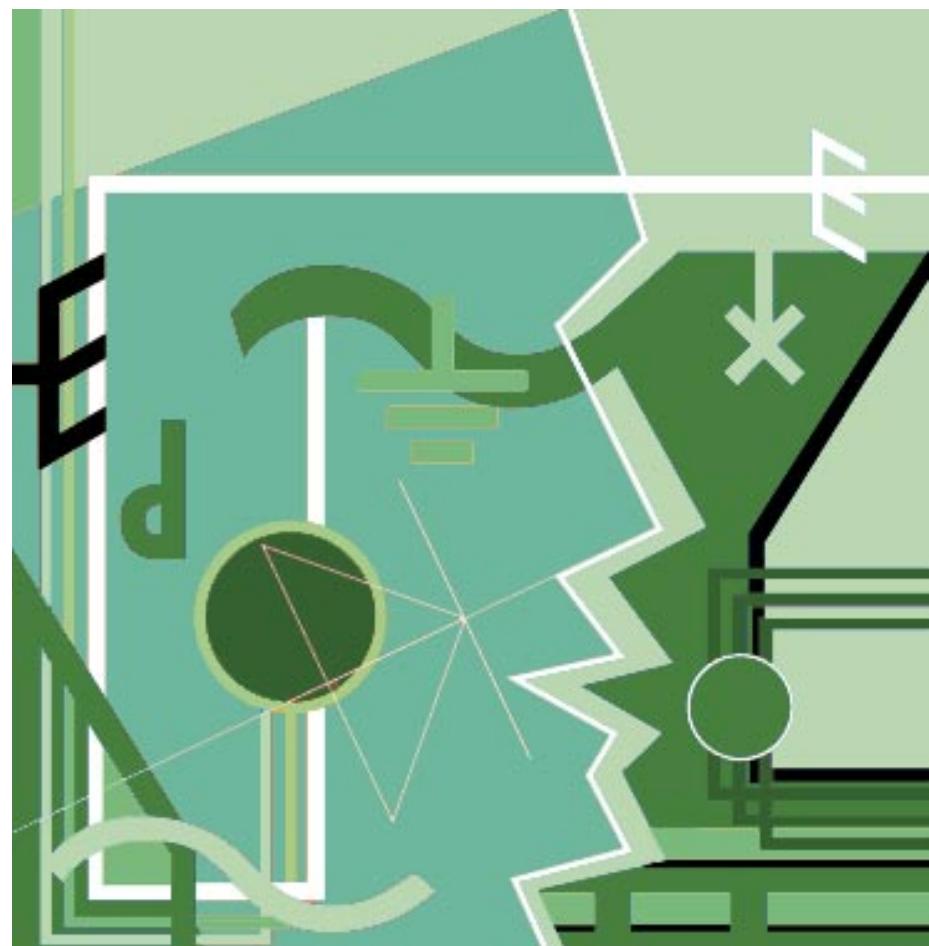


Programa de Formação Técnica Continuada

Esquemas de Aterramento



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Índice

1.0 Introdução

1.1	Definição dos esquemas padronizados de aterramento.....	2
1.2	Caracterização e objetivos.....	2
1.3	Esquema TT (neutro aterrado).....	2
1.4	Esquema TN.....	2
1.5	Esquema TN-C.....	2
1.6	Esquema TN-S.....	2
1.7	Esquema TN-C-S.....	2
1.8	Esquema IT(neutro isolado).....	3
1.9	Esquema IT (neutro aterrado por impedância).....	3

2.0 Características dos esquemas de aterramento

2.1	Esquema TN-C.....	3
2.1.1	Características.....	3
2.1.2	Conseqüências.....	3

3.0 Esquema TN-S

3.1	Características.....	5
3.2	Conseqüências.....	5
3.3	Compatibilidade eletromagnética.....	5
3.4	Arranjo da proteção contra contatos indiretos e fogo.....	5
3.5	Projeto e operação.....	6
3.6	Qualquer modificação da instalação requer um rearranjo e verificação das condições de proteção.....	6

4.0 Esquema TT

4.1	Características.....	6
4.2	Conseqüências.....	6

5.0 Esquema IT

5.1	Características.....	7
5.2	Conseqüências.....	7
5.3	Projeto e operação.....	8

6.0 Implementação do sistema TN

6.1	Condições preliminares.....	8
6.2	Condições impostas.....	9
6.3	Proteção contra contatos indiretos.....	9
6.4	Métodos de determinação do nível de corrente de curto-circuito.....	9
6.5	Método das impedâncias.....	10
6.6	Método da composição.....	10
6.7	Método convencional.....	10

7.0 Proteção em áreas de alto risco.....12

8.0 Proteção em áreas de alto risco.....13

8.1	Condições preliminares.....	13
8.2	Condição de primeira falta.....	13
8.3	Princípio da monitoração de falta à terra.....	13
8.4	Exemplos de equipamentos e dispositivos.....	13
8.5	Implementação de dispositivos de monitoração permanente de isolação (PIM).....	14

1.0 Introdução

1.1 Definição dos esquemas padronizados de aterramento

Os diferentes esquemas de aterramento descritos caracterizam o método de aterramento do neutro da BT de um transformador AT/BT e o aterramento das partes metálicas expostas da instalação suprida por ele. A escolha desses métodos orienta as medidas necessárias para proteção contra os riscos de contatos indiretos.

1.2 Caracterização e objetivos

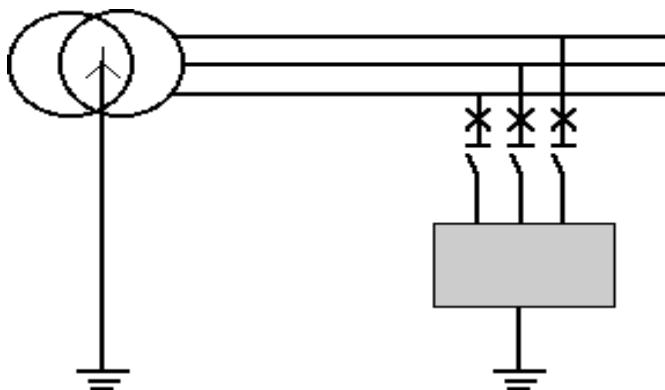
Os esquemas de aterramento a serem descritos caracterizam o método de aterramento do neutro da BT de um transformador AT/BT (ou qualquer outra fonte) e os meios de aterramento das partes metálicas expostas da instalação de BT.

A escolha do esquema de aterramento determina as medidas a serem tomadas para proteção das pessoas contra os riscos de contatos indiretos. Se necessário, vários esquemas de aterramento podem coexistir em uma instalação.

1.3 Esquema TT (neutro aterrado)

Um ponto (geralmente o centro da estrela de um enrolamento BT ligado em estrela) da fonte é ligado diretamente à terra. Todas as partes metálicas expostas e todas as partes metálicas estranhas à instalação são ligadas a um eletrodo de terra separado na instalação.

Este eletrodo é independente do eletrodo da fonte, podendo suas zonas de influência se sobrepor, sem afetar a operação dos dispositivos de proteção.



1.4 Esquemas TN

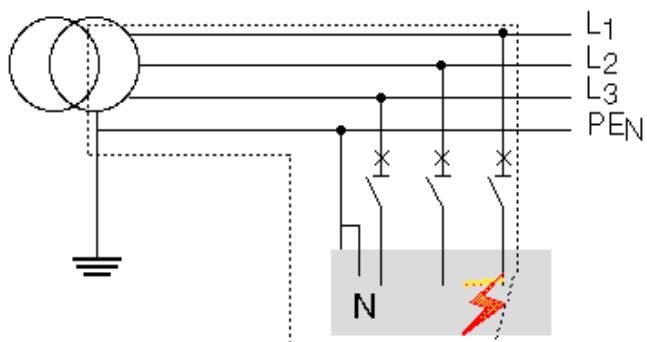
A fonte é aterrada como no esquema TT (acima). Na instalação, todas as partes metálicas expostas e as partes também metálicas mas não pertencentes à instalação são ligadas ao condutor neutro . As várias versões dos esquemas TN são:

TN-C
TN-S
TN-C-S

1.5 Esquema TN-C

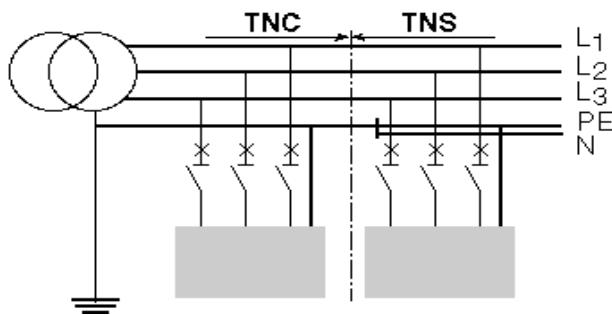
O condutor neutro é também usado como condutor de proteção e é designado como PEN (condutor de proteção e neutro). **Este esquema não é permitido para condutores de seção inferior a 10mm² e para os equipamentos portáteis**

O esquema TN-C requer o estabelecimento de um ambiente equipotencial eficiente dentro da instalação com eletrodos de terra espaçados tão regularmente quanto possível.



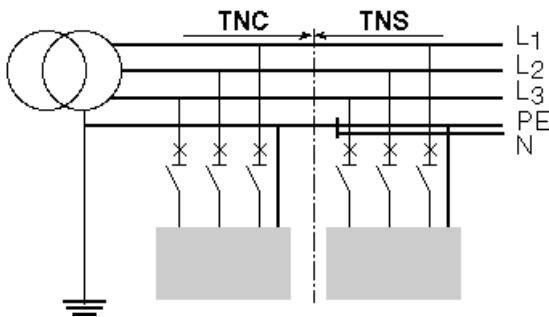
1.6 Esquema TN-S

Os condutores de proteção e neutro são separados. Em sistemas com cabo enterrado onde exista uma capa de proteção de chumbo, o condutor de proteção é geralmente a capa de chumbo. O uso de condutores separados PE e N (cinco fios) é obrigatório para circuitos de seção inferior a 10mm² para cobre e 16mm² para alumínio e em equipamentos móveis.



1.7 Esquema TN-C-S

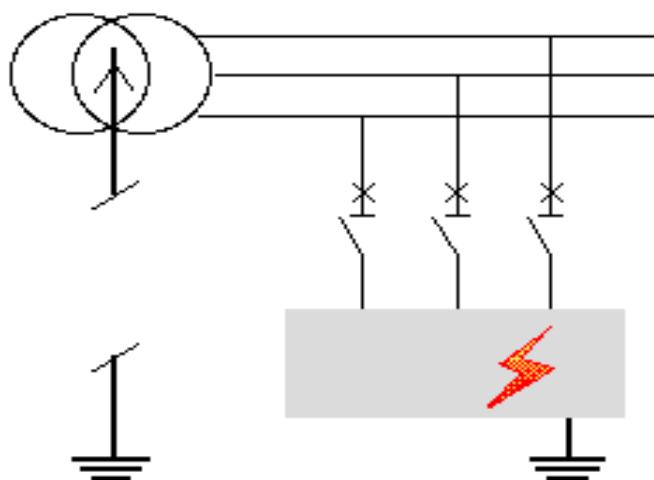
Os esquemas TN-C e TN-S podem ser usados na mesma instalação. No esquema TN-C-S , o esquema TN-C não devem nunca ser usado a jusante do sistema TNS. O ponto em que o condutor PE se separa do condutor PEN é geralmente na origem da instalação.



1.8 Esquema IT (neutro isolado)

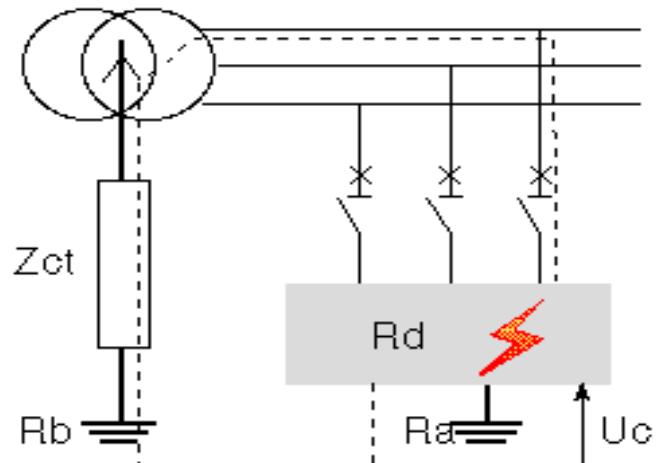
Nenhuma conexão intencional é feita entre o ponto neutro da fonte e a terra. Todas as partes condutoras expostas e estranhas à instalação são ligadas ao eletrodo de terra.

Na prática todos os circuitos têm uma impedância de fuga para a terra já que nenhuma isolamento é perfeita. Em paralelo com esta resistência de fuga distribuída há uma capacidade distribuída e essas partes juntas constituem a impedância normal para a terra. Exemplo: um sistema de baixa tensão, trifásico, 3 fios com um quilômetro de cabo tem uma impedância de fuga equivalente a uma impedância de terra do neutro Z_{ct} de 3.000 a 4.000 Ω .



1.9 Esquema IT (neutro aterrado por impedância)

Uma impedância Z_s (da ordem de 1.000 a 2.000 ohms) é ligada permanentemente entre o neutro do enrolamento de BT do transformador e a terra. Todas as partes metálicas expostas e estranhas à instalação são ligadas a um eletrodo de terra. As razões para esta forma de aterramento da fonte são: fixar o potencial de uma pequena rede em relação à terra (Z_s é pequena quando comparada com a impedância de fuga) e reduzir o nível de sobretensões, tais como os surtos em relação à terra transmitidos pelos enrolamentos de alta tensão, cargas estáticas, etc.



2.0 Características dos esquemas de aterramento

Cada sistema de aterramento reflete três escolhas técnicas:

- Método de aterramento;
- Disposição dos condutores de proteção;
- Disposição da proteção contra contatos indiretos.

Consequências:

- Choque elétrico;
- Fogo (Incêndio);
- Continuidade do sistema de força;
- Sobretenções;
- Perturbações eletromagnéticas;
- Projeto e Operação.

2.1 Esquemas TN-C

2.1.1 Características

- Método de Aterramento:

O neutro é ligado diretamente à terra. O condutor neutro é aterrado em tantos pontos quanto possível.

Partes metálicas expostas do equipamento e partes metálicas estranhas ao equipamento são ligadas ao condutor neutro;

- Arranjo da proteção contra contatos indiretos

É obrigatória a desconexão automática no evento de uma falha na isolação.

Esta desconexão deve ser provida por disjuntores (de preferência) ou fusíveis. Quando há o PEN os dispositivos de corrente residual não podem ser usados para essa finalidade desde que uma falta na isolação para terra também constitui um curto circuito fase/neutro.

2.1.2 Consequências

Sobretensões:

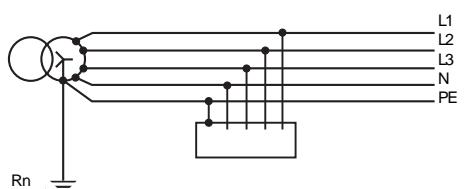
- durante uma falha na isolação de AT, irá aparecer uma tensão de freqüência industrial entre as partes metálicas expostas do equipamento de baixa tensão e um terra distante;
- a continuidade do fornecimento de energia, a compatibilidade eletromagnética e o incêndio;
- a corrente de falta da isolação é elevada (da ordem de vários kA).
- Durante uma falha da isolação BT a queda de tensão na fonte, as perturbações eletromagnéticas e o risco de danos (incêndio, enrolamentos de motores e estruturas magnéticas) são altos;
- sobretensões: durante uma falta a tensão entre fases e as massas sobe para um valor de $1,45 \times U_n$

O esquema TN-C é proibido para circuitos com condutor inferior a 10mm^2 . É também proibido para condutores flexíveis.

- Proteção contra Incêndio: O esquema TN-C é proibido em instalações onde há um alto risco de incêndio ou explosão

A razão é que a conexão das partes metálicas estranhas do edifício ao condutor PEN cria um fluxo de corrente nas estruturas resultando em um risco de incêndio e perturbações eletromagnéticas. Durante faltas da isolação estas correntes de circulação são consideravelmente aumentadas. Estes fenômenos constituem a razão da proibição do uso do esquema TN-C em instalações em que o risco de incêndio é alto.

A presença de qualquer comprimento de condutor PEN em um edifício leva ao fluxo de correntes nas partes metálicas expostas e na blindagem de equipamentos alimentados por um sistema TN-S.



■ compatibilidade eletromagnética: quando um condutor PEN é instalado em um edifício, independentemente do seu comprimento, ele leva a uma queda de tensão de freqüência industrial em condições normais de operação, criando diferenças de potencial e, portanto, o fluxo de correntes em qualquer circuito formado por partes metálicas expostas da instalação, partes metálicas estranhas do edifício, cabos coaxiais e a blindagem de computadores ou sistemas de telecomunicações. Estas quedas de tensões são amplificadas em instalações modernas pela proliferação de equipamentos gerando harmônicos de terceira ordem. A grandeza desses harmônicos é triplicada no condutor neutro ao invés de ser cancelada como no caso da fundamental;

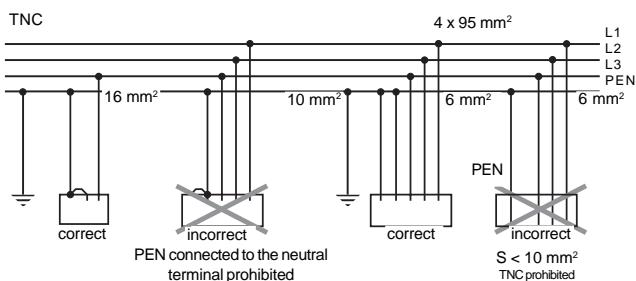
- em uma maneira menos aparente essas correntes de circulação correspondem a um desbalanço das correntes no circuito de distribuição e portanto à criação de campos magnéticos que podem perturbar tubos de raios catódicos, monitores, certos equipamentos médicos etc. em níveis tão baixos quanto $0,7\text{A/m}$ (isto é, 5 amperes passando a um metro de uma carga sensível - EES). Esse fenômeno é amplificado no evento de uma falta na isolação;
- corrosão: a corrosão tem duas fontes, primeiro a componente CC que o condutor PEN pode conduzir e segundo, as correntes telúricas que corroem os eletrodos de terra e as estruturas metálicas no caso de um aterramento múltiplo;
- arranjo da proteção contra contatos indiretos.

Devido às altas correntes de curto e tensões de toque:

- uma desconexão automática é obrigatória no evento de uma falha na isolação;
- esta desconexão precisa ser provida por disjuntores ou fusíveis. Nas instalações com um condutor combinado neutro e proteção os dispositivos de correntes residuais não podem ser usados com este propósito desde que uma falta da isolação para a terra também constitui um curto circuito fase/neutro;
- incêndio: a proteção não é provida para certos tipos de faltas (faltas de alta impedância) que não são instantaneamente transformadas em curto-circuitos francos. Somente dispositivos de corrente residual oferecem este tipo de proteção. Esta situação, portanto, apresenta um risco de incêndio;
- projeto e operação: quando são usados disjuntores ou fusíveis para proteção contra

contatos indiretos a impedância da fonte, os circuitos a montante e os circuitos a jusante (os únicos a serem protegidos) precisam ser conhecidos na fase de projeto e permanecerem inalterados a não ser que a proteção seja também alterada. Esta impedância precisa ser medida depois da instalação e a partir de então a intervalos regulares (dependendo do tipo da instalação considerada). As características dos dispositivos de proteção são determinadas por estes elementos;

- quando a instalação pode ser suprida por duas fontes (UPS, conjunto motor - gerador, etc.), as características comandando a abertura do disjuntor ou a fusão do fusível precisam ser determinadas para cada configuração e cada fonte usada;



- cada circuito é projetado de uma vez para sempre e não pode exceder um comprimento máximo especificado nas tabelas de projeto em função do esquema de proteção utilizado; cabos superdimensionados podem ser necessários em certos casos;

Qualquer modificação na instalação requer um recálculo e uma verificação nas condições de proteção.

3.0 Esquema TN-S

3.1 Características

■ método de Aterramento:

- O ponto neutro do transformador (ou do sistema de suprimento se a distribuição usa um esquema TNC e a instalação o esquema TN-S) é aterrado somente uma vez, na origem da instalação,
- As partes metálicas expostas do equipamento e as partes estranhas também metálicas são ligadas aos condutores de proteção os quais por sua vez são ligados ao neutro do transformador;

■ Arranjo dos condutores de proteção PE

Os condutores PE são separados dos condutores neutros e são dimensionados para a maior corrente de curto que possa ocorrer;

■ Arranjo da proteção contra contatos indiretos

Devido às altas correntes e tensões de toque: uma desconexão automática é obrigatória no evento de uma falha da isolação,

- Esta desconexão precisa ser provida por disjuntores, fusíveis ou dispositivos de corrente residual desde que a proteção contra contatos indiretos possa ser separadas da proteção contra faltas fase/fase ou fase/neutro.

3.2 Consequências

■ Método de aterramento:

O ponto neutro do transformador (ou do sistema de fornecimento se a distribuição usa um esquema TNC e a instalação um sistema TN-S) é aterrado somente uma vez e na origem da instalação, as partes metálicas externas do equipamento e as partes metálicas externas ao equipamento são conectadas aos condutores de proteção os quais por sua vez são ligados ao neutro do transformador;

■ Sobretensões:

Sob condições normais o neutro do transformador, as partes condutoras expostas e o eletrodo de terra estão ao mesmo potencial ainda que fenômenos transitórios não possam ser excluídos e podem levar ao uso de pára-raios entre os condutores fase, neutro e partes metálicas externas;

■ A continuidade do fornecimento, a compatibilidade elétromagnética e o incêndio: os efeitos de faltas entre a alta e baixa tensão, falhas na isolação de alta tensão e falhas na isolação de baixa tensão são semelhantes àqueles descritos para o sistema TN-C; em particular a corrente nas falhas de isolação não é limitada por nenhuma impedância do eletrodo terra e é por isso alta (vários kA) (Veja pontos 2, 3 e 4 da parte correspondente ao esquema TN-C);

■ O condutor neutro não pode ser aterrado.

Isto evita a criação de um esquema TN-C com suas inerentes desvantagens, isto é, queda de tensão e correntes de carga no condutor de proteção sob condições normais de operação;

■ Arranjos dos condutores de proteção

Os condutores PE são separados dos condutores neutros e são dimensionados para a maior corrente de falta que possa ocorrer.

3.3 Compatibilidade Eletromagnética

Sob condições normais o condutor PE em oposição ao condutor PEN não é sujeito a queda de tensão e todos as consequências resultantes do sistema TN-C são portanto eliminadas; o esquema TN-S é semelhante nesse aspecto ao esquema TT,

No evento de uma falta na isolação aparece uma alta tensão de curta duração ao longo do condutor PE criando os mesmos problemas transitórios que no esquema TN-C;

3.4 Arranjo da Proteção contra contatos indiretos e fogo

Devido às altas correntes de falta, e às tensões toque, é obrigatória uma desconexão automática no evento de uma falha da isolação, essa desconexão precisa ser proporcionada por disjuntores, fusíveis ou dispositivos de corrente residual desde que a proteção contra os contatos indiretos possa ser separada da proteção contra os curtos circuitos fase/fase ou fase/neutro; se a proteção contra contatos indiretos for fornecida por dispositivos de proteção contra sobre correntes, as mesmas características se aplicam, como no esquema TN-C;

Fogo: A proteção não é provida para faltas impedantes levando a um risco de incêndio;

3.5 Projeto e operação

A impedância dos cabos das fontes e aquela do circuito a ser protegido, precisam ser verificadas por medição depois da instalação e a intervalos regulares, assim como uma dupla determinação das condições de desconexão quando a instalação pode ser suprida por duas pontes (UPS, gerador de reserva etc.),

Os circuitos têm um comprimento máximo que não pode ser excedido.

3.5 Qualquer modificação da instalação requer um rearranjo e verificação das condições de proteção.

Se a proteção contra contatos indiretos for provida por dispositivo de corrente residual: para evitar um disparo indesejável é freqüentemente possível usar correntes residuais altas da ordem de 1 ampere ou mais;

■ Fogo, Projeto e Operação

□ As condições acima discutidas são eliminadas e são obtidas as vantagens do esquema TT.

□ O uso de dispositivo de corrente residual com condições correntes de operação de 500mA ajuda a prevenir danos de origem elétrica os quais podem ocorrer no evento de faltas de impedância ou devido a altos níveis de faltas de isolamento.

4.0 Esquema TT

4.1 Características

■ Métodos de Aterramento

□ O ponto neutro do transformador é ligado diretamente à terra,

□ As partes metálicas expostas do equipamento são ligadas por condutores de proteção ao eletrodo de terra da instalação o qual é geralmente independente do condutor de aterramento do neutro do transformador;

□ Disposição dos condutores de proteção

Os condutores PE são separados dos condutores neutro e são dimensionados para a maior corrente de falta que possa ocorrer;

■ Arranjo da proteção contra contatos indiretos

A desconexão automática é obrigatória no evento de uma falta da isolação.

Na prática esta desconexão é obtida por dispositivos de correntes residual. Suas correntes de operação precisam ser suficientemente baixas para os dispositivos detectarem a corrente de falta, limitada pelas duas resistências em série dos eletrodos de terra.

■ Métodos de Aterramento

4.2 Consequências

■ O ponto de neutro do transformador é ligado diretamente à terra;

■ As partes metálicas expostas do equipamento são ligadas por condutores de proteção ao eletrodo de terra da instalação o qual é geralmente independente do eletrodo de terra do neutro do transformador;

■ Sobretensões: ainda que, como no esquema TN o potencial das partes metálicas expostas e o eletrodo de terra sejam o mesmo isto pode não ser verdade para o condutor neutro o qual é galvanicamente ligado a um eletrodo e partes metálicas expostas distintas e, em alguns casos, relativamente afastadas (freqüentemente o caso para quedas de raio em áreas rurais). Em áreas industriais ou urbanas este não é geralmente o caso. O acoplamento dos dois eletrodos de terra é a partir de um ponto de vista geral um compromisso aceitável. A instalação de pára-raios proporciona o nível necessário de proteção;

■ Compatibilidade Eletromagnética: no evento de uma falta da isolação a corrente de falta é relativamente baixa. Por exemplo, com um

eletrodo com resistência de um eletrodo de terra de 230V/100A igual aproximadamente a 2,3 ohms, a corrente de falta é somente 100A. Como consequência a queda de tensão criada pela falta, as perturbações eletromagnéticas e a diferença de potencial transitória entre os aparelhos, (por exemplo dois PCs interligados) conectados por um cabo blindado são muito mais facilmente suportáveis que para o esquema TN-S;

- Arranjo dos condutores de Proteção

Os condutores de proteção são separados do neutro e são dimensionados para a maior corrente de falta que possa ocorrer;

- Compatibilidade Eletromagnética: sob condições normais o condutor PE não é sujeito a queda de tensão e todas as inconveniências do esquema TN-C são por isso eliminadas. Na eventualidade de uma falha da isolação a tensão de curta duração que aparece ao longo do condutor PE é baixa e as perturbações resultantes são desprezíveis;
- Projeto e Operação: para circuitos de distribuição a seção transversal do condutor PE pode ser menor que para o esquema TNS;
- Arranjo da Proteção contra Contatos Indiretos: É obrigatória desconexão automática no evento de uma falha na isolação.
- Na prática, esta desconexão é obtida por dispositivos de corrente residual. Suas correntes de operação precisam ser suficientemente baixas para os dispositivos detectarem as correntes de falta limitadas pelas resistências de dois eletrodos de terra em série.
- Dispositivos de Correntes Residual são adicionados na forma de relés para disjuntores e na forma de RCCBs para fusíveis. Eles podem proteger um circuito singelo ou um grupo de circuitos e suas correntes de operação são escolhidas de acordo com o máximo valor da resistência R do eletrodo de terra para as partes condutoras expostas,
- a presença de dispositivos de corrente residual minimiza as restrições de projeto e operação. Não é necessária a impedância da fonte a montante e não há limites em relação ao comprimento dos circuitos (exceto para evitar quedas de tensão excessivas). Uma instalação pode ser modificada ou ampliada sem cálculos ou medições “in-situ”,

- o uso de uma fonte de reserva pela concessionária ou operadora é executada facilmente;
- fogo: o uso de dispositivos de corrente residual com correntes de operação $\leq 500\text{mA}$ previne os incêndios de origem elétrica;
- compatibilidade eletromagnética: correntes de falha de isolação duram um tempo muito curto, menos de 100ms (ou menos que 400ms em circuitos de distribuição) e são de baixa amplitude.

5.0 Esquema IT

5.1 Características

- método de aterramento
- O neutro do transformador é isolado da terra ou aterrado através de uma impedância e um limitador de sobretensões. Sob condições normais, seu potencial é mantido perto daquele das partes condutoras expostas pelas capacitâncias do equipamento e barramento.

Partes metálicas expostas do equipamento e partes condutoras estranhas do edifício são ligadas ao eletrodo de terra do edifício;

- arranjo dos condutores PE. Os condutores PE são separados dos condutores N e são dimensionados para a maior corrente de falta que possa ocorrer;
- arranjo da proteção contra contatos indiretos. A corrente de falta no evento de uma única falha da isolação é baixa e não apresenta nenhum risco. A ocorrência de um segunda falta deve ser tornada altamente improvável pela instalação de um dispositivo de monitoração que irá detectar e indicar a ocorrência da primeira falta que deve ser então prontamente localizada e eliminada.

5.2 Consequências

- método de aterramento. O neutro do transformador é isolado da terra ou é aterrado através de uma impedância e um limitador de sobretensões. Sob condições normais, seu potencial é mantido próximo daquele das partes condutoras expostas pelas capacitâncias do equipamento. As partes condutoras expostas do equipamento e partes condutoras estranhas do edifício são ligadas ao eletrodo de terra do edifício:

- sobretensões:

- sob condições normais , o condutor , as partes condutoras expostas e o eletrodo estão virtualmente ao mesmo potencial,
- um limitador de sobretensões deve ser instalado para evitar uma elevação de potencial entre as partes vivas e as partes expostas condutoras o que pode exceder a suportabilidade do equipamento de BT no evento de uma falta originada na instalação de alta tensão. A proteção contra sobretensões deve ser implementada de acordo com o critério comum a todos os esquemas de aterramento;
- continuidade de energia da fonte e a compatibilidade eletromagnética:
- a corrente da primeira falta da isolação é baixa, como resultado da capacidade entre os condutores vivos e as partes condutoras expostas tais como aquelas do circuito de carga e filtros HF,
- uma primeira falta da isolação não produz qualquer queda de tensão na rede ou perturbações eletromagnéticas em uma larga faixa de freqüências correspondente à ocorrência de uma clássica corrente de falta de isolação.
- Sobretensões: depois de uma primeira falta, o equipamento continua a ser energizado e uma tensão fase-fase gradualmente aparece entre as fases sãs e as partes metálicas expostas. O equipamento precisa ser escolhido tendo em mente esta situação.

Notas:

- A norma IEC 950 (ou EN 60950) define a categoria do equipamento de processamento de dados que pode ser usado em sistemas IT;
- Se forem usados pára-raios, a norma estipula que suas tensões nominais devem ser escolhidas de acordo com a tensão fase-fase.
- Continuidade do fornecimento de energia e compatibilidade eletromagnética: uma segunda falta de isolação pode ocorrer em uma outra fase, dando origem a um novo curto-círcuito com os respectivos riscos. O usuário de um sistema IT deve admitir que esta situação nunca pode ocorrer, ainda que nas normas, por uma questão de segurança essa possibilidade é admitida;
- Arranjos dos condutores PE.

Os condutores PE são separados dos condutores neutro e são dimensionados para a máxima corrente de falta que possa ocorrer;

- Compatibilidade eletromagnética: sob condições normais, e ainda quando ocorra uma primeira falta,

os condutores PE não devem apresentar queda de tensão. É mantido um alto nível de equipotencialidade entre os condutores de proteção, condutores funcionais de aterramento, partes metálicas expostas e partes condutoras estranhas do edifício ao qual elas são interligadas;

- Arranjo da proteção contra contatos indiretos. A corrente de falta na eventualidade de uma única falta da isolação é baixa e não representa risco. A ocorrência de uma segunda falta deve ser considerada altamente improvável pela instalação de um dispositivo de monitoração que irá detectar e indicar a ocorrência de uma primeira falta que deve ser prontamente localizada e eliminada.

Os dispositivos de proteção são projetados para operar no evento de uma dupla falta. Se forem usados disjuntores e fusíveis, as regras são semelhantes àquelas usadas no esquema TN.

Podem ser usados também dispositivos de corrente residual. Se ocorrerem faltas a juntar do mesmo dispositivo de corrente residual, o dispositivo considera a corrente de falta como uma corrente de carga e pode não disparar. Um dispositivo de corrente residual separado é então requerido para cada circuito.

Se dois locais têm a mesma instalação usando um esquema IT, e seu sistema de eletrodos de terra não são conectados, um dispositivo de corrente residual precisa ser sempre incluído no início de cada instalação. Esta medida previne a criação de uma situação perigosa, uma falta de isolação na fase 1 do primeiro local e outra na fase 2 no segundo local.

incêndio: o uso de um dispositivo de monitoração da isolação e possivelmente dispositivos de corrente residual operando com correntes inferiores a 500mA previne incêndio de origem elétrica.

5.3 Projeto e operação:

- pessoal de manutenção treinado precisa ser disponível para localizar e eliminar prontamente a primeira corrente de falta de isolação,
- a instalação precisa ser projetada com grande cuidado: o uso de esquema IT aonde justificável pelos requisitos relacionados à continuidade do fornecimento de energia, isolação das cargas com correntes de fuga elevadas (certos fornos e certos tipos de hardware para computadores), verificação da influência de correntes de fuga, em particular com respeito a dispositivos de corrente residual, divisão da instalação, etc.,
- se forem usados dispositivos de corrente residual de 30mA para proteger os circuitos das tomadas:

a corrente de fuga capacitiva total a juntar de um dispositivo não pode exceder 10mA. O valor é estimado usando a tensão fase-fase para a fase e a tensão fase/neutro para o neutro;

se as cargas energizadas por um tal circuito não são críticas, o dispositivo de corrente residual pode disparar em uma primeira falta de isolação, eliminando-o então imediatamente. Por outro lado deve ser evitado o uso de tomadas ou outras medidas devem ser implementadas,

- comentário: o condutor terra, se distribuído, precisa ser protegido por dispositivos tetrapolares incluindo proteção de neutro ou dispositivos bipolares.

Em caixas terminais de distribuição, o uso de dispositivo de proteção uni-polar + neutro é permitido se as características nominais para a fase e neutro são as mesmas ou próximas, e um dispositivo de corrente residual está instalado a montante.

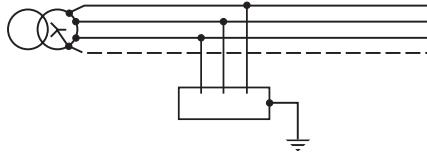
6.0 Implementação do sistema TN

6.1 Condições preliminares

No estágio de projeto, precisa ser calculado o comprimento máximo dos cabos a jusante de um disjuntor de controle (ou conjunto de fusíveis) e durante a execução precisam ser obedecidas certas regras.

6.2 Condições impostas

Precisam ser observadas certas condições, de acordo com a listagem a seguir e ilustradas na fig.40.



1. Precisam ser instalados eletrodos de aterramento distribuídos regularmente (tanto quanto possível) ao longo do condutor PE.

Nota: Isto não é normalmente feito nas instalações de residências singelas; nestes casos é suficiente a instalação de um eletrodo na entrada da instalação.

2. o condutor PE não deve passar através de conduites ferromagnéticos, dutos, etc. ou ser instalado sobre estrutura metálica, desde que os efeitos indutivos e de proximidade podem aumentar a impedância efetiva do condutor.

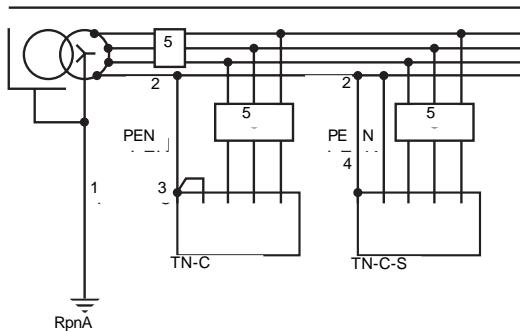
3. no caso de um condutor PEN (um neutro que serve também como condutor de proteção), precisa ser feita a conexão direta ao terminal terra de um aparelho (vide 3 na fig. 40) antes de ligá-lo ao terminal neutro desse aparelho.

4. se o condutor tiver seção inferior a 6mm^2 para o cobre ou 10 mm^2 para o alumínio, ou quando o cabo for móvel,

os condutores Neutro e Proteção devem ser separados (i.e., deve ser adotado o sistema TN-S na instalação).

5. as faltas à terra devem ser eliminadas por dispositivos de proteção contra sobrecorrente, i. e. fusíveis ou disjuntores.

A lista a seguir indica as condições a serem respeitadas para a implementação de um sistema TN para a proteção contra contatos indiretos.



notas

(1) o esquema TN requer que o neutro da baixa tensão de um transformador MT/BT, e as partes condutoras expostas da SE e da instalação sejam todas aterradas em um sistema único de aterramento.

(2) quando a medição da SE for na baixa tensão, é exigido um meio de isolamento (chave seccionadora, por ex.) na origem da instalação da BT que torne visível a isolamento.

(3) um condutor PEN não deve ser interrompido em nenhuma circunstância. Os dispositivos de controle e comando para os diversos arranjos TN devem ser:

- tripolares quando o circuito inclui um condutor PEN,
- preferivelmente tetrapolares (3 fases + neutro) quando o circuito inclui um neutro e um condutor PE separados.

6.3 Proteção contra contatos indiretos

São normalmente usados três métodos de cálculo:

- o **método das impedâncias**, baseado na soma trigonométrica das resistências e indutâncias do circuito.
- o **método da composição**.
- o **método convencional**, baseado em quedas de tensão assumidas e em tabelas existentes.

6.4 Métodos de determinação do nível de corrente de curto circuito

Em sistemas TN um curto circuito para terra, em princípio, sempre proporciona corrente suficiente para operar um dispositivo de sobrecorrente. A impedância da fonte e da rede de alimentação são muito menores que as dos circuitos da instalação, de modo que qualquer restrição na intensidade das correntes de falta é proporcionada pelos condutores da instalação (cabos longos flexíveis aumentam consideravelmente a

impedância do “laço de falta”, com uma redução correspondente da corrente de falta).

As recomendações mais recentes da IEC para proteção contra contatos indiretos **somente em sistemas TN** relaciona os máximos tempos permissíveis de disparo com a tensão nominal do sistema. (vide tabela 13).

A razão embutida nestas recomendações é que, para sistemas TN, a corrente que precisa passar para elevar o potencial de uma parte condutora a mais de 50V é tão alta que uma das duas possibilidades acontecerá:

- o circuito de falta será interrompido (por ruptura do condutor) quase instantaneamente,
- ou
- o condutor se soldará em uma falta sólida e proporcionará corrente adequada para operar os dispositivos de sobrecorrente.

Para assegurar a operação dos dispositivos de sobrecorrente no último caso, é necessária uma avaliação razoavelmente precisa do nível de corrente de falta, na etapa de projeto.

Uma análise rigorosa requer o uso das técnicas das componentes simétricas aplicadas individualmente a cada circuito. O princípio é correto, mas a quantidade de cálculo não é considerada justificável, especialmente porque as impedâncias de sequência zero são extremamente difíceis de calcular com razoável precisão em uma instalação média de BT.

São preferíveis outros métodos de precisão adequada. Três métodos práticos são:

- o “método das impedâncias”, baseado na soma de todas impedâncias (somente as de sequência positiva) ao longo do laço de falta para cada circuito,
- o “método da composição” o qual é uma estimativa do nível de corrente de curto circuito em um terminal remoto do laço quando o nível de corrente de curto circuito no terminal próximo do laço for conhecido,
- o “método convencional” com o cálculo dos níveis mínimos de correntes de falta à terra, junto com o uso de tabelas para obtenção rápida dos resultados.

Estes métodos somente são aplicáveis nos casos em que os cabos que constituem o laço de corrente de falta estão próximos uns dos outros e não separados por materiais ferromagnéticos.

6.5 Método das impedâncias

Neste método são somadas as impedâncias de sequência positiva de cada item (cabo, condutor PE, transformador, etc.) incluído no laço de falta à terra e a

corrente de curto circuito é calculada usando a fórmula:

$$I = U \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}$$

onde as duas parcelas (dentro do radical) são respectivamente a soma de todas as resistências no laço e a soma de todas as reatâncias indutivas no laço ambas elevadas ao quadrado e U é a tensão nominal fase-neutro do sistema.

A aplicação do método nem sempre é fácil, porque ele supõe o conhecimento dos valores de todos os parâmetros no laço. Em muitos casos, um guia, ou manual pode fornecer valores típicos para estimativa.

6.6 Método da composição

Este método permite a determinação da corrente de curto circuito no terminal de um laço a partir do conhecimento da corrente de c.c. no terminal da fonte pela seguinte fórmula:

$$I = U.I_{sc}/U + Z_{sc}.I_{sc}$$

Nota: neste método as impedâncias individuais são somadas aritmeticamente* como no procedimento do método anterior.

* Isto resulta em um valor de corrente o qual é menor que o real. Se os ajustes de sobrecorrente forem baseados no valor calculado acima, então a operação do relé ou do fusível está assegurada.

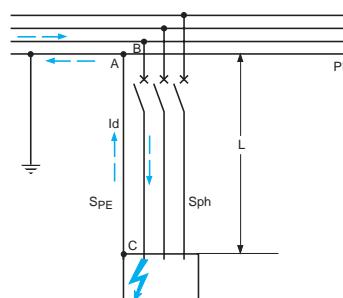
6.7 Método convencional

Este método é geralmente considerado como suficientemente preciso para fixar o limite superior dos comprimentos dos cabos.

Princípio:

O princípio baseia-se no cálculo da corrente de curto circuito considerando que a tensão na origem do circuito (i. é. o ponto no qual o dispositivo de proteção está localizado) permanece a 80% ou mais da tensão nominal fase-neutro. O valor de 80% é usado juntamente com a impedância do circuito do laço, para calcular a corrente de curto circuito.

Este coeficiente leva em consideração todas as quedas de tensão a montante do ponto considerado. Em cabos de BT, quando todos os condutores de um circuito trifásico de 4 fios estão próximos entre si (o que é o caso normal), a reatância indutiva interna para* e entre os condutores é desprezível em relação à resistência do cabo.



Esta aproximação é considerada válida para cabos de seção até 120mm².

Acima desta seção o valor da resistência é aumentado como indicado abaixo:

seção (mm ²)	valor da resistência
150	R + 15%
185	R + 20%
240	R + 25%

* causada pelos efeitos de proximidade e pelicular, i. e., há um aumento aparente da resistência.

nominal cross-sectional area of conductors mm ²	instantaneous or short-time-delayed tripping current I _m (amperes)																																
	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000					
12500																																	
1.5	103	81	64	51	41	32	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5																
2.5	171	136	107	85	66	53	42	34	26	21	17	15	13	12	10	10	8	8	7	5													
4	274	217	171	137	109	85	68	54	43	34	27	24	21	19	17	16	14	12	11	8	7	5											
6	410	326	256	205	164	126	102	82	64	51	41	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6	5									
10	427	342	273	214	171	137	107	85	68	61	54	49	42	39	34	30	27	21	17	14	10	8	7	5									
16		436	342	274	219	171	137	109	97	87	78	68	62	55	49	44	34	27	21	17	13	11	8	7	5								
25		428	342	267	213	171	152	135	122	107	98	85	76	66	53	43	34	27	21	17	13	10	8	7									
35		479	374	299	239	214	190	171	150	136	120	107	96	75	80	48	37	30	24	19	15	12	9										
50		406	325	290	258	232	203	185	162	145	130	101	81	65	50	40	32	26	20	16	12												
70		479	427	380	342	299	274	239	214	191	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19													
95		464	406	371	325	290	260	203	162	130	101	81	65	51	40	32	26																
120		469	410	366	328	256	205	165	128	102	82	65	51	41	33																		
150		446	398	357	279	223	178	139	111	89	71	56	44	36																			
185		471	422	329	264	211	165	132	105	84	66	53	42																				
240			410	328	263	205	164	131	104	82	66	52																					

SPH	rated current (A)																															
	1	2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	45	50	63	80	100														
1.5	1227	613	409	307	204	153	123	94	77	61	49	38	31	27	25	19	15	12														
2.5		681	511	341	256	204	157	128	102	82	64	51	45	41	32	28	20															
4		1090	818	545	409	327	252	204	164	131	102	82	73	65	52	41	33															
6		818	613	491	377	307	245	196	153	123	109	98	78	61	49																	
10		1022	818	629	511	409	327	256	204	182	164	130	102	82																		
16		1006	818	654	523	409	327	291	262	208	164	131																				
25		1022	818	639	511	454	409	325	258	204	182	151	131	104	82	65	52	41														
35			894	716	636	572	454	358	288																							
50				777	617	485	388																									

SPH	rated current (A)																																	
	1	2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	45	50	63	80	100																
1.5	613	307	204	153	102	77	61	47	38	31	25	19	15	14	12	10	8	6																
2.5	1022	511	341	256	170	128	102	79	64	51	41	32	26	23	20	16	13	10																
4	818	545	409	273	204	164	126	102	82	65	51	41	36	33	26	20	16																	
6	818	613	409	307	245	189	153	123	98	77	61	55	49	39	31	25																		
10	1022	681	511	409	315	256	204	164	128	102	91	82	65	51	41																			
16		818	654	503	409	327	262	204	164	145	131	104	82	65																				
25		1022	786	639	511	409	319	256	227	204	162	128	102																					
35			894	716	572	447	358	318	286	227	179	143																						
50				777	607	485	431	389	309	243	194																							

SPH	rated current (A)																															
	1	1.6	2	2.5	3	4	6	6.3	8	10	12.5	13	16	20	25	32	40	45	50	63	80	100										
1.5	438	274	219	175	146	110	73	70	53	44	35	34	27	22	18	14	11	10	9	7	5	4										
2.5	730	456	365	292	243	183	122	116	88	73	58	56	46	37	29	23	18	16	15	12	9	7										
4	730	584	467	389	292	195	186	141	117	93	90	73	58	47	37	29	26	23	19	14	12	10										
6	876	701	584	438	292	211	175	140	135	110	88	70	55	44	39	35	28	21	18	16	12	10										
10		974	730	487	465	352	292	234	225	183	146	117	91	73	65	58	46	35	29	26	23	19	14									
16			779	743	564	467	374	359																								

O máximo comprimento de um circuito de uma instalação em um sistema TN é dado pela fórmula:
 $L_{\text{máx.}} = 0,8 U_0 \text{ Sph} / (\rho(1+m) I_a)$, onde:
Lmax.= comprimento máximo em metros
Uo= tensão de fase = 220 V para um sistema 220/380 V

ρ = resistividade sob temperatura normal em ohm-mm²/metro

=22,5x 10-3 para o cobre

= 36x 10-3 para o alumínio

Ia = corrente de disparo de ajuste para operação instantânea do disjuntor ou,

Ia = a corrente que assegura a operação do fusível respectivo, no tempo especificado

m = Sph / SPE

Sph = seção transversal dos condutores fase do circuito em mm²

SPE = seção transversal do condutor de proteção em mm²

tabelas

As tabelas seguintes aplicáveis a sistemas TN foram estabelecidas de acordo com o “método convencional” descrito acima. As tabelas, de acordo com o guia UTE C15-105, dão o comprimento máximo dos circuitos alem dos quais a resistência ôhmica dos condutores irão limitar a intensidade da corrente de curto circuito a um nível abaixo do requerido para disparar o disjuntor (ou fundir o fusível) protegendo o circuito, com suficiente rapidez para assegurar segurança contra contato indireto.

fator de correção

A tabela 42 indica o fator de correção a aplicar aos valores dados nas tabelas 43 a 46 de acordo com a relação Sph / SPE, o tipo do circuito e o material dos condutores.

circuito	metálico material	m = SPH/SPE (or PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3P + N or P + N	cobre	1	0.67	0.50	0.40
	alumínio	0.62	0.42	0.31	0.25

Uma instalação trifásica 4 fios (220/380 V) é do tipo TN-C. Um circuito é protegido por um disjuntor de 63A e possui cabos de alumínio com 50mm² nos condutores fase (Sph) e 25 mm² (Spen) no condutor PEN.

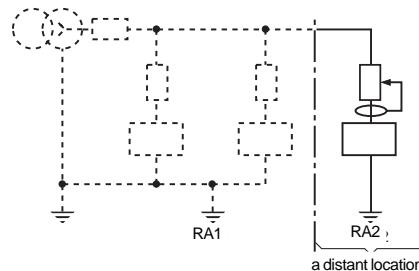
Qual é o máximo comprimento do circuito, abaixo do qual a proteção das pessoas contra contatos indiretos, é assegurada pelo disparo do relé magnético instantâneo do disjuntor?

A tabela 44 dá 617 metros, para o qual deve ser aplicado o fator 0,42 (tabela 42 para cabo de alumínio e m=2). O comprimento máximo do circuito será: 617x0,42 = 259metros.

caso particular em que uma ou mais partes condutoras expostas é (são) aterrada(s) em um eletrodo de aterramento separado

Precisa ser prevista proteção contra contatos indiretos por um DCD na origem de qualquer circuito que alimente um aparelho e ou grupo de aparelhos, cujas

partes metálicas expostas sejam ligadas a um eletrodo de aterramento independente. A sensibilidade do DCD precisa ser adaptada à resistência do eletrodo (RA2 na figura 47). A jusante do DCD, o esquema precisa ser TN-S.



DCD de alta sensibilidade

A IEC 364-4-471 recomenda fortemente o uso de um DCD de alta sensibilidade (≤ 30 mA) nos seguintes casos:

- circuitos de tomadas com correntes nominais ≤ 32 A em qualquer local,
 - circuitos de tomadas em locais úmidos e qualquer corrente,
 - circuitos de tomadas em instalações temporárias,
 - circuitos alimentando lavanderias e piscinas,
 - circuitos de alimentação de campings, barcos de recreio e feiras ambulantes.
- Esta proteção pode ser para circuitos individuais ou para grupos de circuitos,
- fortemente recomendado para circuitos de tomadas ≥ 20 A (obrigatório se eles são destinados ou podem alimentar equipamentos portáteis para uso ao tempo),
 - em alguns países, estes requisitos são obrigatórios para todos os circuitos de tomadas ≤ 32 A.

7.0 Proteção em áreas de alto risco

Em locais em que o risco de incêndio é elevado, o esquema TN-C é proibido e o sistema TN-S precisa ser adotado. A proteção por um DCD de sensibilidade 500 mA na origem do circuito que alimenta locais com risco de incêndio é obrigatório em alguns países.

quando a impedância do laço de corrente de falta é particularmente alta

Quando a corrente de falta à terra é restrita devido a uma impedância inevitavelmente alta, de modo que a proteção de sobrecorrente não pode ser baseada no disparo do disjuntor do circuito dentro do tempo prescrito, as seguintes possibilidades devem ser consideradas:

Sugestão 1:

instalar um disjuntor que tenha um disparo magnético instantâneo com um nível de operação menor que o ajuste usual, por exemplo:

$$2I_{in} \leq I_{rm} \leq 4I_{in}$$

Isto proporciona proteção para pessoas em circuitos que são normalmente longos. Precisa ser verificado, entretanto, se altas correntes transitórias tais como correntes de partida de motores não irão causar desligamentos indesejados.

Sugestão 2:

instalar um DCD no circuito. O dispositivo não precisa sensibilidade muito alta (HS) (vários amperes a poucos dezenas de amp.). Quando são envolvidas tomadas, os circuitos precisam em qualquer caso ser protegidos por DCD de alta sensibilidade (HS) (≤ 30 mA); geralmente um DCD para cada tomada em um circuito comum.

Sugestão 3:

aumentar a bitola dos condutores PE ou PEN e/ou condutores de fase, para reduzir a impedância do laço.

Sugestão 4:

adicionar condutores equipotenciais suplementares. Isto terá um efeito similar ao da sugestão 3. i. e., uma redução na resistência do laço de falta à terra, enquanto que ao mesmo tempo melhora as medidas existentes de proteção contra tensões de toque. A eficiência desta melhoria pode ser verificada pelo teste da resistência entre cada parte condutora exposta e o condutor de proteção principal. Para instalações TN-C, não são permitidas interligações como mostradas na fig. 52 e a sugestão 3 não deve ser adotada.

8.0 Implementação do sistema IT

A característica básica do sistema IT é que, no evento de uma falta à terra, o sistema pode continuar operando sem interrupção.

Uma falta desse tipo é denominada “primeira falta”. Neste esquema, todas as partes condutoras expostas de uma instalação são conectadas via condutor PE ao eletrodo de terra da instalação, enquanto o ponto Neutro do transformador de alimentação é isolado da terra ou aterrado através de um resistor de valor elevado (comumente 1000 ohms ou mais).

Isto significa que a corrente de uma falta à terra será medida em miliamps, que não causará danos sérios no ponto de falta, e não gerará tensões de toque elevadas ou riscos de incêndio. O sistema pode, dessa maneira, ser deixado em serviço até que seja conveniente isolar a parte defeituosa para reparos.

Na prática, o esquema requer certas medidas específicas para seu funcionamento satisfatório:

- monitoração permanente da isolação em

relação à terra, com anúncio audível ou visível quando da ocorrência da primeira falta,

- um dispositivo capaz de limitar a tensão que o neutro do transformador pode atingir, em relação à terra,
 - uma rotina de localização da “primeira falta” por um pessoal eficiente de manutenção. A localização de uma falta é muito facilitada pelo uso de dispositivos localizadores que são disponíveis no mercado,
 - disparo automático de alta velocidade de disjuntores adequados que devem atuar no caso de uma “segunda falta” ocorrer antes de ser reparada a primeira falta. A “segunda falta”, por definição é uma falta à terra que afeta uma outra fase que não aquela da primeira falta ou um condutor neutro*.
 - A segunda falta resulta em um curto circuito através da terra e/ou através dos condutores PE.
- * em sistemas em que o neutro é distribuído, como mostrado na fig. 58.

8.1 Condições preliminares

As condições preliminares são resumidas na tabela 53 e na fig. 54

funções mínimas requeridas componentes e dispositivos exemplos (MG)

proteção contra sobretensões na frequência do sistema

(1) limitador de tensão Cardew C

resistor de aterramento do neutro (para variação da impedância de aterramento)

(2) resistor

impedância Zx

monitor de falta à terra com alarme na condição de primeira falta

(3) monitor permanente de isolação (PIM ou MPI) com alarme Vigilohm TR22A ou XM 200

eliminação automática de uma segunda falta e proteção do condutor neutro contra sobrecorrente

(4) disjuntores tetra polares (se o neutro for distribuído) todos quatro polos + disparo Disjuntor Compact ou RCD-MS

localização da primeira falta

(5) dispositivo para localização da falta com o sistema energizado, ou por aberturas sucessivas dos circuitos Sistema Vigilohm

8.2 Condição de primeira falta

A corrente de falta à terra que flui nas condições de primeira falta é medida em mili-amps. A tensão de toque em relação à terra é o produto desta corrente pela resistência de terra e eletrodo da instalação e do condutor PE (desde o ponto de falta até o eletrodo). Este valor é claramente seguro e pode atingir vários Volts somente no pior caso (por um resistor de aterramento de resistência 1000 ohms passará uma corrente de

220mA* e um mau eletrodo de aterramento da instalação com 50 ohms de resistência dará uma tensão de 11 V, por exemplo).

O monitor de falta a terra dará um alarme.

8.3 Princípio da monitoração de falta à terra

Um gerador de corrente alternada de frequência muito baixa, ou um gerador de corrente contínua (para reduzir os efeitos das capacitâncias dos cabos a valores desprezíveis) aplica uma tensão entre o neutro do transformador de alimentação e a terra. Esta tensão causa o fluxo de uma pequena corrente de acordo com a resistência total da instalação mais a de qualquer aparelho a ela ligado.

Podem ser usados instrumentos de baixa frequência em sistemas em C.A. que geram transientes de C.C. sob condições de falta. Certas versões podem distinguir entre componentes capacitivas e resistivas da corrente de fuga.

Desenvolvimentos mais modernos permitem a medição da evolução da corrente de fuga de modo que se pode conseguir a prevenção da primeira falta.

8.4 Exemplos de equipamentos e dispositivos**

■ localizador manual de falta (fig. 55)

O gerador pode ser fixo (exemplo: XM200) ou portátil (exemplo: XGR, que permite a verificação de circuitos desligados) e o receptor junto com o sensor magnético tipo alicate são portáteis.

* Em um sistema 380/220 Volts, trifásico.

** O equipamento e os dispositivos usados para ilustrar o princípio de localização de faltas, são fabricados pela M.G.

■ localizador fixo automático (Fig. 56)

O relé de monitoração XM200 junto com os deterores fixos XD 301 (cada um alimentado por um núcleo toroidal abraçando os condutores do circuitos correspondentes) constituem um sistema automático de localização de falta em um sistema energizado. Além disso, é indicado o nível de isolação em cada circuito monitorado e são verificados dois níveis: o primeiro nível indica uma resistência de isolação não usualmente baixa de modo que possam ser tomadas medidas preventivas, enquanto o segundo nível indica uma situação de falta e dá um alarme.

■ monitoração automática, armazenamento e localização de faltas.

O sistema Vigilohm também permite acesso a uma impressora e/ou um PC o qual proporciona uma revisão global do nível da isolação de uma instalação inteira e grava a evolução cronológica do nível da isolação de cada circuito.

O monitor central XM300C junto com os detetores localizadores XL308 e XL316 associados com TC's

toroidais de vários circuitos, como mostrado na fig. 57, proporciona os meios para essa exploração automática.

8.5 Implementação de dispositivos de monitoração permanente de isolação (PIM)

■ conexão

O dispositivo PIM é normalmente ligado entre o Neutro (ou neutro artificial) do transformador de força e seu eletrodo de terra.

■ fonte

A alimentação de um PIM deve ser tirada de uma fonte altamente confiável. Na prática, isto é obtido diretamente da instalação que está sendo monitorada, através de dispositivos de proteção contra sobrecorrentes de corrente nominal de curto circuito adequada,

■ impedância do dispositivo PIM

De modo a manter o nível de corrente de falta dentro de limites seguros, a corrente que passa em um dispositivo PIM durante um curto circuito à terra é normalmente limitada a um valor < 30 mA.

Quando o neutro é aterrado através de uma impedância, a corrente total que passa pelo dispositivo PIM e pela impedância (em paralelo com ele) deve ser < 500 mA.

■ Isto significa que a tensão de toque estará limitada a valores inferiores a 50 V em toda instalação desde que a resistência de terra do eletrodo seja inferior a 100 ohms, e que o risco elétrico de incêndio seja evitado.