



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

GTL - 33  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO XVI  
GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS  
ELÉTRICOS - GTL**

**CONVENIÊNCIA DA ELIMINAÇÃO DE CABOS DE COBRE ACOMPANHANDO OS "FEEDERS" EM  
TORRES E POSTES DE TELECOMUNICAÇÃO E TELEFONIA CELULAR**

**Sergio Toledo Sobral \***

**ST&SC  
Serviços Técnicos Ltda**

**Roberto Santillo  
Francisco Thadeu Prado Cruz**

**ERICSSON  
Serviços de Telecomunicações Ltda**

**Sérgio Cordeiro Sobral**

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

**RESUMO**

O IT mostra que há diversas vantagens em eliminar-se o condutor de cobre que, em algumas instalações, acompanha os "feeders" de telecomunicação desde a proximidade das antenas de telecomunicação ou de telefonia celular, até os "containers" ou edículas de equipamentos digitais, situadas na base da torre ou do poste. Geralmente os "kits" de aterramento dos "feeders" são interligados no condutor de cobre mencionado, nas proximidades das antenas e nas proximidades do "container" ou da edícula. O artigo mostra que o condutor de cobre em apreço pode ser eliminado, passando-se a interligar o "kit" de aterramento "dos "feeders" diretamente na escada metálica que sempre acompanha as torres ou os postes metálicos e de concreto armado. Esta interligação pode também ser feita diretamente na treliça metálica da torre. O IT mostra que além da redução de custos e melhoria do desempenho, a medida evita que o roubo de condutores de cobre, que tem ocorrido com muita frequência atualmente, deixe os "feeders" sem aterramento.

**PALAVRAS-CHAVE**

Telecomunicações; "feeders", 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]. 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] descrevem algumas metodologias básicas de controle de interferências. A referência [12] apresenta um sumário da teoria de ondas trafegantes utilizada no artigo.

**2.0- O EFEITO DAS JUNÇÕES ENTRE ELEMENTOS METÁLICOS ESTRUTURAIS SOBRE AS ONDAS TRAFEGANTES**

A Figura 1 mostra que a impedância de surto de um condutor metálico é o fator de proporcionalidade entre a onda

\*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

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 Figura. 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 Figura.3 mostra ondas de tensão. A Figura. 4 mostra ondas de corrente. A Figura. 5 mostra as reflexões e refrações da energia da onda na junção.

### 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) é de (50%), (40%), (33,3%), 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), é (1,5), (1,6), (1,67), vezes maior que o valor da onda de corrente incidente.
- A intensidade da onda de corrente que trafega para 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), é de (75%), (64%), (55,6%) da energia que chega à junção (na verdade: potência instantânea).
- O valor da energia refletida para trás pelas junções de (1:3), (1:4), (1:5), é de (25%), (36%), (44,4%), da energia que chega à junção.

### 4.0- SEQUÊNCIA DE JUNÇÕES AO LONGO DO CORPO DA TORRE

Quando uma descarga trafega ao longo do corpo de uma torre, encontra uma série de junções (1:3), (1:4), (1:5) dispostos em cascata, o que produz os seguintes resultados (veja Figura.6):

- A intensidade da onda de tensão decresce ao longo da torre e com o tempo.
- Os maiores valores da onda de corrente ocorrem nas imediações do ponto de impacto, e decrescem ao longo da torre e 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 estrutura metálica

### 5.0- PORQUE O CONDUTOR DE COBRE PROXIMO AOS "FEEDERS" PODE AUMENTAR AS INTERFERÊNCIAS

A Figura 7 mostra que o condutor de cobre em apreço cria uma via expressa que permite que parte da descarga trafegue sem sofrer os efeitos corretivos das junções da torre.

### 6.0- "JUNÇÕES" EXISTENTES NOS POSTES DE CONCRETO ARMADO E METÁLICOS

A armadura de concreto armado dos postes metálicos pode ser considerada um conjunto denso de junções em cascata. Da mesma maneira a estrutura metálica do poste pode ser considerada como um conjunto muito denso de junções de condutores onde o espaçamento tendeu para zero.

## 7.0- RESULTADOS DE TESTES DE LABORATÓRIO QUE MOSTRAM QUE UMA GRELHA METÁLICA NÃO EQUIPOTENCIALIZA UMA ESTRUTURA

Testes sobre o assunto foram realizados no laboratório de alta tensão do LACTEC, em Curitiba. A Figura 8 mostra uma canaleta de concreto armado de 9 m instalada no interior do laboratório. Descargas impulsivas de (5kA ; 7,8/22  $\mu$ s) foram aplicadas diretamente na armadura de aço da canaleta.

As tensões impulsivas foram medidas a 1, 6 e 9 m do ponto de injeção. Em cada um destes pontos de medição, foi obtida uma curva de valores altamente oscilatória. Os valores de pico destas curvas eram muito diferentes. Constatou-se diferenças de 2 kV entre estes picos, durante um período de cerca de 10  $\mu$ s.

Este resultado mostra que uma grade metálica não é geralmente equipotencial, quando uma descarga impulsiva é aplicada nele. Por outro lado, uma quase equipotencialidade ocorreria se uma perturbação de 60 Hz fosse aplicada na mesma grade metálica (ver [6,11]).

## 8.0- PORQUE UM “CONDUTOR DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO” PODE AUMENTAR A DIFERENÇA DE POTENCIAL IMPULSIVA ENTRE PONTOS DE UMA ESTRUTURA METALICA

A Figura 9 mostra uma outra parte do teste mencionado, em que manteve-se a injeção de impulsos na armadura de concreto armado da canaleta, e além disso foi instalado um condutor externo, interligando as extremidades da mesma [11]. Como o condutor externo não tem junções, ele cria um caminho pelo qual parte da descarga pode atravessar a canaleta sem sofrer o efeito redutor das junções da grade metálica.

Este resultado mostra que os chamados “condutores de equipotencialização” podem na verdade aumentar a diferença de potencial impulsiva entre os pontos que interligam. Por outro lado, o condutor de equipotencialização mencionado poderia reduzir a diferença de potencial entre os pontos interligados, se uma perturbação de 60 Hz fosse aplicada na mesma grade metálica [6,11].

## 9.0- PORQUE O CONDUTOR DE COBRE QUE CORRE AO LONGO DOS “FEEDERS” NÃO TEM EFEITO DE BLINDAGEM

A Figura 10 mostra que durante uma descarga atmosférica em um poste (ou torre), a corrente impulsiva que trafega ao longo do poste (ou da torre) e ao longo do condutor de cobre, têm a mesma direção. Para haver o efeito de blindagem, a corrente impulsiva deveria trafegar no cabo de cobre em direção contrária, como recapitulado no ANEXO.

## 10.0– SEGURANÇA HUMANA NA ESCADA DO POSTE

Como mencionado no item 8 anterior, o condutor de cobre em apreço tende a aumentar a diferença de potencial impulsiva ao longo da escada. Assim sendo, sem o condutor de cobre mencionado, a escada fica um pouco mais segura.

## 11.0– EXPERIÊNCIA PRÁTICA DA COPEL

Desde 1994 a COPEL eliminou com sucesso o cabo de cobre que seguia os “feeders” de telecomunicação ao longo das torres, da antena até os dispositivos eletrônicos.

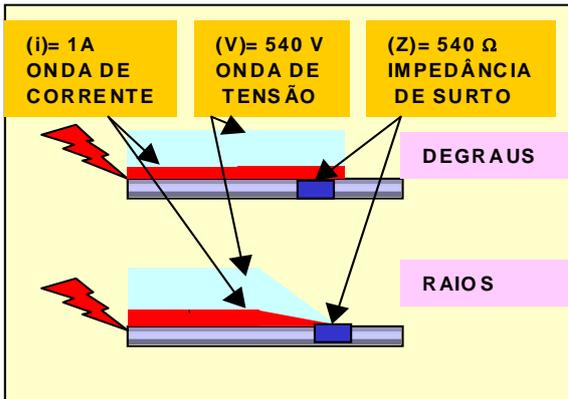


Figura 1- A impedância de surto Z é o fator de proporcionalidade entre as ondas de corrente e de tensão  $Z = v / i$

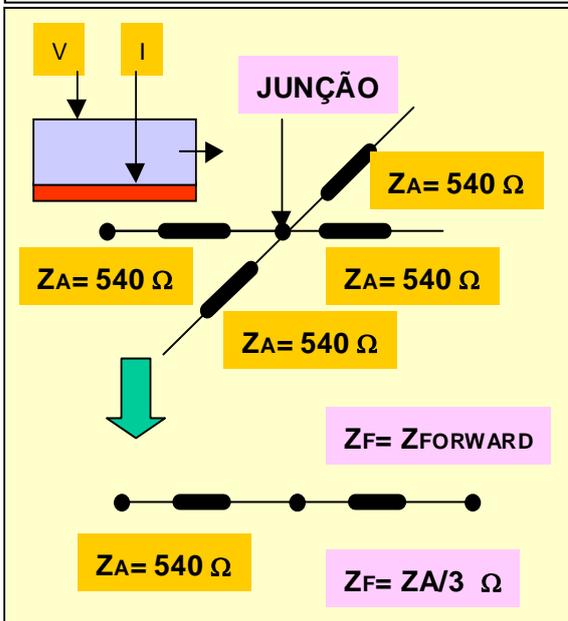


Figura 2 - Equivalente "forward" da junção de condutores 1:3 (um para três)

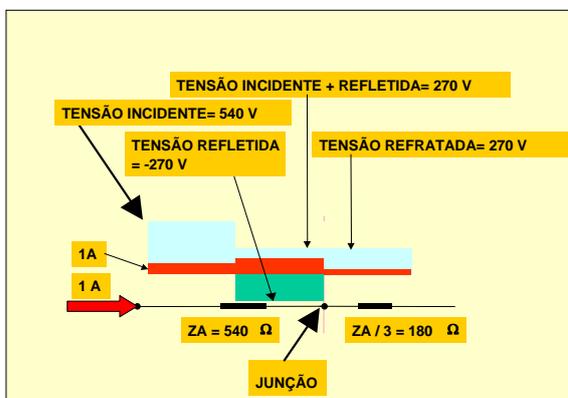


Figura 3- Ondas de tensão incidente, refletida e refratada em uma junção 1:3

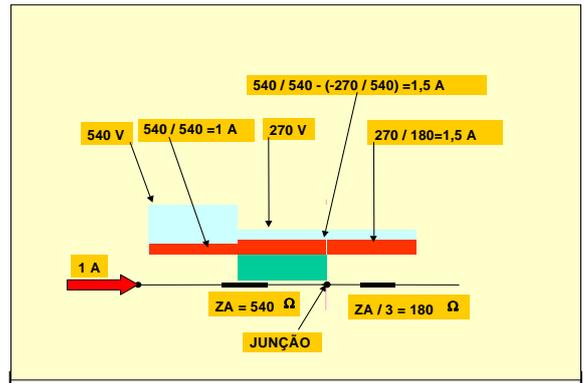


Figura 4- Ondas de corrente incidente refletida e refratada em uma junção 1:3

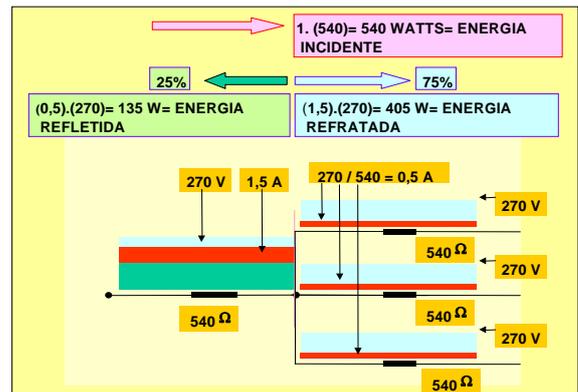


Figura 5- Energia incidente, refletida e refratada em uma junção 1:3

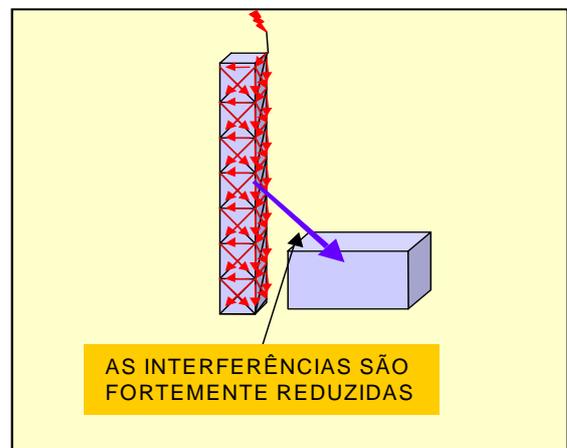


Figura 6- Redução da intensidade da onda de tensão e mudança de direção das ondas de corrente ao longo da torre ou do poste

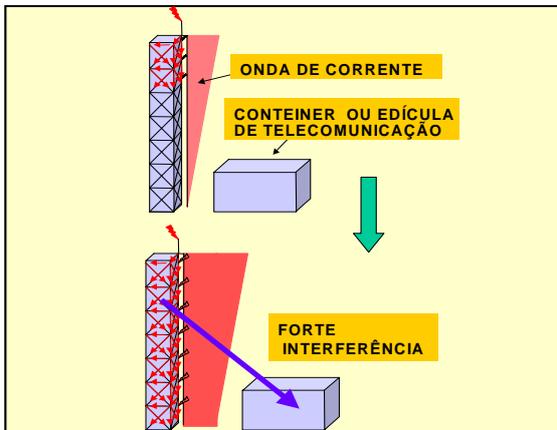


Figura 7- Porque o condutor de cobre aumenta a interferência nos circuitos e dispositivos da edícula ou container

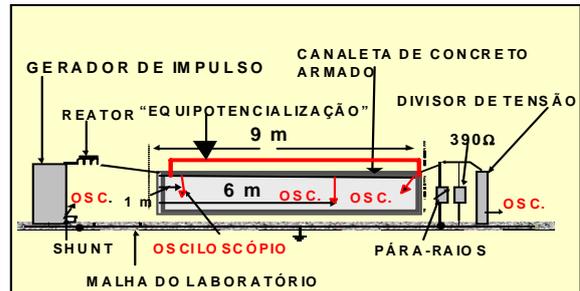


Figura 9 - Impulso injetado na armadura da canaleta, com condutor de "equipotencialização"

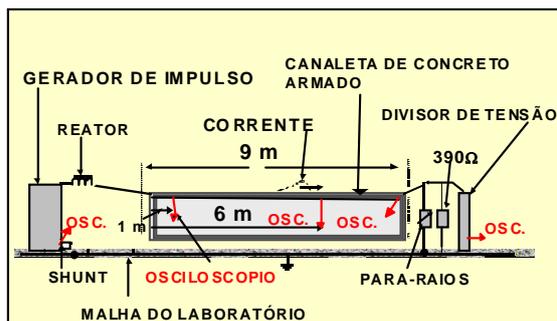


Figura 8 - Impulso injetado na armadura da canaleta de concreto armado

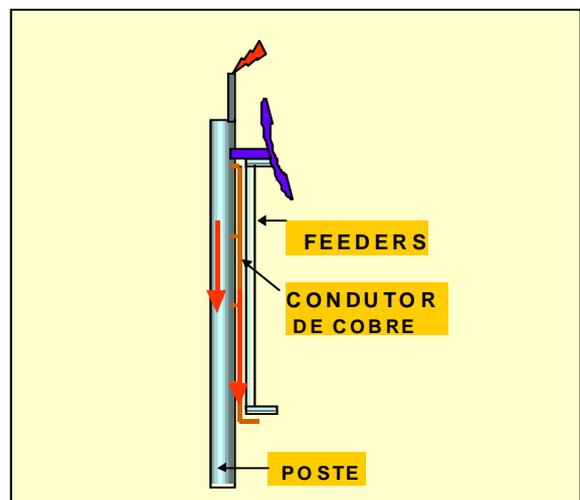


Figure 10- A onda de corrente que trafega pelo condutor de cobre tem a mesma direção da corrente indutora. Sem efeito de blindagem

Os "feeders" passaram a ser ligados diretamente à estrutura da torre, por meio de "grounding kits", cuja única função é garantir uma boa conexão elétrica entre as partes, mas não tem elementos eletricamente ativos.

Os captores de raios das torres são ligados diretamente na treliça da torre.

## 12.0- PROCEDIMENTOS RECOMENDÁVEIS PARA TORRES E POSTES DE TELECOMUNICAÇÃO

Os "feeders" de telecomunicação devem ser aterrados por meio de um "grounding kit" sem elementos ativos, que tenha um terminal de saída que possa ser ligado com facilidade e segurança à escada da torre ou do poste (ou a treliça da torre).

Os "feeders" devem ser interligados à parte superior da escada metálica do poste ou da torre, e à 1,5 m acima do nível do esteiramento, que conduz ao "container" ou à edícula de dispositivos eletrônicos. Se entre esses dois pontos de interligação existir mais de 50 m, uma interligação intermediária é também necessária.

Caso a distância horizontal dos "feeders" até o "container" ou a edícula (que corre sobre o esteiramento horizontal), exceder 2 m, uma interligação adicional dos "feeders" com o esteiramento deve ser feita, na entrada do "container" ou da edícula.

### 13.0- CONCLUSÕES

O artigo mostra que há diversas vantagens em eliminar o cabo de cobre que corre paralelamente aos “feeders”, desde as antenas até o “container” ou edícula de dispositivos eletrônicos. Esta conclusão se aplica aos cabos de cobre que correm ao longo de torres metálicas, postes metálicos e de concreto armado, em instalações de telecomunicação e telefonia celular.

A eliminação reduz as perturbações que podem ser aplicadas sobre os circuitos e dispositivos eletrônicos, e não reduz as características de blindagem das instalações.

A nova modalidade de aterramento dos “feeders” é mais segura, pois os cabos de cobre vinham sendo seguidamente roubados, deixando os “feeders” desaterrados.

O IT mostra ainda que condutor de cobre retirado não contribui para equipotencializar a instalação durante perturbações impulsivas.

O artigo conclui que os “feeders” devem ser interligados diretamente na escada metálica dos postes e torres, por meio de um “kit de aterramento” que garanta um bom contato elétrico entre as partes. O “kit” mencionado não precisa conter nenhum elemento eletricamente ativo. As ligações básicas devem ser no topo da escada e 1,5 m acima do nível do esteiramento horizontal. Pontos de ligação adicional são necessários no caso de escadas com mais de 50 m e de “container” ou edícula muito afastados das torres ou postes.

### 14.0- 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 (ST&SC), 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] - C.F.Wagner , G.D.McCann

“Wave propagation in transmission lines” Westinghouse T&D reference book

#### 15.0-AUTORES

##### Sérgio Toledo Sobral

Graduação: PUC / RJ - Rio de Janeiro, 1964 – Engenheiro Eletricista

Compania: ST & SC Serviços Técnicos Ltda.

Proprietário e Diretor

##### Francisco Thadeu Prado Cruz

Graduação: UMC, São Paulo, 1981- Engenheiro Eletricista

Compania: Ericsson Telecomunicações, desde 1998

Staff Project Manager Office

##### Roberto Santillo

Graduação:Técnico em Eletrônica – IATEC- 1974- São Paulo

Business Administration- UNIP- S.Paulo

Compania: Ericsson Telecomunicações, desde 1975

Staff of Network Rollout Systems Implementations

##### Sérgio Cordeiro Sobral

Graduação:UERJ- Rio de Janeiro,1994,Engenheiro Eletricista

Mestrado: PUC / RJ 1997

Compania: Operador Nacional do Sistema Elétrico

Engenheiro Senior

#### 16.0 ANEXO - BLINDAGEM IMPULSIVA

A Figura. 11 mostra um degrau de corrente de 1 A trafegando para a direita, no condutor 1, produzindo um degrau de tensão de 438 V no mesmo condutor, que acompanha o degrau de corrente.

O degrau de corrente de 1 A está também induzindo um degrau de tensão de 245 V no condutor 2. Se o condutor 2 esta aterrado em 2 pontos, um degrau de corrente de 0,56 A trafega em sentido contrário. É a chamada corrente de blindagem.

O tráfico desta corrente produz uma região de tensão nula entre os pontos de aterramento do condutor 2. A corrente de blindagem reduz ainda a tensão do condutor 1 de 438 V para 300,8 V, no trecho correspondente aos pontos de aterramento no condutor 2.

A Figura. 12 é similar a Figura. 12, porém inclui um terceiro condutor chamado “induzido”. A Figura.13 mostra que um degrau de corrente trafega em sentido contrário entre os pontos de aterramento do condutor de blindagem, reduzindo a tensão aplicada na região correspondente do condutor “induzido” (região blindada). A região blindada do induzido corresponde a região do condutor de blindagem entre pontos de aterramento.

A Figura 13 mostra que uma bandeja metálica, quando adequadamente multi-aterrada, pode blindar as cablagens instaladas em seu interior.

Deve ser observado que o multi-aterramento da bandeja (digamos a cada 5 metros) em um condutor de cobre que segue a bandeja, permite a formação de diversos "loops" de blindagem.

O multi-aterramento permite que exista sempre um "loop" de blindagem nas proximades do local onde foi aplicada a perturbação impulsiva no indutor.

A proximidade do "loop" permite a pronta circulação da corrente de blindagem, evitando que a onda de tensão trafegue sem redução por um trecho considerável dos circuitos.

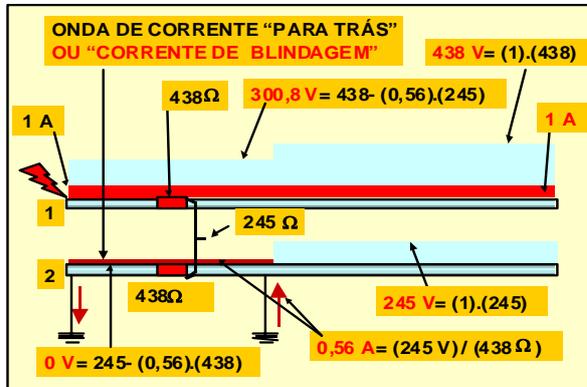


Figura 11- O condutor 2 blinda o condutor 1 entre os 2 pontos de aterramento

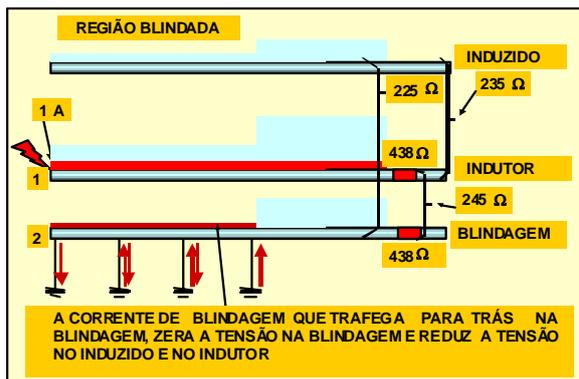


Figura 12- Multi-aterramento desejável no condutor de blindagem

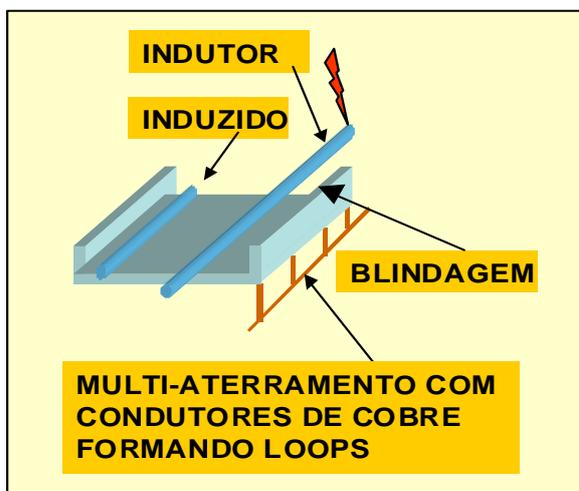


Figura 13- bandeja metálica multi-aterrada usada como blindagem contra perturbações impulsivas