
MEDIÇÃO E CÁLCULOS DO EFEITO CORRETIVO DE BLINDAGENS MONOATERRADA E BIATERRADAS EM INSTALAÇÕES DE POTENCIA E DE TELECOMUNICAÇÕES

S.T.SOBRAL*
ST&SC
Brasil

C.A.O.PEIXOTO
Consultor
Brasil

J.AMON.F
Furnas
Brasil

M.J.IZYCKI
Furnas
Brasil

G.M.TAVARES
U.F.F
Brasil

Resumo – O artigo reporta as medições executadas no Laboratório de Alta Tensão do Lactec, em Curitiba. Mostra como o uso da Teoria de Circuitos de Steinmetz permitiu obter resultados calculados praticamente iguais aos medidos. O artigo comenta ainda como é difícil obter os mesmos resultados utilizando a Teoria da Impedância de Transferência, de Shelkunoff, baseada na teoria de campos. O artigo relembra ainda os princípios básicos da técnica de blindagem e de controle de ruídos de modo comum e diferencial.

Palavras Chave - Teoria de Circuito, Steinmetz, Equações de Maxwell, Impedância de Transferência, Ruídos, Modo Comum, Modo Diferencial

I- INTRODUÇÃO

As seções II até VIII relembram conceitos básicos da técnica de blindagem.

As seções IX até XII sumarizam os principais resultados das medições realizadas no Laboratório de Alta Tensão do Lactec, em Curitiba. Chama-se atenção para o fato de que utilizando-se a Teoria de Circuito de Steinmetz, é muito simples calcular os valores das tensões induzidas em pares de condutores no interior de blindagens, estando as mesmas não aterradas, monoaterradas, biaterradas ou multiaterradas. Os valores calculados foram praticamente iguais aos medidos. Essas medições foram reportadas também no artigo [4] do IEEE. O resultado de uma das medições realizadas mostra que a Teoria da Impedância de Transferência de Schelkunoff, não corresponde a realidade. Comenta-se que embora não pareça impossível, é problemático conseguir-se resultados calculados semelhantes aos medidos no caso de tensões induzidas em pares de condutores, situados no interior de blindagens biaterradas ou multiaterradas, quando se utiliza a teoria de campos.

II. O EFEITO DE BLINDAGEM

A Fig.1 mostra que um condutor multiaterrado (2) pode reduzir a intensidade da onda de tensão que é induzida no condutor (3), devido a circulação de uma onda de corrente no condutor indutor (1). A impedância própria de surto 438Ω e as impedâncias mútuas de surto 235Ω , 245 e 225Ω foram incluídas para ilustrar um típico circuito de surto [4]-[15].

Com o objetivo de ilustrar o processo de blindagem, supõe-se que um ruído sob a forma de uma onda de corrente em degrau com 1A de intensidade esta trafegando ao longo do condutor indutor (1). A onda de corrente cria uma onda de tensão $V_1=(1).(438) V$ no próprio condutor (1) e induz ondas de tensão $V_2=(1).(245) V$ e $V_3=(1).(235) V$, nos condutores (2) e (3). Quando a onda (V_2) atinge os pontos de aterramento no condutor (2), uma onda de corrente de blindagem ($I_R=245/438=0,56 A$) trafega em direção contrária a corrente indutora ao longo dos “loops” de blindagem ligados a (2). As contratensões induzidas pela onda de corrente (I_R) que circula nos trechos aterrados de (2) reduzem a intensidade das ondas de tensão nos 3 condutores: ($V_3'= 235-(0.56).(225)$); ($V_1'= 438-(0.56).(245)$). No próprio condutor (2) a onda de tensão resultante se anula ($V_2' = 245-(0.56).(438)=0$) [4]-[15].

Quando a onda de corrente é injetada em um ponto do condutor [1], o efeito de blindagem nos 3 condutores ocorre apenas na região correspondente aos pontos de aterramento do condutor (2). Assim sendo, para reduzir o efeito das tensões induzidas de impulso ao longo de todo o condutor (3), é necessário aterrar o condutor de blindagem a pequenos intervalos, ao longo de toda sua extensão. Comenta-se mais a frente que

no caso de blindagens que envolvem os cabos, esse multiterramento é feito em condutores auxiliares de blindagem e não na própria blindagem do cabo (ver [10] até [14]).

III. PROCEDIMENTOS DE PROJETO PARA CONTROLAR TENSÕES INDUZIDAS APERIÓDICAS

A Fig.2 mostra uma bandeja metálica aterrada em diversos pontos (digamos a cada 5 m) em um condutor de terra próximo. A Fig. 2. mostra ainda que todos os componentes metálicos longitudinais da bandeja devem ser interligados, de modo que o conjunto possa operar como um “condutor auxiliar de blindagem”, e possa ser multiterrado em toda a sua extensão. Esse “condutor auxiliar de blindagem” deve seguir o cabo sem interrupção desde os equipamentos principais (no pátio da SE ou na Usina), até aos painéis a que os cabos se destinam, situados na Sala Eletrônica (Casa de Comando, Casa de Relés, etc.)

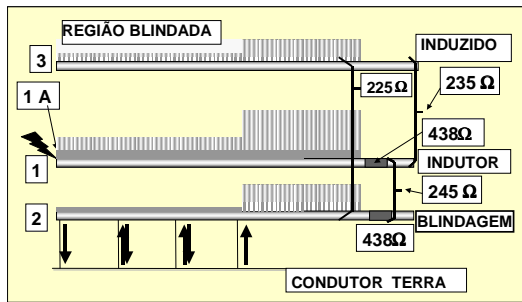


Fig.1. Efeito da blindagem multiterrada

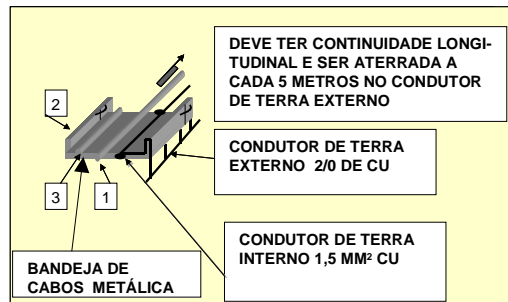


Fig.2. Bandeja metálica como blindagem auxiliar

IV. CONDUTORES DE BLINDAGEM AUXILIARES NO INTERIOR DE CANALETAS DE CONCRETO

A Fig.3 mostra que as canaletas de concreto devem ter 2 condutores de cobre 2/0, correndo dentro dela, nos suas laterais. Esses condutores devem ser ligados entre si a pequenos intervalos (digamos a cada 5 m) com o objetivo de formar “loops” de blindagem. Os dois cabos são interligados a malha de terra local a cada 20 m. Os testes mencionados em [12]-[13] mostraram que os condutores de blindagem de cobre são mais eficazes que os de aço cobreado quanto ao efeito de blindagem conseguido.

As medições também mostraram que o uso de canaletas de concreto armado e de tampas de canaleta de concreto armado deve ser limitado a pequenos trechos, (como as travessias de caminhos dentro de uma SE), pois os mesmos aumentam o ruído de modo diferencial, como consequência dos acoplamentos capacitivos entre os cabos e a armadura de aço do concreto [12]-[13].

V. BLINDAGEM DE CABOS ATERRADA NOS DOIS TERMINAIS

Uma blindagem aterrada nas duas extremidades é chamada de “blindagem eletromagnética”. Esse tipo de blindagem é percorrido por uma corrente de blindagem, que reduz o ruído de “modo comum” (V_1), capaz de danificar o dispositivo terminal (ver Fig.4). Por outro lado a “blindagem eletromagnética” aumenta o ruído de “modo diferencial”, que distorce os dados transmitidos pelo par, principalmente se as informações são analógicas. Isso ocorre porque o duplo aterramento permite o aumento do valor das correntes capacitivas espúrias responsáveis pela tensão de ruído (V_2), como mostrado na Fig.4.

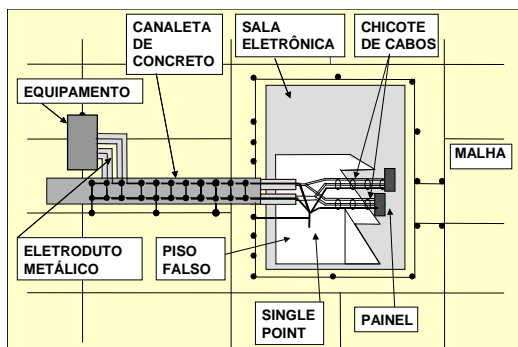


Fig.3. Blindagem das canaletas de concreto

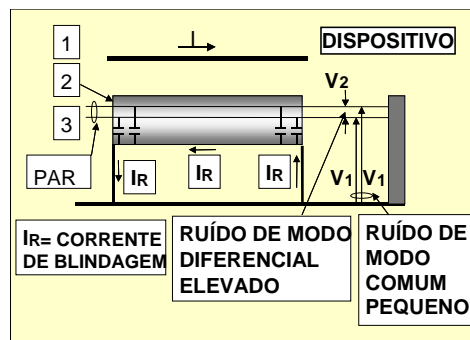


Fig.4. Efeitos da blindagem eletromagnética

O ruído de modo diferencial é menos significativo quando as informações transmitidas pelo par são digitais, pois “uns” e “zeros” são mais difíceis de alterar que informações analógicas. A blindagem própria biaterrada de um cabo é geralmente eficaz para perturbações periódicas, tais como curto-circuitos e harmônicas. Para perturbações aperiódicas, a blindagem própria do cabo aterrada apenas nas extremidades, é pouco eficaz, pois os pontos de aterramento estão muito afastados entre si e a onda de corrente de blindagem custa a se estabelecer. Por esse motivo é importante conduzir o cabo no interior de vias de cabo metálicas multiaterradas, que operam como blindagens auxiliares.

VI. BLINDAGEM DO CABO ATERRADA SOMENTE EM UM TERMINAL

Esse tipo de blindagem é denominado “blindagem eletrostática” (ver Fig.5). A mesma reduz o ruído de “modo diferencial” (V_2), mas aumenta o ruído de “modo comum” (V_1). Ele é utilizado no caso de cabos de pequena extensão que transmitem informações analógicas. A pequena extensão do cabo garante que o valor (V_1) será reduzido e não queimará portanto os terminais do dispositivo.

VII. BLINDAGEM DE DUAS CAMADAS

Esse tipo de blindagem, ilustrado na Fig.6, é utilizado quando o cabo é longo e transmite informações analógicas. As blindagens dos pares de cabos é aterrada somente no terminal do dispositivo terminal, para reduzir as correntes capacitivas distribuídas, que causam (V_2). Entretanto, a camada de blindagem externa é aterrada nas duas extremidades, para reduzir (V_1)

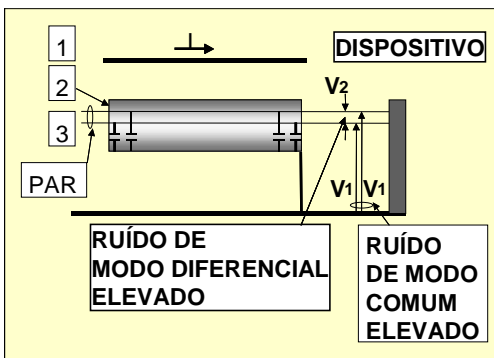


Fig.5. Efeitos da blindagem eletrostática

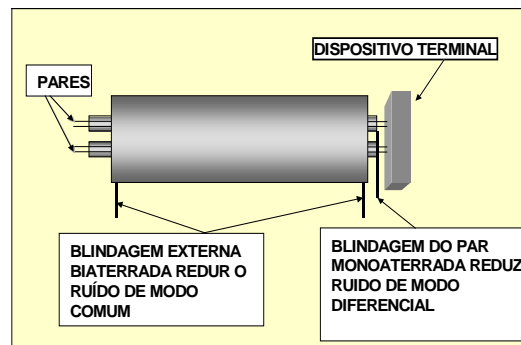


Fig.6. A blindagem de dupla camada

VIII. CABOS ORGANIZADOS EM CHICOTES, PRODUZINDO EQUIPOTENCIALIDADE DINÂMICA

A Fig. 3 mostra que no interior do piso falso, na entrada da Sala Eletrônica, no local denominado Single Point, o conjunto de cabos que vai para um painel específico é unido e mantido adjacente por meio de fitas plásticas, formando um “chicote de cabos” (cable bundle), que tem um condutor de terra interno próprio. Esse condutor de terra interno é ligado a barra de terra existente no Single Point e ao ponto de terra do painel terminal do “chicote”. Se uma perturbação aperiódica é injetada ou induzida em um dos condutores de um cabo do “chicote”, ou no condutor terra interno do mesmo, serão induzidas ondas de tensão quase idênticas, nos outros condutores do “chicote” (ver Fig.7)

Portanto, em cada seção reta do “chicote”, serão muito pequenas as diferenças das ondas de tensão entre os condutores que caracterizam os ruídos de modos diferencial. Serão também muito reduzidas as diferenças das ondas de tensão entre os condutores e o condutor terra interno, que caracterizam os ruídos de modo comum. O fato dos ruídos de modo comum e diferencial serem muito pequenos em cada seção reta do chicote, é denominado Equipotencialidade Dinâmica. A Ref. [13] reporta as medições correspondentes, executadas no Laboratório de Alta Tensão do Lactec.

IX. CORRENTE (I_R) CIRCULANDO AO LONGO DE UM CONDUTOR EQUIPOTENCIAL

Essa tipo de circulação de corrente tem ampla base bibliográfica ([5] até [12]) e foi verificada também durante os testes do Lactec, reportados no artigo [4]. Ela é uma consequência direta da Teoria de Circuitos de Steinmetz. Na realidade pode ser verificado por meio de uma simples medição de bancada, como ilustrado na Fig. 8. Causa estranheza que alguns adeptos dos métodos de cálculo usando teorias de campo não aceitem a existência de uma corrente que se mede com muita facilidade.

No teste mostrado na Fig.8. um condutor é aterrado em ambos os terminais e é submetido a uma tensão induzida longitudinal causada pela circulação da corrente (I) em um condutor indutor paralelo. Pode ser verificado que existe uma diferença de potencial nula entre cada par de pontos ao longo do condutor biaterrado. Este fato vem de uma simples aplicação da Teoria de Circuito de Steinmetz, como segue: $I \cdot Z_M = -I_R \cdot Z$ ou $I_R = - (Z_M/Z) \cdot I$, em A.

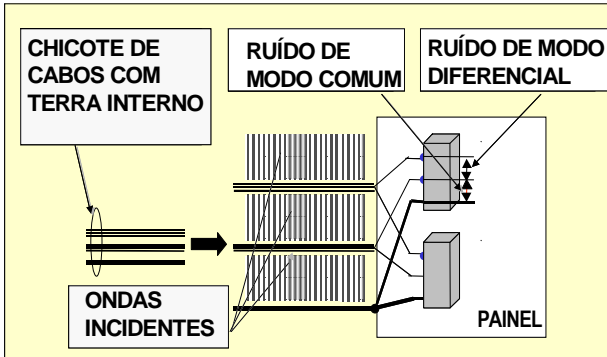


Fig.7. O efeito do “chicote de cabos”

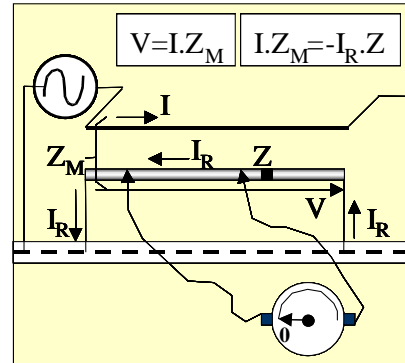


Fig.8. Corrente (I_R) circula em meio equipotencial

A queda de tensão ao longo de cada trecho elementar do condutor é equilibrada exatamente pela tensão induzida aplicada ao longo do mesmo trecho elementar. Na realidade, a circulação de corrente ao longo de um condutor equipotencial (chamada corrente “autoneutralizada”) é muito comum na Indústria Elétrica e ocorre sempre que um condutor biaterrado ou multiaterrado é submetido a uma tensão longitudinal induzida por um condutor indutor. Isso ocorre por exemplo em praticamente todos os sistemas de aterramento.

X. O PONTO DE VISTA DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL

O simples teste de bancada descrito na Fig.8 é difícil de ser explicado usando as Equações de Maxwell, como fui cuidadosamente examinado no artigo [4] do IEEE. Na verdade, deve ser lembrado que as chamadas equações de Maxwell foram apresentadas em um capítulo quase final e independente do merecidamente famoso Tratado [1], publicado em 1873 (Capítulo XX da Parte IV).

O título do Capítulo mencionado é Electromagnetic Theory of Light, e seu objetivo é descrever transmissão sem condutores metálicos. Essas equações deram origem ao surgimento da Indústria de Telecomunicações sem fio, que modificou profundamente o mundo atual. Entretanto, a aplicação das Equações de Maxwell para resolver circuitos metálicos não foi prevista nem autorizada por Maxwell.

A transmissão de Corrente Alternada começou por volta de 1883, utilizando basicamente a Teoria de Circuitos de Steinmetz, publicada em 1887 [2], pelo alemão-americano Karl August Rudolf Steinmetz, também chamado Charles Proteus Steinmetz, que é considerado o pai da Indústria Elétrica de corrente alternada.

Em 1934, portanto 63 anos depois da publicação do Tratado de Maxwell, o russo-americano Sergei A. Schelkunoff propôs [3] a aplicação das Equações de Maxwell para calcular a tensão induzida ao longo de um condutor situado no interior de uma blindagem metálica monoaterrada, criando a chamada Teoria da Impedância de Transferência. Cumpre lembrar que o mesmo cálculo já era feito com grande facilidade utilizando a Teoria de Circuitos de Steinmetz [4]. Como mostrado em [4] é problemático utilizar Equações de Maxwell para calcular o efeito de blindagens biaterradas e multiaterradas, devido as dificuldades de representar de maneira adequada as correntes autoneutralizadas que surgem nesses tipos de blindagem.

XI. MEDIÇÕES E CALCULOS DO EFEITO DE BLINDAGEM

Os testes realizados no Lactec e reportados em [4] mostraram os seguintes pontos:

A impedância mútua (Z_{14}) entre o indutor e o par de condutores, teve sempre o mesmo valor nas 5 configurações medidas, mostradas nas Figs. 9 até 13. Isso ocorre porque os envoltimentos de fluxo que envolvem o indutor e vão até o condutor de retorno, (situado na malha de terra do laboratório) são os mesmos, para as 5 configurações. Essa constatação é uma consequência da Lei Circuital de Ampere.

A presença do tubo metálico não modifica o montante de envoltimentos de fluxo a ser considerado. Todavia, na Fig.12, o tubo é aterrado nos 2 terminais, e a corrente autoneutralizada (I_R) circula por ele. Como (I_R) tem

direção oposta a (I), a primeira induz uma tensão negativa ao longo do par de condutores, situados dentro do tubo. Logo, a tensão induzida total ao longo do par de condutores, no interior do tubo, é $V'_4 = I \cdot (Z_{14}) - I_R \cdot (Z_{34})$.

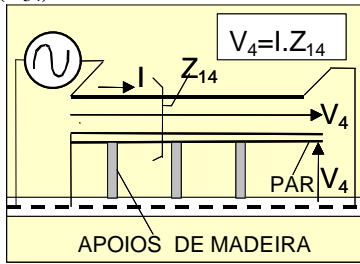


Fig.9. Par somente apoiado

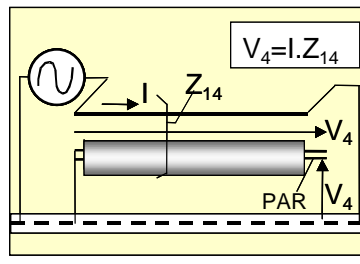


Fig.10. Par dentro do tubo isolado do solo

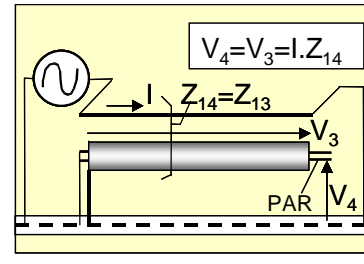


Fig.11. Par dentro do tubo monoaterrado

A impedância mútua (Z_{34}), entre o tubo e o par de condutores interno é $Z_{34} = 0,0 + j(X_{34} + X_{int})$. O valor de (X_{34}) é determinado com base no montante de envoltimentos de fluxo criados por (I_R), desde a superfície do tubo até o condutor de retorno, situado na malha de terra do laboratório, como é mostrado em detalhe em [4]. O valor de (X_{34}) é calculado considerando somente os envoltimentos de fluxo que abraçam simultaneamente o tubo e o par de condutores internos.

Vamos supor que (I_R) está distribuído em camadas concêntricas, desde a superfície externa até a superfície interna do tubo. A reatância (X_{int}) é produzida pelos envoltimentos de fluxo parciais devido a essas camadas, como detalhado no Appendix V de[4]. O valor de (I_R) é calculado por meio da expressão $I_R = V_3 / Z_3$, na qual (Z_3) é a impedância longitudinal do tubo. O valor dessa impedância longitudinal é: $Z_3 = r + j(X_{34} + X_{int})$, no qual (r) é a resistência longitudinal. Deve ser observado que os envoltimentos de fluxo produzidos por (I_R), que envolvem o tubo até o condutor de retorno situado na malha de terra do laboratório dão origem a reatância ($X_{34} + X_{int}$), correspondente a (Z_3). Entretanto, esses mesmos envoltimentos de fluxo abraçam simultaneamente o tubo e o par interno de condutores dando origem a impedância mútua $Z_{34} = 0,0 + j(X_{34} + X_{int})$. Portanto, a parte reativa de (Z_3) e (Z_{34}) são iguais.

XII REDUÇÃO ADICIONAL DA TENSÃO INDUZIDA NO PAR INTERNO

Essa redução adicional ocorreu quando uma junta atarrachada existente na parte centra do tubo foi by-passada externamente (veja Fig.13). As medições reportadas em [4] mostraram que esse by-pass externo causou uma considerável redução no valor da tensão induzida ao longo do par de condutores situados no interior do tubo. A Fig. 13 mostra que utilizando a Teoria de Circuito, A explicação para essa redução torna-se obvia, como segue:

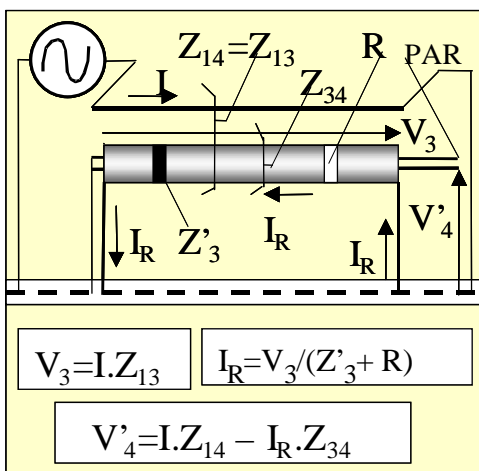


Fig.12. Tubo biaterrado e circulação de (I_R)

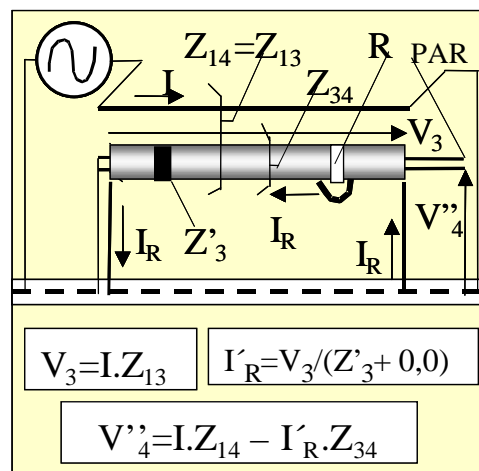


Fig.13. Redução adicional da tensão induzida devido ao by-pass externo da rosca

O by-pass reduz o valor de (Z_3) , e em consequência aumenta o valor de (I_R) . Portanto reduz-se o valor da tensão induzida ao longo do par interno: $(V_4) = (I).(Z_{14}) - (I_R).(Z_{34})$.

Schelkunoff postulou que a diferença de potencial que aparece ao longo do condutor no interior do tubo depende da propagação do campo elétrico ao longo da superfície interna do tubo, de acordo com um processo que denominou de Teoria da Impedância de Transferência. O teste realizado no Lactec mostrou que a teoria em apreço não tem uma base real, já que um curto circuito externo de uma rosca foi capaz de modificar de modificar a propagação do campo ao longo da superfície interna do tubo [4].

XIII. CONCLUSÕES

O artigo lembra os conceitos de blindagem eletromagnética e eletrostática, bem como os conceitos de ruídos de modo comum e diferencial. O artigo detalha também a metodologia de cálculo para determinar a tensão induzida ao longo de um par de condutores situados no interior de uma blindagem, considerando a mesma sem aterramento, monoaterrada, biaterradas e biaterrada com um by-pass externo de uma rosca. O artigo relembra ainda que a aplicação das equações de Maxwell a circuitos metálicos não foi prevista nem autorizada por Maxwell e pode levar a alguns enganos. Isto ocorre porque é preciso ter muito cuidado para não cometer enganos quando se representa correntes autoneutralizadas utilizando Equações de Maxwell.

O artigo lembra ainda que o efeito de uma corrente autoneutralizada pode ser verificado por meio de um teste de laboratório como mostrado em [4] ou por meio de um simples teste de bancada, como mostrado na Fig. 8. Foi também medida por medições de campo em linhas de transmissão [7].

Assim sendo, os cálculos e simulações relativa a blindagens bem como de distribuição de corrente ao longo de malhas, cabos pára-raios de linhas de transmissão, blindagens de cabos de potencia e cruzamentos de linhas de transmissão com dutos metálicos isolados, devem ser feitos utilizando a Teoria de Circuitos de Steinmetz. Quando esses cálculos e simulações forem feitos utilizando teoria de campo, recomenda-se a execução de testes de laboratório e de campo que mostrem que a componente autoneutralizada de corrente foi levada em conta de maneira adequada.

XIV. REFERENCES

- [1] J. C. Maxwell, "A Treatise on electricity & magnetism", in two volumes, 1026 pages- 1954 *Inside Volume II, Part IV, Chap.XX, pp 431-450 "Electromagnetic theory of tight"*
- [2] C. P. Steinmetz, "Theory and calculation of alternating current phenomena, W.J. Johnston Co. NY, 1898(book)
- [3] Sergei. A. Schelkunoff, "The electromagnetic theory of coaxial transmission lines and cylindrical shields", Bell System Technical Journal, vol. 13, 1934, Pg. 532-579.
- [4] Sobral,Sérgio Toledo (ST&SC), Peixoto,Carlos A.O, Amon, Jorge F,Tavares (FURNAS), Geraldo Martins (UFF), Izycki, Marcos José (FURNAS), Rigueira, Alexandre (UFF). "Advantages of Steinmetz Circuit Theory Over Schelkunoff Transfer Impedance Theory". IEEE Transactions on Power Delivery, October 2009, Volume 24, Number 4, ITPDE5 (ISSN 0885-8977) pp-1876-1882
- [5] S. T. Sobral, M. S .Campos, B. Goldman (Iesa), V. S .Costa (Eletrobras), D. Mukhedkar (Ecole Polytechnique de Montreal, "Dimensioning of nearby substations interconnected ground system". IEEE Trans. On Power Delivery, vol. PWRD-3, N^o4, OCT 1988 pp. 1605-1614
- [6] S. T. Sobral (Iesa), G. P. Fleury, J. R. Villalba (Itaipu), Dinkar Mukhedkar (Ecole Polytechnique de Montreal), "Decoupled method for studying large interconnected ground systems using microcomputers – part I – fundamentals" IEEE Trans. On Power Delivery, vol.PWRD-3, N^o4, OCT 1988 pp. 1536-1544
- [7] S. T. Sobral (Iesa), C. A. O.Peixoto (Furnas), D. Fernandes (Furnas), Dinkar Mukhedkar (Ecole Polytechnique de Montreal), "Grounding measurements at itaipu generation complex using the extended Eleck Method". IEEE Trans. On Power Delivery, vol. WRD-3, N^o4, OCT 1988 pp. 1553-1563.Included as a reference in Standard IEEE-81
- [8] S. T. Sobral(Iesa), J. O. Barbosa, J. V. C.Nunes, E. Chinelli, A. Ferreira Netto (Light), D. Mukhedkar (Ecole Polytechnique de Montreal), "Ground potential rise characteristics of urban step-down substations fed by power cables- a practical example". IEEE Trans. On Power Delivery, vol.PWRD-3, N^o4, OCT 1988 pp. 1564-1572

- [9] S. T. Sobral, J.J.H.Santos (IESA), D. Mukhedkar (Ecole Polytechnique de Montreal) “A proposal for ground measurement techniques in substations fed exclusively by power cables”
IEEE Trans. On Power Delivery, vol.PWRD-3, N^o4, OCT 1988 pp. 1403-1409. [10] Sérgio T. Sobral (ST&SC), Ariceu Martineli (Escelsa), Antonio Luiz de Assis (Escelsa), José Romeu Dellacqua (Escelsa), Aroldo Cozer Boynard (Enersul), Antonio Pádua Ribeiro (Escelsa), “Interference control- power plants, substations, telecommunication installations”
IEEE Transmission & Distribution Latin America 2004
- [11] Sérgio T. Sobral (ST&SC), Ariceu Martineli (ESCELSA), Antonio Luiz de Assis (ESCELSA), José Romeu Dellacqua (ESCELSA), Aroldo Cozer Boynard (ENERSUL), Antonio Pádua Ribeiro (ESCELSA). “Design Procedures Used By Two Brazilian Utilities To Control Electromagnetic Interferences in Power Substations, Power Plants and Telecommunication Installations”
International Symposium on Electromagnetic Compatibility 2005
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] C.F.Wagner , G.D.McCann “Wave propagation in transmission lines” Westinghouse T&D Reference Book .

ANEXO I VANTAGENS DA TEORIA DE CIRCUITOS DE STEINMETZ

Como detalhadamente examinado em [4], a Teoria de Circuitos de Steinmetz é mais simples, objetiva e precisa que as teorias de campo, como segue:

- a) Os cálculos lidam diretamente com valores de tensão e corrente, que são geralmente o objetivo dos cálculos.
- b) Os valores dos campos elétrico e magnético são determinados somente e quando forem realmente necessários.
- c) Os valores das quedas de tensão e das correntes circulantes são correlacionados por meio das impedâncias próprias.
- e) O valor das tensões induzidas e das correntes indutoras são relacionados por meio de impedâncias mútuas.
- f) Todos os cálculos são feitos por meio da simples álgebra dos números complexos, com a ajuda de técnicas matriciais e dispondo de inúmeros Teoremas de Circuitos.
- g) O cálculo vetorial raramente é necessário.
- h)O valor das impedâncias próprias e mútuas é calculado de uma maneira simples e precisa, utilizando a Lei Circuitual de Ampere, conforme detalhado em [4].
- i) O calculo das correntes auto-neutralizadas é imediato.
- j) O cálculo da tensão induzida ao longo de um par de condutores no interior de uma blindagem pode ser feito com facilidade e precisão, qualquer que seja a modalidade de aterramento da blindagem.
- k) O resultado dos cálculo não depende da escolha de caminhos de integração de valores de campo, que têm que ser arbitrado pelo executante do cálculo.

AGRADECIMENTO

S.T.Sobral agradece ao engenheiro Armando Pereira Reis Miranda, por ter sido o primeiro a lhe mostrar que a organização do Tratado de Maxwell deixa claro que as famosas Equações de Maxwell foram desenvolvidas para descrever a propagação da luz e outros fenômenos que se propagam sem meio metálico

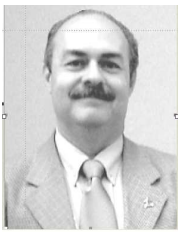


Sérgio Toledo Sobral nasceu em Vitória, Espírito Santo, em 2.08.39. Recebeu seu B.Sc da PUC-Rio em 1964 como Engenheiro Eletricista. Foi Superintendente do Departamento de Estudos de Sistemas e depois Diretor de Projetos (subestações, linhas de transmissão e distribuição) da Internacional de Engenharia S.A Foi Consultor Especial no Projeto Itaipu. Desde 1990 esta com sua própria Companhia, ST&SC Serviços Técnicos Ltda, especializada em estudos e projetos de aterramento e controle de interferências eletromagnéticas. Preparou 67 artigos técnicos apresentados no IEEE, CIGRE, ERLAC e SNPTTE. Preparou e implantou com sucesso critérios de projeto relacionados com aterramento e controle de interferências para 4 importantes Concessionárias brasileiras: FURNAS, COPEL, ESCELSA, ENERSUL.



Carlos Augusto de Oliveira Peixoto

Engenheiro Eletricista – Escola Nacional de Engenharia – Rio de Janeiro - 1959
Curso de Graduação em Power System AC e HVDC Engineering, Membro da Royal Swedish Academy of Engineering Science. Fellow do Institute of Electrical and Electronic Engineers – USA. Life Fellow of the Institute of Electrical and Electronic Engineers – USA .Member of the CIGRE – Paris. Award of IEEE UNO LAMM Medal – 1992. A sua experiência tecnico-profissional é concentrada nos diferentes aspectos de planejamento, engineering e projeto de HV e EHV AC e HVDC. Essa experiência foi adquirida e aplicada no período de 1959-1991, como engenheiro de FURNAS-Centrals Elétricas, S/A, quando exerceu diversas funções técnicas e gerenciais. Depois da aposentadoria por FURNAS, em 1991, começou suas atividades como Consultor.



Jorge Amon Filho nasceu no Rio de Janeiro, RJ-Brasil em 8 de Agosto de 1952. Recebeu seu B.Sc. (1975) e seu M.Sc. (1986) em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio de Janeiro, Brasil. Trabalha em FURNAS Centrais Elétricas, desde 1976. No momento é o Chefe da Divisão de Estudos para Equipamentos do Departamento de Planejamento da Transmissão. É também membro do CIGRÉ SC A3.



Marcos José Izycki nasceu em São Paulo, SP – Brasil em 8.12. 74. Recebeu seu B.Sc. em Engenharia Elétrica pela UNIP-São Paulo, Brasil (2002). Trabalha em FURNAS Centrais Elétricas, desde 2006. No momento é engenheiro da Divisão de Estudos de Equipamentos do Departamento de Planejamento da Transmissão..



Geraldo Martins Tavares nasceu em São Sebastião do Alto, RJ – Brasil 10.05.47. Recebeu seu B.Sc. (1970) e seu M.Sc. (1975) em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Recebeu seu D.Sc. (1998) em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. É professor do Departamento Elétrico da Universidade Federal Fluminense, em Niterói, Rio de Janeiro, desde 1992. Trabalhou durante 22 anos em Concessionárias Federais brasileiras tais como a CHESF e ELETROSUL, e em consultoras brasileiras tais como a MILDRE KAISER, ENGEXIX e IESA.