



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCQ - 05
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO XIII
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE
ENERGIA - GCQ**

**COMO AS RESISTÊNCIAS DE ATERRAMENTO CONTROLAM PERTURBAÇÕES PERIÓDICAS E
APERIÓDICAS - VERDADES E MITOS**

Sergio Toledo Sobral *

David S. Resende

Sérgio Cordeiro Sobral

**ST&SC
Serviços Técnicos Ltda**

COPEL

**O N S
Operador Nacional Sist. Elet.**

RESUMO

O IT mostra que o valor da resistência de aterramento medido com um terrômetro, quer seja elevado, quer seja baixo, nada indica "a priori" sobre o bom ou mal desempenho da maioria das instalações de potência, de telecomunicações ou de telefonia celular. Igualmente nada indica "a priori" sobre as condições de segurança destas instalações.

Para perturbações periódicas, tais como curto-circuitos, harmônicas, correntes de desequilíbrio etc, o IT mostra os seguintes fatos:

- o valor elevado da resistência de terra não significa "a priori" que estão acima dos valores toleráveis os seguintes potenciais de segurança: potenciais de passo, de toque, de malha produzidos, nem os gradientes de potencial perto da malha, nem o GPR da instalação (GPR= Ground Potential Rise- elevação de potencial de terra da malha da instalação em relação à Terra Remota).
- o valor baixo da resistência de terra não significa "a priori" que estão abaixo dos valores toleráveis os seguintes potenciais de segurança: potenciais de passo, de toque, de malha produzidos, nem os gradientes de potencial perto da malha, nem o GPR da instalação.
Não define também se o sistema é ou não efetivamente aterrado, pois a malha de terra pode estar em paralelo com a impedância terminal dos cabos pára-raios das LT's (ou da blindagem de cabos de potência bi-aterradas nas SE's terminais), que possuem componentes resistivos de pequeno valor.

O IT mostra ainda que um valor reduzido da impedância terminal dos circuitos de terra externos à malha (pára-raios das LT's e as blindagens de cabos de potência bi-aterrados), bem como um elevado valor de impedância mútua entre as fases e os circuitos de terra externos mencionados, podem ter uma influência mais significativa do que o valor de sua resistência de aterramento, com relação ao desempenho do sistema de terra e quanto a sua segurança, durante perturbações periódicas .

Para perturbações aperiódicas, tais como descargas atmosféricas, manobras e chaveamento de circuitos, operação de disjuntores e chaves, centelhamentos etc, o IT mostra os seguintes fatos:

- o valor baixo da resistência de aterramento não significa "a priori" que será pequeno o efeito das perturbações propagadas ou induzidas que atuam sobre os circuitos da própria instalação nem das instalações próximas. Mostra-se pelo contrário que uma resistência de aterramento menor que 5 ohms, embora facilite um pouco o controle das sobretensões propagadas ao longo do sistema de terra, exige o

*R.Vice Gov. Rubens Berardo 175 conj. 1002 Bloco 1-Gávea CEP 22451-070 Rio de Janeiro
TEL/FAX.: (0XX) (21) 2294-6456 - e-mail: stsobral@terra.com.br

uso de eletrodos de amortecimento. Estes eletrodos aceleram a absorção da energia do raio no sistema de terra, e resultam na redução do valor das tensões induzidas nos circuitos e equipamentos da própria instalação, e de seus vizinhos.

- o valor elevado da resistência de aterramento não significa "a priori" que será elevado o efeito das perturbações propagadas ou induzidas, que atuam sobre os circuitos da própria instalação, nem das instalações próximas. Mostra-se que o uso de eletrodos de amortecimento, adequadamente localizados, podem reduzir o valor das ondas de corrente, transformar em calor a energia do raio e evitar sobretensões perigosas nos circuitos de terra que recebem as descargas.

O IT mostra ainda que as condições de segurança em uma instalação e nas instalações vizinhas depende muito mais da geometria da malha e do uso de eletrodos de amortecimento do que do valor da resistência de terra das instalações.

PALAVRAS-CHAVE

Resistência; impedância de surto; interferência; ruídos; ondas trafegantes; descargas.

1.0 – INTRODUÇÃO

Alguns conceitos básicos utilizados neste artigo foram apresentados nas referências [3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]. Elas reportam procedimentos e metodologias de controle de interferências aplicadas com sucesso em Concessionárias brasileiras e são co-autoradas por engenheiros dos quadros das mesmas. As referências [1,2, 12] descrevem algumas metodologias básicas de controle de interferências. A referência [13] apresenta um sumário da teoria de ondas trafegantes utilizada no artigo.

2.0-A INFLUÊNCIA DAS JUNÇÕES DE CONDUTORES NAS PERTURBAÇÕES APERIÓDICAS

A Ref. [12] mostra que as junções de condutores tem uma papel no controle de perturbações periódicas, que é mais importante que o valor da resistência de aterramento da instalação. Um sumario do assunto é apresentado a seguir:

A Fig. 1 mostra que a impedância de surto de um condutor metálico é o fator de proporcionalidade entre a onda de tensão e de corrente que trafega pelo mesmo. Quando uma onda que trafega em um condutor com impedância de surto (Z_A), atinge um ponto de junção de condutores metálicos ou de elementos estruturais, são produzidas ondas refletidas e refratadas. A Fig. 2 mostra que, em qualquer junção de condutores, as impedâncias de surto dos condutores que partem da junção podem ser substituídas por uma impedância de surto equivalente "forward", (Z_F), que é o paralelo das impedâncias de surto mencionadas. Por exemplo, em uma junção de 1:3 condutores, os fatores de refração (F'') e de reflexão (F'), podem ser determinados como segue:

$$Z_F = Z_A / 3 \text{ (paralelo das 3 impedâncias } Z_A)$$

$$F'' = 2 \cdot Z_F / (Z_A + Z_F) = 2 \cdot (Z_A / 3) / (Z_A / 3 + Z_A) = 0.5$$

$$F' = (Z_F - Z_A) / (Z_F + Z_A) = (Z_A / 3 - Z_A) / (Z_A / 3 + Z_A) = -0.5$$

As Figuras 3, 4, 5 referem-se a ondas incidentes, refletidas e refratadas em junções 1:3. A Fig.3 mostra ondas de tensão. A Fig. 4 mostra ondas de corrente. A Fig. 5 mostra as reflexões e refrações da energia da onda na junção (na realidade trata-se da potência instantânea).

3.0-CONCLUSÕES SOBRE O EFEITO DAS JUNÇÕES NAS ONDAS TRAFEGANTES

Repetindo os procedimentos mostrados nas Figuras 3,4, 5 para junções 1:3 também para junções de 1:4, 1:5, 1:30 pode-se concluir:

- A intensidade da onda de tensão que trafega para frente e para trás, à partir das junções de (1:3), (1:4), (1:5), (1:30) é de (50%), (40%), (33,3%), (6,45%) do valor da onda de tensão incidente na junção.
- A intensidade da onda de corrente que trafega para trás, a partir das junções de (1:3), (1:4), (1:5), (1:30) é (1,5), (1,6), (1,67), (1,94) vezes maior que o valor da onda de corrente incidente.
- A intensidade da onda de corrente que trafega para a frente, em cada condutor que parte das junções de (1:3), (1:4), (1:5) é de (50%), (40%), (33,3%) do valor da onda de corrente incidente na junção.

- O valor da energia refratada para a frente, que circula nos condutores que partem das junções de (1:3), (1:4), (1:5), (1:30) é de (75%), (64%), (55,6%), (12,5%) da energia que chega à junção .
- O valor da energia refletida para trás pelas junções de (1:3), (1:4), (1:5), (1:30) é de (25%), (36%), (44,4%), (87,5%) da energia que chega à junção.

4.0- EFEITOS DA SEQÜÊNCIA DE JUNÇÕES AO LONGO DA MALHA DE TERRA, OU DA TORRE OU POSTE

Quando uma descarga trafega ao longo da malha de terra da instalação (ou de torres ou de postes que suportam antenas de telecomunicação), encontra uma série de junções (1:3), (1:4), (1:5) dispostos em cascata, o que produz os seguintes resultados:

- A intensidade da onda de tensão decresce ao longo da malha (ou do poste ou da torre), a partir do ponto de injeção. Depois das sucessivas reflexões e refrações o valor da tensão varia com o tempo ao longo de toda a grade metálica, tendendo a uma gradativa equalização.
- Os maiores valores da onda de corrente ocorrem nas imediações do ponto de injeção da perturbação na malha, e decrescem ao longo da grade. O valor em todos os trechos varia com o tempo.
- Cada junção modifica a direção das ondas de corrente que chegam até ela. Este fato reduz fortemente o efeito indutivo destas correntes sobre os circuitos e dispositivos próximos.
- A energia da descarga se distribui por toda a grade metálica que recebeu a descarga.

5.0- IMPEDÂNCIA DINÂMICA DE SURTO DA MALHA DE TERRA, VISTA DO PONTO DE INJEÇÃO DO SURTO

O valor da impedância de surto (basicamente resistiva) que a descarga atmosférica “vê”, assim que é injetada na malha é um parâmetro que varia rapidamente com o tempo, denominada impedância dinâmica de surto, mostrado na Figura 6 (mais detalhes em [12], item 3.2).

O valor inicial de $37,5\Omega$ corresponde ao paralelo das impedâncias de surto dos 4 condutores da malha ligados ao ponto de injeção ($150/4 = 37,5\Omega$). O valor final medido com o terrômetro é de 5Ω . O tempo entre o valor inicial e o valor final é de $2\mu s$, o que corresponde a um trajeto com 200 m de extensão, de ida e volta do ponto de injeção até a borda da malha, a uma velocidade de 100 m/ μs .

Para uma instalação de telecomunicação ou telefonia celular de pequenas dimensões, o valor final de resistência pode ser atingido em décimos de um microsegundo.

6.0-CARACTERÍSTICAS DAS INSTALAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÃO COM RESISTÊNCIAS DE ATERAMENTO MENORES QUE 5 OHMS

Como o poste (ou a torre) de telecomunicações, e seu condutor de descida, têm uma impedância de surto típica de 150Ω , a junção do poste com a malha com 5Ω , caracteriza uma junção de 5:150, ou seja de 1:30.

O item 3 deste IT, mostra que quando uma descarga atinge este tipo de junção, apenas (12,5%) da sua energia é refratada para a resistência da malha, onde transforma-se em calor. Os restantes (87,5%) da energia são refletidos pela junção e trafegam de novo pelo poste ou torre, refletem-se novamente na sua extremidade e voltam ao sistema de terra, onde novos 12,5% da energia são transformados em calor. O ciclo se repete quase uma dezena de vezes, até que toda energia do raio é transformada em calor.

Durante os percursos para cima e para baixo, ao longo do poste ou torre, a onda de corrente, com valor inicial 1,94 vezes maior que a onda incidente, tende a induzir perturbações nos circuitos e dispositivos eletrônicos locais e vizinhos. Este fato recomenda o uso de resistores de amortecimento, comentados mais a frente, que aceleram a transformação de energia em calor, diminuem a duração dos ciclos de reflexão e reduzem o valor e os danos causados pelas tensões induzidas mencionadas.

Observe-se que a onda de tensão que trafega pela malha de terra e pela torre, após encontrar a junção (1:30) em apreço, tem apenas (6,54%) do valor da onda incidente, o que é favorável, mas não mandatário, para obter condições de segurança.

7.0- CARACTERÍSTICAS DAS INSTALAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÃO COM RESISTÊNCIAS DE ATERAMENTO DE 30 OHMS

A junção da malha com a torre, neste caso, caracteriza uma junção de 30:150, ou seja de 1:5. O item 3 mostra que quando uma descarga atinge este tipo de junção, (55,6%) da sua energia é refratada para a resistência da malha, onde transforma-se em calor. Os restantes (44,4%) da energia são refletidos pela junção e trafegam de novo pelo poste ou torre, refletem-se novamente na sua extremidade e voltam ao sistema de terra, onde o restante da energia é transformada em calor, totalizando apenas um ciclo extra de reflexão.

Durante este ciclo, a onda de corrente, com valor inicial 1,67 vezes maior que a onda incidente, tende a induzir perturbações nos circuitos e dispositivos eletrônicos locais e vizinhos. Este fato também recomenda o uso de resistores de amortecimento, comentados mais a frente, que resultam na redução do valor das tensões induzidas mencionadas.

A onda de tensão que trafega pela sistema de terra e pela torre, apos encontrar a junção, tem ainda (33,3%) do valor da onda incidente. Isso recomenda que se introduza um numero adequado de junções na malha, juntamente com resistores de amortecimento, para reduzir o valor da onda de tensão e limitar o seu alcance ao longo da malha.

8.0- A TÉCNICA DOS RESISTORES DE AMORTECIMENTO

É fato conhecido que a transformação em calor é máxima quando à extremidade de um condutor é ligada uma resistência concentrada, com valor ohmico numericamente igual à impedância de surto do condutor pelo qual trafega o surto. Na Fig. 7 tem-se $Z_A = 150\Omega$. Não há onda de tensão refletida na junção.

A Fig. 8 mostra 3 eletrodos verticais, cada um deles com um valor medido pelo terrômetro de 150Ω , ligados a um condutor subterrâneo, com impedância de surto também de 150Ω . De acordo com o item 6.0 da Ref. [12], quando uma descarga é injetada no condutor subterrâneo, depois de encontrar o grupo de 3 eletrodos mencionados, o valor da energia da descarga cai para 8,8% do valor injetado.

Geralmente o resistor de amortecimento é um eletrodo vertical curto (150Ω), em paralelo com um eletrodo vertical longo da malha, formando com o condutor horizontal uma junção de 1:3, capaz de reduzir as tensões em (50%), em cada eletrodo. Depois de encontrar o grupo de 3 eletrodos, o valor da onda de tensão reduz-se para (12,5%) do valor que tinha antes de encontrar o grupo.

9.0- UTILIZAÇÃO DO ANEL DE AMORTECIMENTO

A Figura 9 mostra a configuração típica do anel de amortecimento circunscrevendo a edícula e a torre (ou poste). O anel é ligado por dois condutores ao restante da malha de terra. É ligado também por dois condutores às ferragens da edícula.

10.0- EFEITO DA CAUDA DA ONDA

A forma aproximada das ondas de corrente e de tensão de um raio são mostradas na parte inferior da Fig.1 deste IT. Na realidade, cada uma destas ondas é formada pela superposição de duas exponenciais de polaridade trocada. Assim sendo, tanto na frente como na cauda, estas ondas "vêm" cada trecho dos condutores subterrâneos como impedâncias de surto de valor constante.

Assim sendo, o processo de transformação de energia da descarga em calor ocorre aproximadamente da mesma maneira na frente de onda e na sua cauda. É um engano muito comum imaginar a cauda da onda como sendo corrente contínua circulando no valor da resistência medido pelo terrômetro. O que varia com o tempo é a impedância dinâmica de surto do sistema de terra, visto do ponto de injeção, que é uma impedância equivalente.

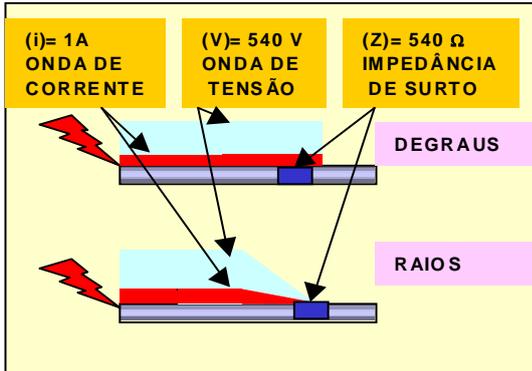


Figura 1- A impedância de surto Z é o fator de proporcionalidade entre as ondas de corrente e de tensão $Z = v / i$

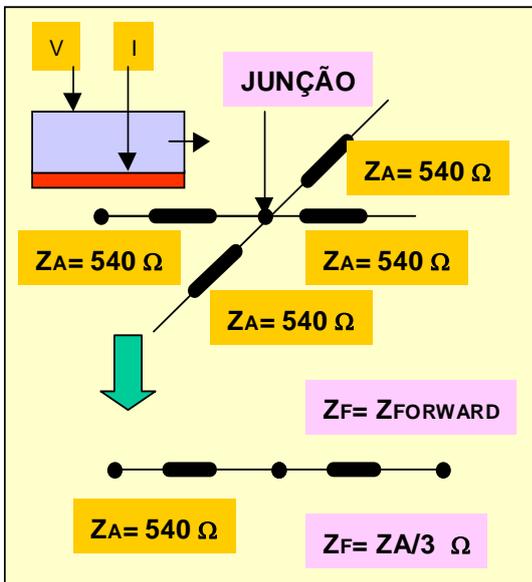


Figura 2 - Equivalente "forward" da junção de condutores 1:3 (um para três)

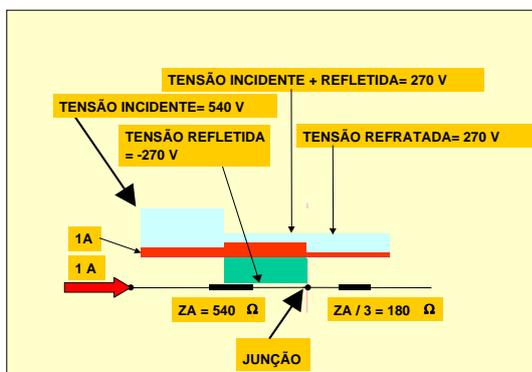


Figura 3- Ondas de tensão incidente, refletida e refratada em uma junção 1:3

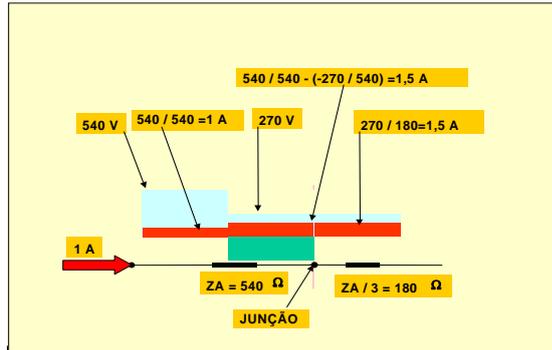


Figura 4- Ondas de corrente incidente refletida e refratada em uma junção 1:3

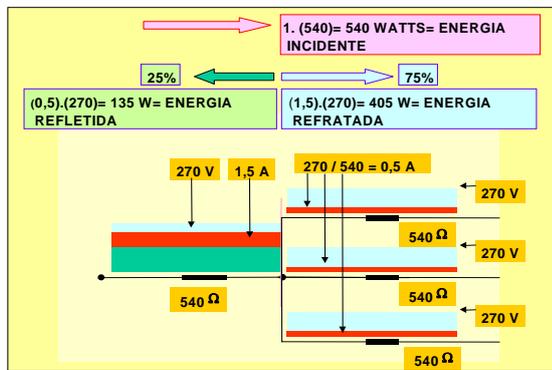


Figura 5- Energia incidente, refletida e refratada em uma junção 1:3



Figura 6 - Curva de variação da impedância de surto de uma malha de terra com o tempo, vista do ponto de injeção do surto. Chamada Impedância Dinâmica de Surto

11.0-APLICAÇÕES PRÁTICAS

A Fig.10 mostra uma configuração típica, similar à que foi utilizada em 68 “sites” de telefonia celular da CLARO, nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, entre outras. Os eletrodos de amortecimento (curtos) são mostrados em vermelho, paralelados com eletrodos verticais longos típicos (em verde), ligados ao anel de amortecimento (verde).

Os pontos que podem receber descargas atmosféricas diretas, estão aterrados por condutores mostrados em vermelho (torre, escada, alambrado, luminárias, cubículo de entrada, parte do esteiramento próximo à torre). São criados percursos de amortecimento, de tal forma que as descargas só chegam ao Single Point depois de perderem muita energia e terem seus valores de tensão muito reduzidos, devido às junções. O Single Point está ligado ao “container” e a parte do esteiramento próxima ao mesmo, por meio de condutores azuis.

Procura-se ligar a um mesmo eletrodo de amortecimento diversos condutores. Desta forma, além de transformarem a energia do raio em calor, reduzem mais intensamente o valor das ondas de tensão.

12.0-PARÂMETROS BÁSICOS DO SISTEMA DE TERRA DE UMA INSTALAÇÃO DE POTÊNCIA

A Fig.11 mostra que durante um curto-circuito em uma SE de potência, a corrente de seqüência zero de defeito (I), dá origem à Corrente de Malha (IM), à Corrente de Torres (IT) e a Corrente Auto-neutralizada (IR). Em outros casos há ainda a corrente (IN), que retorna ao neutro do transformador local.

O valor de (IM) juntamente com a geometria da malha, e a resistividade do solo, permitem determinar o valor de potenciais de passo, de toque, de malha e o gradiente de potencial próximo a malha. O valor de (R) não influencia diretamente a determinação destes valores.

A corrente (IT) se difunde no solo pelas torres a partir da SE, até uma distância geralmente de 5 a 8 km da SE, no caso de pára-raios de aço, e de 8 a 20 km no caso de pára-raios CAA.

A corrente (IR) não modifica o perfil de potencial da LT ou da SE, pois cria uma queda de tensão (IR.Zgw) ao longo do pára-raios, que neutraliza exatamente a tensão (I.Zm) que é induzida pelas fases sobre o pára-raios.

No caso de para-raios CAA de circuito duplo, o valor da corrente (IR) pode chegar a 65% do valor de (I). No caso mostrado na Fig. 11 é de 50% do valor de (I). Indica-se como complementação que no caso de cabos de potência com a blindagem aterrada nas duas malhas terminais, o valor de (IR) pode chegar a 99,8% do valor de (I).

O valor de (IR) pode ser calculado diretamente pela expressão $IR = -(Z_m / Z_{gw}) \cdot I$, com (IR) e (I) em A e (Zm) e (Zgw) em ohm/km.

Os valores de (IM) e (IT) podem ser calculados facilmente distribuindo o valor da corrente de terra (I-IR=1000-500=500A) pelos parâmetros paralelados (R=30 Ω) e (ZE=3,33Ω), resultando (IM= 50) A e (IT= 450 A). Na realidade estas impedâncias e correntes são números complexos.

Note-se que mesmo com um valor (R= 30 Ω) relativamente elevado, obteve-se um valor reduzido de Corrente de Malha (IM= 50 A), pois o valor baixo da impedância terminal dos pára-raios (ZE= 3,33 Ω), e o alto valor do fator de acoplamento (Zgw / Zm= 0,5) permitiram que um elevado valor de corrente (IR+IT=950 A) fosse drenado para fora da malha, pelos pára-raios da LT.

Como é baixo valor de (IM), será baixo o valor do (GPR=50x30=1500 V). Pode-se utilizar espaçamentos adequados entre os condutores da malha, de tal modo que os potenciais de passo, de toque e de malha, e o gradiente de potencial próximo a malha sejam menores que os valores toleráveis, independentemente do valor de (R).

13.0- INSEGURANÇA DURANTE DEFEITOS, MESMO COM BAIXO VALOR DE (R)

Uma vez determinados os valores de (IM) e a resistividade do solo, o valor dos potenciais de passo, de toque, de malha e o gradiente na periferia da malha vão depender do espaçamento entre os condutores da malha. Não são influenciados pelo valor de (R).

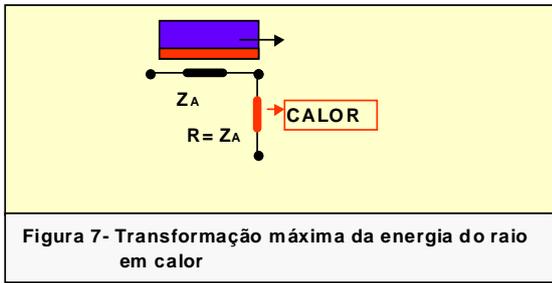


Figura 7- Transformação máxima da energia do raio em calor

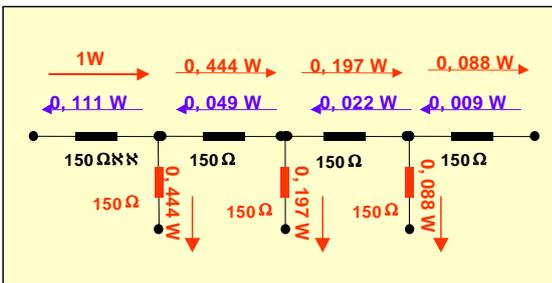


Figura 8- Três eletrodos verticais de 150 Ω causam uma rápida transformação da energia da descarga em calor

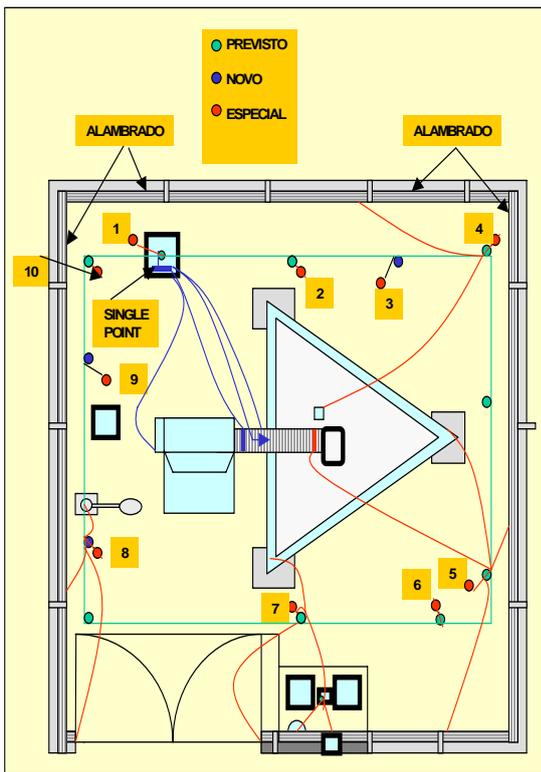


Figura 10- Aplicação prática em instalação de telefonia celular

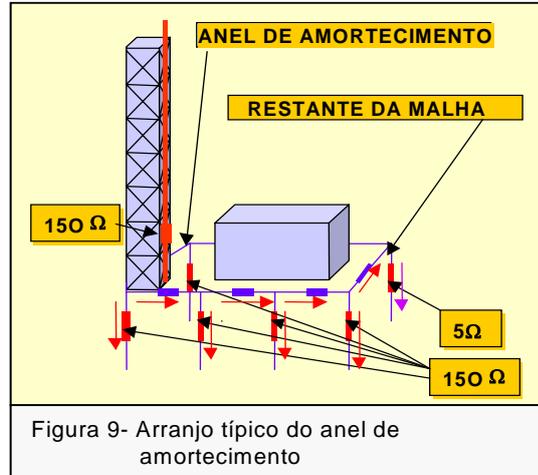


Figura 9- Arranjo típico do anel de amortecimento

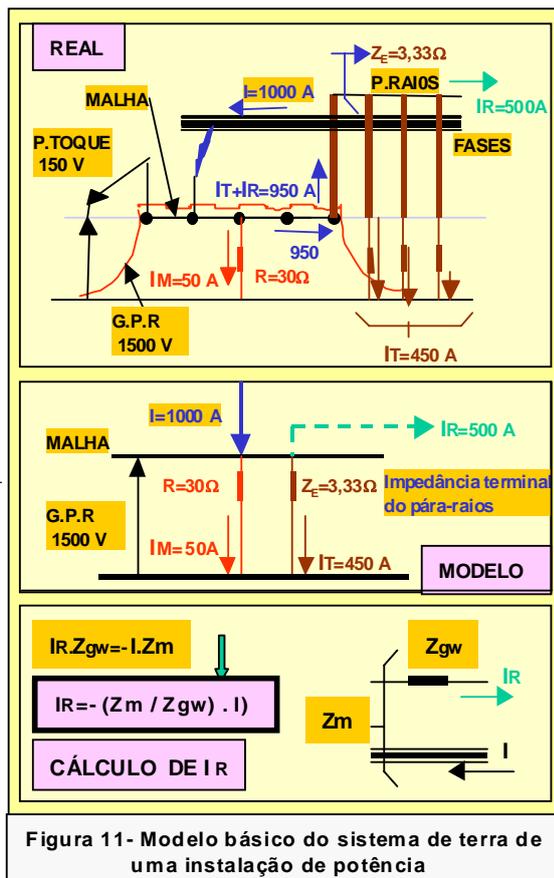


Figura 11- Modelo básico do sistema de terra de uma instalação de potência

O valor de (R) da instalação pode ser pequeno, como conseqüência da área extensa limitada pelos condutores da periferia da malha. Entretanto, o espaçamento entre os condutores internos da malha de terra pode ser maior que o necessário para obter-se segurança. Isto pode tornar os valores dos potenciais de passo, de toque, de malha e do gradiente próximo a malha maiores que os toleráveis, mesmo com um pequeno valor de (R).

14.0- CONCLUSÕES

O IT mostra que o valor da resistência de aterramento, quer elevado, quer baixo, nada indica “a priori” sobre as condições de desempenho e segurança de uma instalação elétrica de potência, de telecomunicação ou de telefonia celular.

IT mostra que para perturbações periódicas, ao invés da resistência de terra, são geralmente mais importantes: a impedância terminal dos circuitos de terra externos à malha, (para raio de LT, blindagens bi-aterradas de cabos de potência, etc.), que operam em paralelo com a resistência da malha, bem como a impedância mútua entre as fases e os circuitos de terra externos mencionados.

O IT mostra ainda que para perturbações aperiódicas, ao invés da resistência de terra, são mais importantes: o número e a disposição das junções metálicas no sistema de terra, o uso de eletrodos e anéis de amortecimento e a criação de trajetos de amortecimento entre as partes do sistema de terra que recebem a descarga e os pontos de aterramento de dispositivos e circuitos sensíveis.

15.0- REFERÊNCIAS

- [1]- S.T.Sobral (IESA), W.G.Castinheiras, M.Nielsen (PETROBRAS),V.S.Costa (ELETROBRAS), D.Mukhedkar (ECOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL)
“Interferences Between Faulted Power Circuits and Communication Circuits or Pipelines- Simplification Using the Decoupled Method”
IEEE paper 91 WM 107-3 PWRD, Winter Meeting, 1991, New York
- [2] - S.T.Sobral, J.H.Katzer (IESA)
“Ground Potential Rise and Related Problems”
CIGRE – paper 36.01, 1978, Paris
- [3]- S.T.Sobral (ST&SC), Sérgio L.Lamy, David S.Rezende, J.Eduardo D. Olesko(COPEL)
“Controle de Interferências e Compatibilidade Eletromagnética em Subestações da Copel”.
XIII SNPTEE, Camboriú - 1995, Grupo VIII (Subestações), artigo FL/GSU/12
- [4]- S. T. Sobral (ST&SC) , Murilo V.Serra (FURNAS), Abelardo Milanez (IESA).
“Controle de Interferências e Compatibilidade Eletromagnética na Usina e na Subestação de Serra da Mesa”.
XIV SNPTEE, Belém, 1997, Grupo XI (Sobretensões), artigo GSI/10
- [5]- S.T.Sobral (STS), Alcení J.Sério, Osmar Tessmer, Ronni M.Campaner (INTERTECHNE /LEME /ENGEVIX/ ESTEIO), João A. Oliveira (COPEL).
“Controle de Interferências e Compatibilidade Eletromagnética na Usina e na SE de Salto Caxias, da Copel”
XIV SNPTEE, Belém- 1997, Grupo VIII, IT GSU/23
- [6]- S. T. Sobral, S. C. Sobral (ST&SC), M. M. Nogueira, F. L. A. Souza E A. R. M. Souza (LIGHT).
“Condições Onde Pode Existir Equipotencialidade em um Sistema de Aterramento Submetido a Perturbações Periódicas e Aperiódicas”.
XV SNPTEE, Foz do Iguaçu - Brasil, 1999, Grupo X (Sobretensões), artigo GSI/24
- [7]- David S. Rezende, José E.D.Olesko (COPEL), Sérgio T.Sobral (ST&SC)
“Controle de Interferências Eletromagnéticas nas Subestações da Copel”
VII ERLAC- Encontro Regional Latino-Americano da CIGRE
- [8]- Sérgio T.Sobral (ST&SC), Flávio Luciano A. Souza, Murilo M.Nogueira, Georges Azzam (LIGHT)
“A Técnica de Blindagem Adaptada Para Instalações Digitalizadas que Alimentam Cargas Metropolitanas”
XVI –SNPTEE – São Paulo- 2001 – STE I- Seção Técnica Especial
- [10]- Sérgio T.Sobral (ST&SC), David S.Rezende, José Eduardo D.Olesko (COPEL)
“A Técnica de Disposição da Cablagem em “Chicotes” para Reduzir os Ruídos de Modo Comum e Diferencial- Resultado das Medições”
XVI –SNPTEE – São Paulo- 2001 – STE I- Seção Técnica Especial
- [11]- S.T.Sobral (ST&SC), S.C.Sobral (ONS), J.R. Dellacqua (ESCELSA), A.P.Ribeiro (ENERSUL), David S.Rezende (COPEL)
“Em que condições pode existir equipotencialidade aproximada durante descargas atmosféricas em ferragens de prédios que abrigam instalações digitalizadas”
XVII SNPTEE- GCQ 22
- [12]- S.T.Sobral , S.C.Sobral (ST&SC), David S.Rezende (COPEL)
“Casos em que uma resistência de aterramento com valor muito reduzido pode prejudicar o desempenho de instalações digitalizadas.”
XVIII SNPTEE- GCQ 23
- [13] – C.F.Wagner , G.D.McCann “Wave propagation in transmission lines” Westinghouse T&D reference book