS – condutores neutro e de proteção combinados em uma parte da instalação.

Os sistemas de aterramento caracterizam o método de aterramento do neutro do lado de baixa tensão de um transformador (ou qualquer outra fonte) e os meios de aterramento das partes metálicas expostas da instalação.

A escolha do esquema de proteção determina as medidas a serem tomadas para a proteção das pessoas contra os riscos de contatos indiretos. Podem coexistir em uma mesma instalação vários esquemas de aterramento, caso sejam necessários.

3.1 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TT

O esquema de aterramento TT é caracterizado pelos aterramentos distintos, separados e isolados, do neutro da fonte de alimentação e do restante da instalação. O neutro da fonte é ligado diretamente à terra por meio de um eletrodo. Todas as partes metálicas expostas são ligadas a um eletrodo de terra isolado do aterramento do neutro da instalação. Na Figura 16 é mostrada a implementação do esquema TT. Os condutores de

proteção, denominados PE, são separados (isolados) dos condutores neutros e são dimensionados para a maior corrente de falta que possa ocorrer.

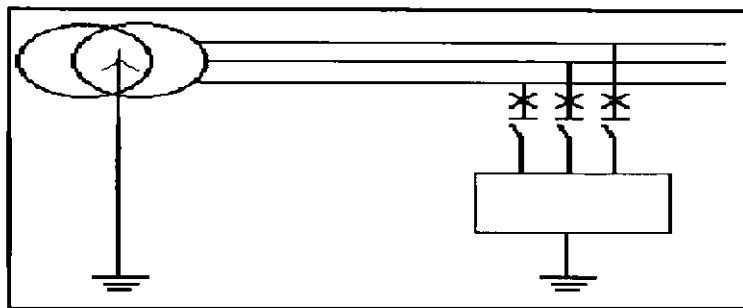


Figura 16: Esquema de Aterramento TT

No esquema TT, o percurso da corrente de curto-circuito fase-terra inclui o solo, limitando bastante o valor da corrente devido ao elevado valor da resistência de terra. A corrente de curto-circuito pode ser insuficiente para acionar disjuntores ou fusíveis, mas suficiente para matar uma pessoa. Os disjuntores termomagnéticos não garantem a segurança das pessoas em instalações com esquema de aterramento TT.

O dispositivo de proteção adequado para instalações com esquema de aterramento TT é o disjuntor diferencial-residual (DR). O dispositivo DR interpreta uma corrente de fuga para a terra como resultado de algum curto-circuito, e aciona a abertura do circuito. Os dispositivos para proteção de pessoas apresentam uma sensibilidade de 30 mA e os dispositivos para proteção contra incêndios apresentam sensibilidade de 500 mA.

Na Figura 17 é ilustrada a constituição e do dispositivo DR.

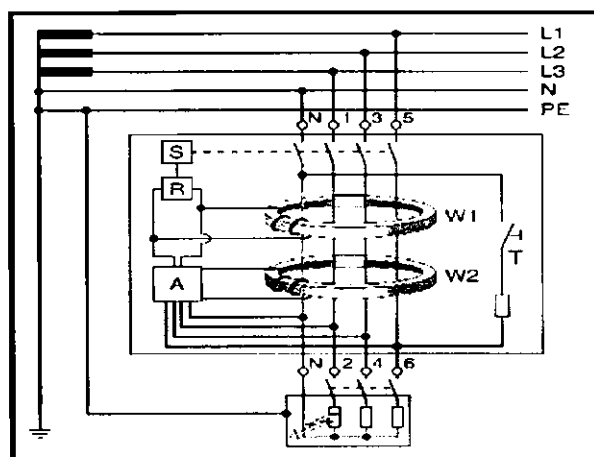


Figura 17: Constituição de um disjuntor diferencial-residual

O dispositivo DR mostrado na Figura 17 é capaz de detectar correntes CA, CC pulsantes e CC puras.

O esquema de aterramento TT apresenta a vantagem de minimizar as sobretensões e perturbações eletromagnéticas, uma vez que não há circulação de corrente pelos condutores de proteção em condições normais de operação. No entanto, o esquema não mantém a equipotencialidade entre o aterramento do neutro e da instalação.

3.2 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN

O esquema de aterramento TN é caracterizado pelo fato do neutro da fonte de alimentação estar ligado aos condutores de proteção em parte ou em toda a instalação. O neutro da instalação é ligado à terra por meio de um eletrodo ou malha de aterramento, semelhantemente ao esquema TT. Todas as partes metálicas expostas são ligadas ao neutro da fonte por meio dos condutores de proteção.

No esquema TN, o percurso da corrente de curto-circuito fase-terra apresenta impedância baixíssima, logo a corrente pode atingir valores bastante elevados. Dessa forma, é garantido que os dispositivos de proteção (disjuntores e fusíveis) atuarão.

O esquema de aterramento TN apresenta as seguintes variantes: esquema TN-C, esquema TN-S e esquema TN-C-S. No esquema TN-C as funções de neutro e proteção são realizadas pelo mesmo condutor, denominado PEN (proteção e neutro). No esquema TN-S as funções de neutro e proteção são realizadas por condutores diferentes, PE (proteção) e N (neutro). No esquema TN-C-S, parte de uma instalação apresenta o esquema TN-C e outra parte o esquema TN-S.

No Brasil, o esquema TN é o mais comum, sobretudo em instalações alimentadas diretamente pela rede pública de baixa tensão da concessionária de energia elétrica. Neste caso, o esquema de aterramento da instalação é TN-C até a entrada. Na entrada da instalação, o neutro é aterrado por razões funcionais e segue para o interior da instalação separado do condutor de proteção, configurando-se o esquema TN-S.

3.2.1 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-C

O esquema TN-C é caracterizado pela utilização do condutor neutro como o próprio condutor de proteção (PEN), conforme é mostrado na Figura 18. O esquema TN-C

requer o estabelecimento de um ambiente equipotencial eficiente dentro da instalação com eletrodos de aterramento espaçados tão regularmente quanto possíveis. Em residências, o aterramento é feito em apenas um local.

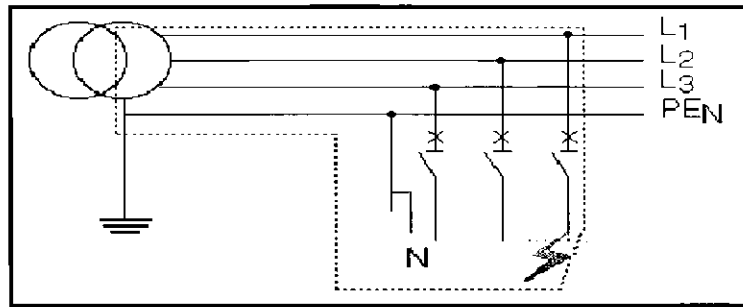


Figura 18: Esquema de aterramento TN-C

O esquema TN-C é o esquema mais simples, embora normalizado, sofre uma série de restrições quanto à sua adoção em alguns tipos de instalações. O esquema TN-C não é permitido para circuitos com condutores de seção inferior a 10 mm^2 ou flexíveis.

Conseqüências quanto à corrente de curto-circuito fase-terra

As correntes de curto-circuito fase-terra no esquema TN-C são extremamente elevadas, da ordem de vários kA, uma vez que o percurso da corrente de falta apresenta impedância baixíssima. Devido aos elevados valores das correntes de curto-circuito fase-terra, a atuação dos dispositivos de proteção (disjuntores e fusíveis) é assegurada.

A proteção contra correntes de fuga e de incêndio provida por meio de dispositivos diferencial-residuais não pode ser adotada, quando o esquema de aterramento TN-C é adotado em uma instalação.

Conseqüências quanto a sobretensões

Durante um curto-circuito fase-terra há ocorrência de sobretensões na instalação, bem como o aparecimento de tensões de toque elevadas, ou seja, a tensão entre as massas conectadas ao condutor PEN e as fases fica superior à tensão nominal.

Conseqüências quanto a incêndios

O esquema TN-C é proibido em instalações onde há um alto risco de incêndio ou explosão. Devido à conexão das partes metálicas (estruturas metálicas, carcaças, etc) de uma instalação ao condutor PEN, surge um fluxo de corrente nas estruturas, resultando em

um risco de incêndio e perturbações eletromagnéticas. Durante um curto-circuito fase-terra as correntes de circulação são consideravelmente aumentadas.

O sistema TN-C impossibilita o uso de dispositivos diferencial-residuais para a proteção contra incêndios.

Conseqüências quanto a perturbações eletromagnéticas

O esquema TN-C deixa a instalação bastante exposta a perturbações eletromagnéticas. Como o neutro e o condutor de aterramento são o mesmo condutor (PEN), as perturbações eletromagnéticas são aumentadas, sobretudo em condições de falta.

Quando um condutor PEN é instalado em um edifício, independentemente do seu comprimento, o mesmo sofre uma queda de tensão de frequência industrial em condições normais de operação, criando diferenças de potencial e, portanto, o fluxo de corrente em qualquer circuito formado por partes metálicas expostas da instalação, cabos coaxiais, a blindagem de computadores ou sistemas de telecomunicações. A circulação de corrente pelo condutor PEN provoca perturbações eletromagnéticas, sobretudo em equipamentos eletrônicos, uma vez que os mesmos precisam utilizar o potencial do condutor de aterramento como referência. O esquema TN-C não deve ser adotado em instalações com equipamentos eletrônicos.

As perturbações podem ser amplificadas em instalações que possuem equipamentos geradores de harmônicos, pois a intensidade de correntes harmônicas de certas ordens é triplicada no condutor neutro.

3.2.2 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-S

O esquema TN-S é caracterizado pela separação dos condutores neutro (N) e de proteção (PE) dentro da instalação, conforme é mostrado na Figura 19. O uso de condutores de proteção PE e neutro N separados é obrigatório para circuitos de seção inferior a 10 mm² para cobre e 16 mm² para alumínio.

O esquema TN-S apresenta as mesmas desvantagens do sistema TN-C com respeito às elevadas correntes de curto-circuito e as sobretensões. No esquema TN-S, no entanto, não há queda de tensão e correntes de carga circulando pelo condutor de proteção (PE) sob condições normais de operação, ao contrário do condutor PEN no TN-C. Portanto,

os problemas de perturbações eletromagnéticas comuns no TN-C são mitigados enormemente no esquema TN-S.

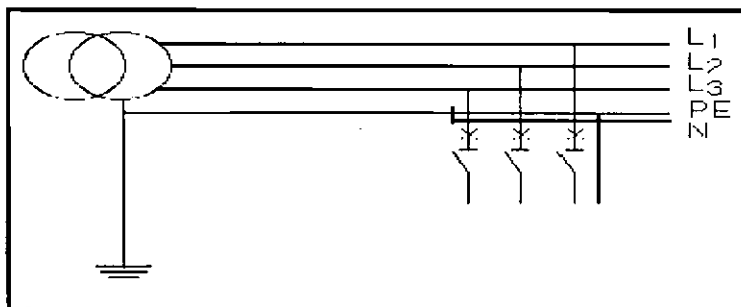


Figura 19: Esquema de aterramento TN-S

3.2.3 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-C-S

Os esquemas TN-C e TN-S podem ser usados na mesma instalação, conforme é mostrado na Figura 20. No esquema TN-C-S, o esquema TN-S é adotado a jusante do esquema TN-C. O ponto em que o condutor de proteção (PE) se separa do condutor PEN é geralmente na entrada da instalação.

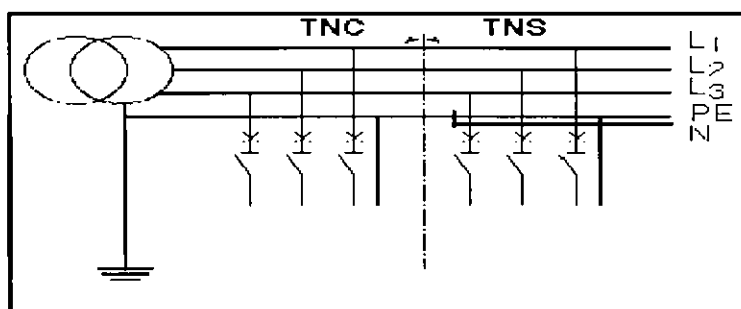


Figura 20: Esquema de aterramento TN-C-S

3.3 ESQUEMA DE ATERRAMENTO IT

O esquema IT é caracterizado pelo não aterramento do neutro da fonte de alimentação (IT neutro isolado) ou pelo aterramento do neutro por meio de uma impedância (IT neutro aterrado), de valor em torno de 1000Ω a 2000Ω . Todas as partes metálicas expostas são ligadas a um eletrodo de terra isolado do neutro da instalação semelhantemente ao esquema TT. Na Figura 21 é mostrada a implementação do esquema IT.

O aterramento do neutro por meio de uma elevada impedância, resistor ou indutor, tem como objetivos limitar a corrente de curto circuito fase-terra a um valor desejado de modo que uma primeira falta não desligue o sistema. A corrente de curto-circuito fase-terra geralmente não é perigosa para as pessoas, mas como a instalação estará operando em condições de falta, devem ser utilizados dispositivos que monitorem a isolação dos condutores.

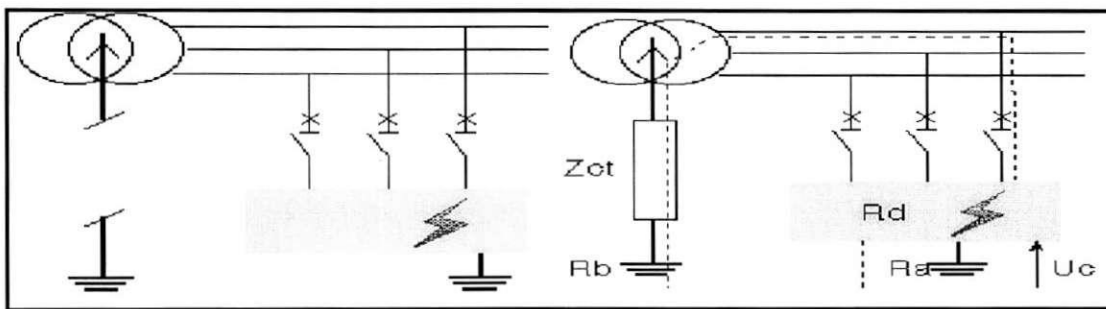


Figura 21: Esquema de aterramento IT

O uso do esquema de aterramento IT é restrito aos casos onde uma primeira falha não pode desligar imediatamente a alimentação, interrompendo processos importantes como salas cirúrgicas e siderúrgicas.

A redução dos níveis de sobretensões, tais com os surtos em relação à terra transmitidos pelos enrolamentos de alta tensão, deve ser provida por um limitador de sobretensões adequado.

4 ESQUEMAS DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Os sistemas de aterramento para equipamentos eletrônicos sensíveis sofreram uma evolução ao longo dos últimos anos. Primordialmente, acreditava-se que os equipamentos eletrônicos poderiam ser aterrados diretamente na malha de aterramento em que são conectadas as estruturas e os equipamentos de força, doravante denominada malha de força. Em seguida, passou a ser adotado um aterramento independente para os equipamentos eletrônicos, isolado eletricamente do sistema de aterramento de força. Nos últimos anos, os sistemas de proteção e aterramento para equipamentos eletrônicos evoluíram para um sistema de aterramento de ponto único. Atualmente, a última palavra em aterramento para equipamentos eletrônicos é a Malha de Terra de Referência (MTR), também conhecida como SRG (Signal Reference Grid).

A malha de terra de referência é a solução ideal para o aterramento confiável de um conjunto de equipamentos sensíveis agrupados em um mesmo ambiente, sendo empregada para o aterramento de centrais de processamento de dados, salas de controle com CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), centrais telefônicas, estações de rádio, equipamentos gerais de informática e comunicação de dados, etc.

Todavia, quando for difícil a aplicação da malha de terra de referência, principalmente para um número reduzido de equipamentos ou equipamentos bem espalhados, pode-se utilizar o método de aterramento em ponto único.

De qualquer forma, apenas a malha de terra de referência ou qualquer outro sistema de aterramento, não garante o bom desempenho dos equipamentos eletrônicos sensíveis. Para a proteção contra descargas atmosféricas diretas ou indiretas é necessária a blindagem da edificação, Gaiola de Faraday, descrito na NBR 5419 que trata dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas. A utilização de protetores de surtos de tensão pode ser imprescindível em instalações muito exposta a ruídos, transitórios, harmônicos, ou perturbações semelhantes.

4.1 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE FORÇA

A utilização de equipamentos eletrônicos tornou-se bastante acentuada nos primeiros anos da década de 70, período em que houve um grande aumento da produção e barateamento dos equipamentos eletrônicos. Com a crescente utilização de equipamentos eletrônicos surgiu a necessidade de aterrá-los. A utilização da malha de aterramento de força para o aterramento dos equipamentos eletrônicos era uma prática intuitiva, uma vez que o sistema de aterramento de força funcionava muito bem. No entanto, o método de aterramento foi um desastre para os equipamentos eletrônicos.

As malhas de aterramento para os equipamentos de força são completamente inadequadas para equipamentos sensíveis, pois, mesmo em regime normal, costumam ser percorridas por correntes de várias origens, denominadas correntes espúrias. As correntes espúrias são provocadas por correntes de circulação de neutro, induções eletromagnéticas diversas, acoplamento capacitivo, etc.

Em regime transitório (curtos-circuitos, descargas atmosféricas, etc), as correntes que circulam na malha de aterramento podem atingir valores extremamente elevados. Devido às várias perturbações a que está suscetível a malha de aterramento de força, assim, o aterramento de equipamentos eletrônicos na malha de força é completamente inadequado. Os equipamentos eletrônicos sensíveis necessitam de uma malha de aterramento de potencial fixo, inalterável, sem perturbações de qualquer origem.

4.2 UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO ISOLADO

A inadequabilidade das malhas de força para o aterramento de equipamentos eletrônicos levou à utilização de um sistema de aterramento isolado, esquema TT, para os equipamentos eletrônicos.

O sistema de aterramento isolado obteve algum sucesso, pois efetivamente minimiza alguns aspectos negativos da malha de força, sobretudo, reduzindo as correntes espúrias que percorrem as malhas. Todavia, o sistema de aterramento isolado apresenta alguns inconvenientes quanto à equalização dos potenciais da malha de aterramento dos equipamentos de força (malha de força) e da malha dos equipamentos eletrônicos (malha de referência), uma vez que surge possivelmente uma diferença de potencial entre as malhas. As carcaças, ou invólucros metálicos dos equipamentos eletrônicos, são conectadas à malha

de aterramento dos equipamentos de força e os terminais de referência dos equipamentos eletrônicos são conectados na malha de referência, portanto não há equipotencialidade entre o referencial do equipamento eletrônico e a sua carcaça. A falta de equipotencialidade entre a carcaça e o referencial de equipamentos eletrônicos pode provocar choques elétricos nos usuários dos equipamentos.

O sistema de aterramento isolado apresenta deficiências também pelo fato de existir o acoplamento elétrico entre as malhas de força e a malha de referência. Mesmo considerando a resistividade solo elevada, é inevitável o acoplamento resistivo (para baixas frequências), bem como o acoplamento capacitivo (para altas frequências).

4.3 UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO DE PONTO ÚNICO

O sistema de aterramento de ponto único consiste em aterrar todas as estruturas metálicas, carcaças de equipamentos, bem como equipamentos eletrônicos em uma única malha de aterramento. O sistema de aterramento em ponto único elimina a principal deficiência do sistema isolado, o qual possibilita o surgimento de diferenças de potenciais entre as malhas, acarretando perigo de choques elétricos.

No sistema em ponto único, os equipamentos eletrônicos continuam isolados do painel de sustentação (carcaça). As barras de terra dos equipamentos eletrônicos são ligadas por meio de condutores isolados, radiais, a um barramento de terra geral dos equipamentos eletrônicos, o qual deve ser isolado do quadro de distribuição. O barramento de terra geral é conectado ao sistema de aterramento de força por meio de um cabo isolado, portanto, a equalização dos barramentos de terra geral e da barra de terra dos equipamentos eletrônicos é assegurada. O sistema de aterramento de ponto único é mostrado na Figura 22.

As carcaças dos painéis são ligadas ao sistema de aterramento de força de forma convencional de modo a permitir o retorno das correntes de curtos-circuitos originadas pela falha na isolação de alimentação de força dos equipamentos eletrônicos.

O quadro de distribuição deve conter três barramentos distintos de aterramento:

Barramento de neutro, ligado à carcaça do quadro de distribuição;

Barramento de terra, que recebe os cabos radiais de aterramento conectados às carcaças dos equipamentos eletrônicos, bem como os demais cabos de aterramento da instalação, a própria barra de terra é conectada ao quadro de distribuição;

Barramento de terra de referência para equipamentos eletrônicos, o qual é apropriado para o aterramento dos equipamentos eletrônicos.

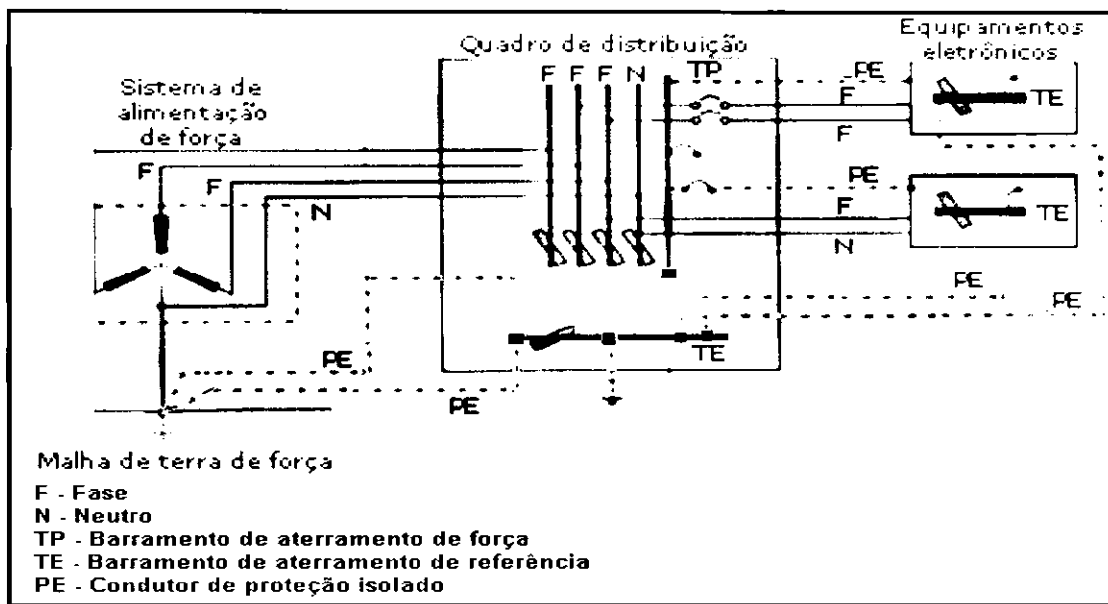


Figura 22: Sistema de aterramento para equipamentos eletrônicos de ponto único

O sistema de aterramento de ponto único representa um avanço na metodologia de aterramento dos equipamentos sensíveis, mas ainda possui alguns inconvenientes. O maior inconveniente desse sistema é a incapacidade dos condutores de proteção longos de equalizar os barramentos de terra nos casos em que são percorridos por correntes de alta frequência. Outro inconveniente é o acoplamento capacitivo entre o terra do equipamento eletrônico e a carcaça do equipamento, uma vez que os mesmos são isolados localmente. Estes inconvenientes são reduzidos quando os cabos de aterramento são curtos.

4.4 MALHA DE TERRA DE REFERÊNCIA (MTR)

O método de aterramento de equipamentos sensíveis mais recente consiste em se utilizar uma malha de referência, denominada Malha de Terra de Referência (MTR). O objetivo básico da malha de referência é o de cancelar o grave inconveniente de todos os tipos de malhas anteriores, no que concerne à incapacidade das mesmas de equalizar as

barras de terra dos diversos equipamentos eletrônicos para altas frequências, não permitindo então a entrada de ruídos indesejáveis nestes mesmos equipamentos.

Deve ser observado que a função básica da malha de referência é a equalização de potenciais e não a condução de correntes de curtos-circuitos. Isto significa que os condutores de proteção para retorno de curtos-circuitos fase-terra devem continuar existindo, dimensionados segundo a norma de instalação (NBR 5410/97). Na Figura 23 é mostrado um sistema de aterramento utilizando a MRT.

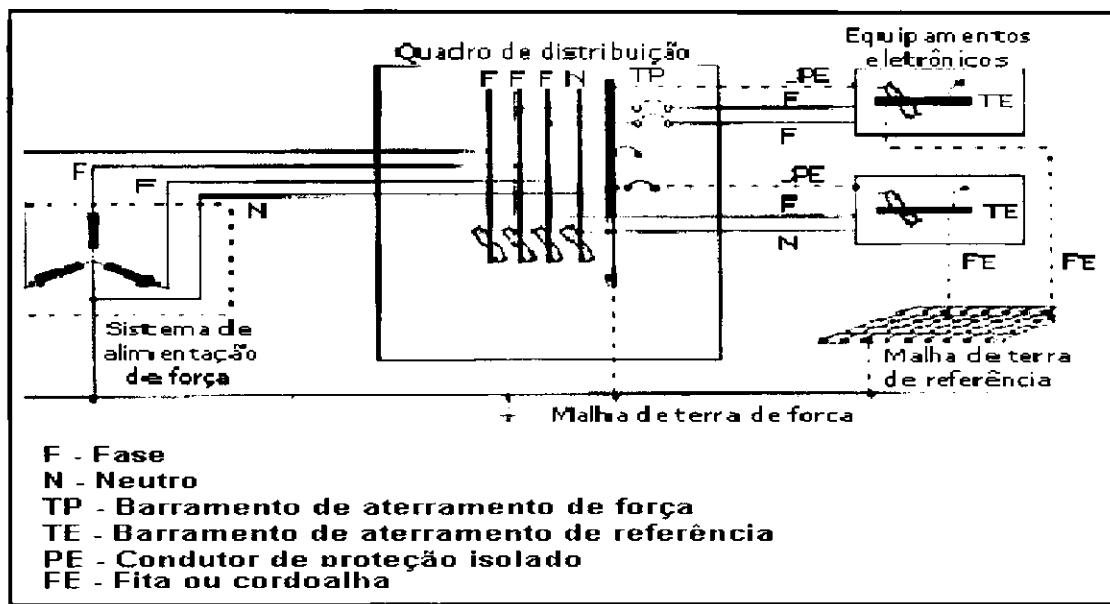


Figura 23: Sistema de aterramento para equipamentos eletrônicos Malha de Terra de Referência

A MTR deve ser obrigatoriamente conectada ao sistema de aterramento de força, para eliminar diferença de potencial, embora, sob o ponto de vista teórico, ela funcione até mesmo suspensa no ar. Podem existir um ou mais pontos de conexão, pois estes não interferem no funcionamento da MTR. Todas as carcaças e barras de terra de referência dos quadros de equipamentos eletrônicos sensíveis, assim como partes metálicas e demais equipamentos integrantes do ambiente, como eletrodutos, colunas metálicas, quadros de distribuição, etc., devem ser ligados à MTR por meio de cordoalhas ou fitas de cobre.

4.4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MTR

A construção da MTR é baseada nas pesquisas de condução de sinais de alta frequência em cabos condutores (linhas de transmissão). Conforme a teoria de comunicação de ondas conduzidas, se o comprimento físico do condutor é da ordem de grandeza do comprimento de onda da própria onda, então existirão diferenças de potencial ao longo do condutor. Por outro lado, se o comprimento físico do condutor é muito menor (10 a 20 vezes) que o comprimento da onda, então as diferenças de potencial ao longo do condutor são mínimas.

Portanto, uma malha de aterramento cuja malha (“mesh”), comprimento da janela, seja muito menor que o comprimento de onda da maior frequência de interferência, não existirão diferenças de potencial apreciáveis entre dois pontos quaisquer da malha. Idealmente, uma chapa equalizaria qualquer frequência por mais elevada que fosse, uma vez que não haveria espaçamento entre condutores. Na Figura 24 é mostrada uma seção da malha.

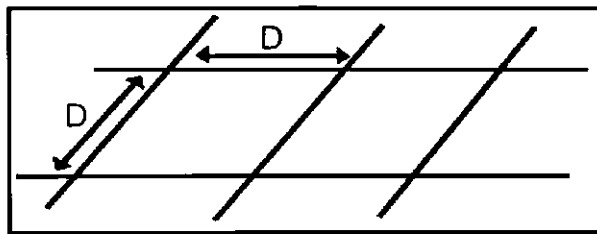


Figura 24: Seção de uma malha de aterramento

A distância entre condutores é determinada segundo as equações abaixo. O critério atual é adotar uma frequência no espectro de radiofrequência (30 MHz), que corresponde ao espectro da maioria das interferências presentes nos meios industriais e comerciais, incluindo descargas atmosféricas.

$$d = \frac{\lambda}{20} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad d = \frac{c}{20f}$$

em que:

- d é comprimento do “mesh” da malha, em metro;
- λ é o comprimento de onda do sinal de interferência, em metro;

- c é a velocidade da luz, 3×10^8 m/s;
- f é a frequência do sinal de interferência, em Hz.

Casos especiais devem ser analisados à parte. Segundo o critério adotado, a malha de referência de terra se constitui em um plano de referência, sem perturbações, tanto para frequências baixas, como para frequências da ordem de 30 MHz.

4.4.2 CONDUTOR DA MTR

A malha de terra de referência é projetada para conduzir correntes de alta frequência, logo apenas a periferia dos condutores da malha será utilizada para conduzir as correntes, devido ao efeito pelicular. Como praticamente apenas a área externa do condutor será utilizada, uma fita condutora de largura de cerca de 20 mm, possuindo uma área externa maior, apresentará melhor desempenho devido à sua impedância para altas frequências. Quanto maior for a relação largura/espessura da fita, melhor será o desempenho.

Embora o condutor ideal para altas frequências seja uma fita, por razões mecânicas, a construção da MRT é feita com cabos de seção circular. Mantendo-se o espaçamento devido, a MRT constituída por condutores de seção circular apresenta desempenho plenamente satisfatório, com a vantagem de ser adquirida no mercado, pré-fabricada, em diversas bitolas dos condutores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

SISTEMAS ATERRADOS E A TENSÃO DO NEUTRO

Os sistemas elétricos de distribuição em baixa tensão são aterrados, exceto por alguma razão bem peculiar um sistema não será aterrado. O neutro deve ser aterrado por razões funcionais, devido ao desbalanceamento das fases e desequilíbrio das tensões de fase, e por razões de proteção contra curtos-circuitos para a terra,. O aterramento do neutro é realizado próximo à fonte (transformador), ao longo da Rede de Distribuição e na entrada de cada instalação.

A tensão de flutuação do neutro é um problema ocasionado pelo desbalanceamento das fases, devido às cargas monofásicas e a diversidade dos consumidores. A tensão do neutro em relação à terra é reduzida a valores próximos a zero com o aterramento do neutro na fonte, ao longo da rede e na entrada do consumidor.

ATERRAMENTO E SUAS FUNÇÕES BÁSICAS

O aterramento desempenha uma série de funções nas instalações elétricas. O bom funcionamento e a vida útil de muitos equipamentos, sobretudo eletrônicos, dependem do aterramento. Embora o desconhecimento e/ou a irresponsabilidade negligenciem as normas, o aterramento deve ser executado segundo as normas de instalações elétricas NBR 5410/97 da ABNT. O aterramento deve apresentar uma resistência de terra baixa, inferior a 10Ω segundo a norma de proteção contra descargas atmosféricas NBR 5419/93 da ABNT, robustez mecânica, e a resistência de terra não deve ter o seu valor alterado ao longo do tempo.

Entre todas as funções do aterramento, a mais importante é garantir a proteção de pessoas contra os contatos diretos e indiretos, choques elétricos, em uma instalação elétrica. O aterramento de partes suscetíveis a energização é a forma mais segura de se prover a segurança das pessoas. O aterramento é um dos principais componentes de qualquer sistema de proteção, quer seja contra descargas elétricas, quer seja contra curtos-circuitos fase-terra, etc.

O dimensionamento do aterramento de uma instalação é extremamente delicado, pois os diversos sistemas de proteção de uma instalação convergem para o mesmo

aterramento. O compartilhamento do mesmo aterramento por parte dos sistemas de proteção assegura a equipotencialidade de todos os equipamentos da instalação, mas deve-se ter muito cuidado com as sobretensões que podem se propagar na instalação. As instalações onde há equipamentos eletrônicos sensíveis e há riscos de sobretensões não podem prescindir de um sistema de proteção contra sobretensões, nos quais são utilizados dispositivos supressores de surtos.

A existência do aterramento em qualquer instalação é exigida por norma. A utilização de quaisquer dispositivos de proteção na instalação não dispensa a presença do aterramento.

ESQUEMAS DE ATERRAMENTO

O esquema de aterramento TT, o qual apresenta dois aterramentos separados (isolados eletricamente), um para o neutro e outro para as massas da instalação, era o aterramento mais aconselhado até a década passada. No entanto, devido aos problemas da insegurança da atuação dos dispositivos de proteção contra faltas para a terra e, sobretudo, à falta de equipotencialidade entre o neutro e o aterramento, o esquema TT vem sendo desaconselhado. O esquema TT original (com os aterramentos isolados eletricamente) para garantir a equipotencialidade e garantir a atuação dos dispositivos de proteção deve ser modificado. Os dois aterramentos devem ser interligados por um cabo de cobre nu.

O esquema TN com seus variantes, TN-C, TN-S e TN-C-S, caracterizados pela conexão elétrica entre o neutro e o condutor de aterramento, supera as deficiências do esquema TT. A equipotencialidade é assegurada, bem como a atuação dos dispositivos de proteção. Porém, os problemas com sobretensões e interferências eletromagnéticas se tornam mais pronunciados, sobretudo no esquema TN-C. O esquema TN-C não deve ser adotado para o aterramento de equipamentos eletrônicos.

O esquema IT, caracterizado pelo aterramento por meio de uma impedância, é aplicado em instalações onde é necessário manter o sistema energizado, mesmo na ocorrência de uma falta ou para diminuir os níveis da corrente de curto-circuito. Hospitais e indústrias são as instalações que geralmente adotam o esquema IT.

ESQUEMA DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Os procedimentos de aterramento de equipamentos eletrônicos evoluíram muito nos últimos anos. Os equipamentos eletrônicos necessitam do aterramento para referência de potencial e para proteção dos usuários, aterramento da carcaça. O aterramento de equipamentos eletrônicos deve ser o mais limpo possível de interferências eletromagnéticas, além de apresentar equalização entre o neutro e o condutor de aterramento.

O esquema TT foi adotado inicialmente para o aterramento de equipamentos eletrônicos, mas sua utilização foi abandonada pelos problemas devido a interferências e falta de equipotencialidade. Atualmente, o esquema de aterramento para equipamentos eletrônicos de maior confiabilidade é a malha de terra de referência (MTR), o qual utiliza uma malha de aterramento com a distância entre os condutores transversalmente conectados pequena de modo que sinais de alta frequência sejam suprimidos. Os terminais de aterramento para referência são conectados na MTR e as carcaças dos equipamentos eletrônicos são aterradas no aterramento de força da instalação. O aterramento dos equipamentos de força e a MTR devem ser conectados para garantir a equipotencialidade entre o neutro e o terra.

É aconselhável a proteção dos equipamentos eletrônicos e/ou os circuitos que os alimentam contra sobretensões. A proteção contra sobretensões é provida por meio de dispositivos supressores de surto ou a associação dos mesmos.

BIBLIOGRAFIA

COSTA, P.F. Sistemas de Aterramento para Equipamentos Eletrônicos Sensíveis. 1998.

LEITE, C.M.; PEREIRA FILHO, M.L. Técnicas de Aterramentos Elétricos, 2º edição. Oficina de Mydia. São Paulo: 1996.

LEITE, D.M.; LEITE, C.M. Proteção Contra Descargas Atmosféricas, 3º edição. Oficina de Mydia. São Paulo: 1997.

MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais, 6º edição. LTC Editora. Rio de Janeiro: 2001.

MORENO, H.; COSTA, P.F. Aterramento Elétrico. Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE).

NBR 5410/97 – Instalações elétricas de Baixa tensão. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997.

NBR 5419/93 – Proteção das estruturas contra descargas atmosféricas. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1993.

Esquemas de Aterramento – Schneider Eletric.