

Estudos Preliminares para Implantação de Sistema de Aquisição de Dados de Descargas Atmosféricas e de Tensões Induzidas em LD's

A. Piantini, IEE/USP, T. Ohara, IEE/USP, J. M. Janiszewski, EPUSP, e R. A. Roncolato, CPFL

Resumo - Este artigo relata os resultados dos estudos preliminares desenvolvidos visando a implantação de um sistema de aquisição de dados de descargas atmosféricas e de tensões induzidas em linhas de distribuição primárias. São apresentadas as características técnicas gerais dos sistemas de medição e de aquisição de dados e abordados, também, aspectos relevantes para a prevenção dos diversos tipos de problemas que poderão surgir no que concerne a interferências eletromagnéticas.

Palavras-chave – descargas atmosféricas, tensões induzidas, distribuição.

I. INTRODUÇÃO

Apesar do fenômeno das tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas vir sendo estudado teórica e experimentalmente há muito tempo por pesquisadores de diversos países, sérias divergências são ainda verificadas entre as teorias existentes, mesmo quando não se considera na linha a presença do condutor neutro, cabo guarda e equipamentos mais complexos, como transformadores e pára-raios.

Em [1] foi desenvolvido um novo modelo, utilizando-se como base a teoria de Rusck [2], porém com modificações tais que permitiram que se levasse em conta tanto os efeitos de descargas em estruturas metálicas como os efeitos do comprimento do canal de descarga, do comprimento e configuração da linha e do “leader” ascendente. A comparação das tensões calculadas pelo modelo desenvolvido com resultados obtidos experimentalmente no Japão [3-5] confirmou a melhora significativa no modelo de Rusck após a introdução das referidas modificações.

Embora o modelo matemático desenvolvido em [1] tenha sido validado através de comparações com resultados de pesquisas experimentais realizadas no Japão, julgou-se conveniente avaliar o seu desempenho em outras situações. Deve-se observar que, dada a complexidade do fenômeno, tal avaliação só pode ser feita caso sejam conhecidos todos os parâmetros que afetam significativamente as tensões induzidas. A dificuldade na

obtenção de dados nessas condições é certamente uma das razões para a existência, ainda hoje, de teorias conflitantes. Assim, a limitação do número de casos disponíveis e o desconhecimento de parâmetros como, por exemplo, a velocidade de propagação da corrente, o comprimento do canal da descarga e a ocorrência ou não do “leader” ascendente, nas pesquisas japonesas, motivaram o desenvolvimento de um modelo em escala reduzida, o qual permitiu uma análise bem mais abrangente do fenômeno [6]. Em [6] foi desenvolvida nova metodologia, a partir do modelo proposto em [1], a qual possibilita a determinação das tensões induzidas em situações em que a linha encontra-se protegida através de cabo-guarda e/ou pára-raios, considerando também a presença de transformadores e do neutro multiterrado.

Apesar dos bons resultados obtidos nas diversas comparações realizadas, é sabido que a comprovação final de qualquer modelo matemático complexo deve ser feita com base em resultados de campo. Esse é um dos objetivos desta pesquisa, pois com a comprovação no campo da validade da metodologia desenvolvida ter-se-á uma ferramenta extremamente poderosa para avaliação do número de interrupções em linhas rurais e urbanas, protegidas com cabo guarda, pára-raios ou ambos, considerando-se os parâmetros relevantes envolvidos. Tal metodologia poderá ser também aplicada na obtenção de subsídios para definição de critérios de instalação de pára-raios em transformadores de redes urbanas. Além disso, o projeto permitirá que seja analisado o desempenho de linhas de distribuição de média tensão, com proteção e sem proteção, face a descargas atmosféricas. Com base nesses resultados, serão definidos critérios para a utilização das técnicas mais eficazes que podem ser adotadas tendo em vista a melhoria do desempenho das linhas.

O estudo irá avaliar a eficácia do pára-raios como dispositivo de proteção contra descargas atmosféricas. Destaca-se aqui o pioneirismo deste trabalho, pois com exceção da pesquisa desenvolvida em [6], através de modelo em escala reduzida, não se tem conhecimento de outro estudo experimental no qual o efeito da utilização de pára-raios na redução das tensões induzidas tenha sido determinado diretamente. Assim, além de possibilitar uma avaliação direta da eficácia do sistema de proteção utilizado, os resultados obtidos permitirão a realização de comparações entre as tensões medidas induzidas na linha e as tensões calculadas através do modelo matemático desenvolvido em [6]. Tais resultados representarão uma importante contribuição para o estado da arte do conhecimento do fenômeno, tendo em vista a escassez de

A. Piantini trabalha no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (e-mail: piantini@iee.usp.br).

T. Ohara trabalha no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (e-mail: thais@iee.usp.br).

J. M. Janiszewski trabalha na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: jorge@lcs.poli.usp.br).

R. A. Roncolato trabalha na Companhia Paulista de Força e Luz (e-mail: roncolato@cpfl.com.br).

dados de campo envolvendo registros simultâneos de tensões induzidas e correntes de descargas.

II. METODOLOGIA

O trabalho prevê a obtenção de registros simultâneos das correntes de descargas atmosféricas incidentes em uma torre e das correspondentes tensões induzidas em duas linhas de distribuição monofásicas situadas na proximidade da mesma. Na base da torre serão instalados um resistor “shunt” e um osciloscópio, que comporão o sistema de medição de corrente. A utilização de cruzetas de tamanho superior ao convencional permitirá a instalação de duas linhas, em uma das quais serão instalados pára-raios em pontos estratégicos; a outra estará desprovida de qualquer tipo de proteção. Nos postes serão instalados divisores de tensão e osciloscópios, que comporão o sistema de medição da tensão. Nas proximidades da torre será construída uma cabine onde ficarão os equipamentos responsáveis pelo gerenciamento e controle da aquisição e do armazenamento dos dados.

A torre na qual deverão incidir as descargas será metálica, com estais isolantes e altura de aproximadamente 60 m. Para a medição das correntes das descargas, na base da torre será instalado um resistor “shunt” (R_s) por onde toda corrente fluirá até atingir o sistema de aterramento. A base da torre será isolada da terra por isoladores de porcelana tipo pedestal, como indicado na Fig. 1. O sistema de medição de corrente será composto pelo resistor “shunt”, osciloscópio, “mini modem”, bateria, carregador, contator e protetor contra surtos, como indicado na Fig. 2.

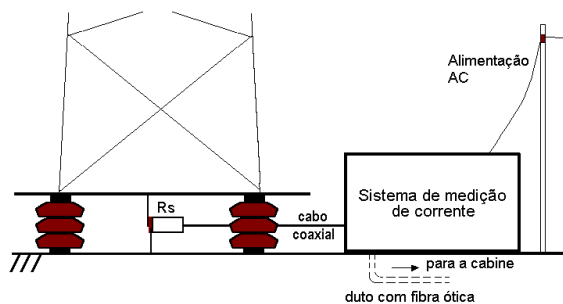


Fig. 1 – Torre com sistema de medição de corrente.

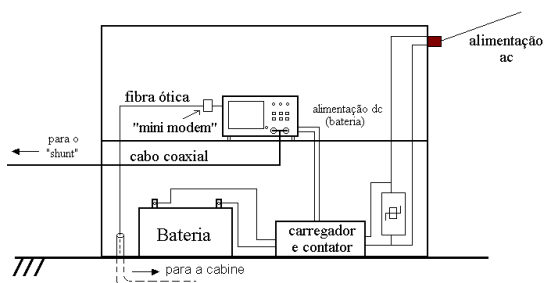


Fig. 2 – Detalhe do sistema de medição da corrente.

Na iminência de uma tempestade, a alimentação de rede no ponto de medição da corrente será desligada por meio de uma chave-faca situada na cabine de medição. Isto

provocará a abertura dos contatos normalmente abertos (NA) do contator e o carregador será desligado da rede, enquanto que a bateria será ligada ao osciloscópio através dos contatos normalmente fechados (NF) do mesmo contator. Para evitar sobretensões que poderiam danificar o sistema, a rede será protegida na entrada do ponto de medição. Após o período de medições (final da tempestade), a chave da cabine será fechada, restabelecendo-se a conexão da rede com o carregador, desligando-se, ao mesmo tempo, o osciloscópio da bateria.

Os sinais elétricos armazenados no osciloscópio serão transmitidos via fibra óptica até a cabine de medição, sendo a conversão sinal elétrico/sinal óptico e vice-versa feita por “mini modems”. Uma caixa blindada abrigará o sistema de medição, devendo ser dada especial atenção aos efeitos da temperatura e da umidade a que estarão sujeitos os componentes do sistema. A alimentação do sistema de medição na torre será aérea e acionada por uma chave-faca, com nível básico de isolamento (NBI) de 95 kV, situada na cabine. Essa forma de alimentação foi escolhida para evitar que as diferenças de potencial causadas no solo por descargas atmosféricas diretas na torre sejam transferidas para a cabine.

A linha experimental será composta por duas linhas monofásicas, sendo instalada proteção (pára-raios) apenas na linha mais próxima à torre. Essas duas linhas serão sustentadas pelos mesmos postes e instaladas nos dois extremos de cruzetas especiais, com aproximadamente 6 m de comprimento. Essa separação das linhas é suficiente para que não haja influência mútua significativa. Na Fig. 3 são indicadas as dimensões reais da linha experimental e os possíveis pontos de instalação dos pára-raios, assim como as terminações a ser utilizadas. Nas duas extremidades da linha sem proteção serão colocados resistores com valor de resistência (R) igual ao da impedância característica das linhas (Z_c), de modo a se evitar reflexões. Por sua vez, a linha protegida terá pára-raios em uma das extremidades, enquanto que a outra estará casada.

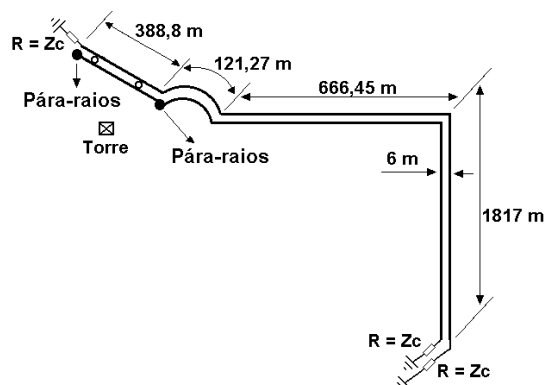


Fig. 3 – Linha experimental.

Para verificação do efeito da distância de separação entre as linhas monofásicas (tamanho da cruzeta) em relação às tensões induzidas nas linhas com e sem proteção foram feitas diversas simulações, utilizando-se a metodologia descrita em [2]. Tais simulações mostraram que as diferenças entre as tensões fase-terra do condutor

isolado e do condutor sem pára-raios não são relevantes, indicando que a distância de 6 m é suficiente para que os pára-raios da linha protegida não interfiram significativamente na indução da tensão na linha sem proteção.

Para a medição das tensões induzidas pelas descargas atmosféricas serão utilizados divisores de tensão localizados em dois pontos da linha experimental. O sistema de medição, indicado na Fig. 4, será acionado através de uma chave situada na cabine de medição. O funcionamento do sistema de aquisição e armazenamento de dados de tensões será similar ao de correntes. A alimentação AC do sistema de medição de tensões será subterrânea para evitar que sejam induzidas tensões nos cabos de alimentação por ocasião das descargas. Cada divisor de tensão será instalado em uma caixa blindada, ficando em seu interior o braço de baixa tensão do divisor, um osciloscópio e suas pontas de prova e um “mini modem” de comunicação via fibra óptica. Serão estudadas soluções para que a temperatura não ultrapasse o valor máximo suportado pelos equipamentos quando em operação e também para que a umidade fique dentro dos valores recomendados.

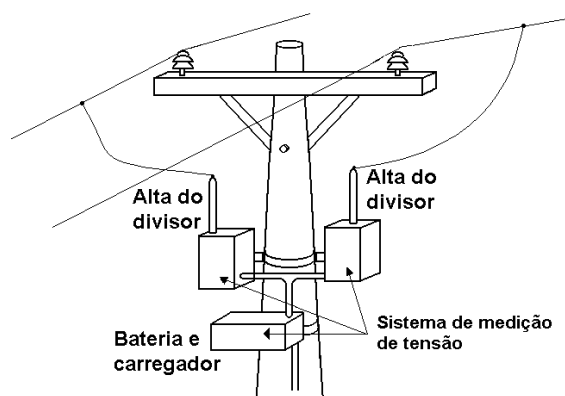


Fig. 4 – Sistema de medição da tensão induzida.

A cabine de medição, indicada na Fig. 5, estará situada a aproximadamente 40 m da torre. Nela estará a chave que controlará a ligação dos cinco osciloscópios: um, situado na base da torre e outros quatro na linha experimental, sendo dois em cada um dos postes escolhidos para as medições das tensões induzidas (pontos M1 e M2 da Fig. 5). Prevendo-se uma tempestade, a chave será acionada e os sistemas de medição de tensão e corrente serão ligados. Um computador com “multiplex” estará conectado através de “mini modems” de comunicação via fibra óptica com os 5 osciloscópios. O “laptop” armazenará os registros relativos às tensões induzidas nas duas linhas e às correntes das descargas incidentes na torre. A aquisição das formas de onda armazenadas nos osciloscópios será feita através de uma conexão “full duplex” de fibra óptica entre o “laptop” e cada osciloscópio. Para realizar essa conexão utilizar-se-á um “mini modem” assíncrono ligado à porta serial RS232 do osciloscópio e outro “mini modem” ligado à porta serial de um “multiplex” (MUX). O “laptop” irá executar um programa que controlará a aquisição de dados dos cinco osciloscópios utilizados.

Como a descarga atmosférica origina, simultaneamente, campos elétrico e magnético com espectro cobrindo faixa que se estende desde baixas frequências até cerca de 1 MHz, uma blindagem adequada deverá ser providenciada para reduzir a influência desses campos sobre o sistema de controle e aquisição de dados presente na cabine, considerando, também, os cuidados usuais quanto à eventual existência de aberturas que poderão reduzir a eficácia da mesma. Uma blindagem pode ser utilizada para reduzir os efeitos, sobre outros sistemas, das fontes de campo presentes no equipamento utilizado, bem como para reduzir os efeitos, sobre o equipamento, dos campos provocados por fontes externas, como é o caso presente. Dada uma blindagem metálica, seu efeito se deve a dois fatores: a reflexão da onda incidente e a atenuação da onda provocada pelas perdas no próprio material. Esses fatores variam com a frequência e com as características do material da blindagem (condutividade e permeabilidade).

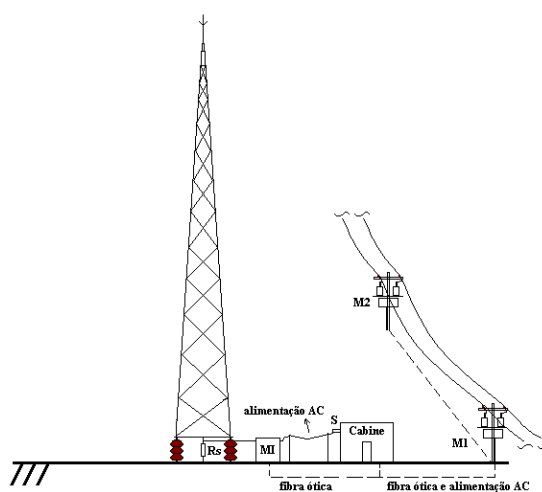


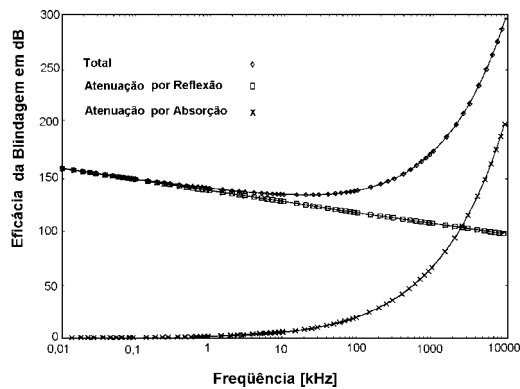
Fig. 5 - Interligação dos pontos de medição com a cabine.

MI: ponto de medição de corrente

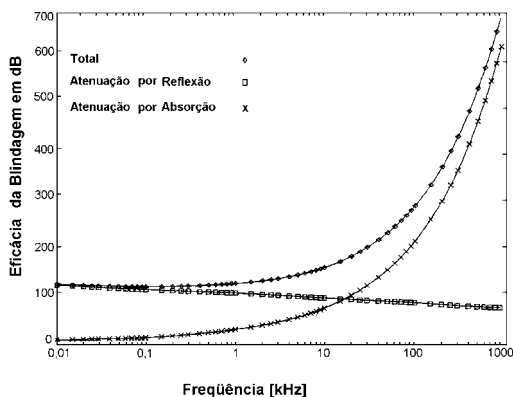
M1 e M2: pontos de medição de tensão

A Fig. 7 ilustra a eficácia proporcionada pela blindagem de placas de 0,5 mm de espessura de cobre e de aço, supondo que a fonte do campo esteja suficientemente afastada para que se possa considerar a incidência de ondas planas. Verifica-se que o efeito da blindagem por reflexão predomina em baixas frequências e que o material ferromagnético (aço) apresenta um efeito de aumento da eficácia da blindagem por atenuação (perdas), particularmente em frequências mais altas. A análise do fenômeno mostra, também, que a atenuação por perdas é um importante fator na redução do efeito de campos magnéticos interferentes. Quando se trata de fontes de campo próximas, não se podendo considerar a presença de ondas planas, o efeito de blindagem por reflexão depende do tipo de fonte do campo: fonte elétrica (dipolo elétrico) ou magnética (espira). A relação entre campos elétrico e magnético (impedância de onda) tem comportamento distinto nesses dois casos, resultando diferente efeito da blindagem, como mostra a Fig. 8, em que se vê o efeito de redução de campos por reflexão para uma blindagem de cobre em diferentes frequências e para diferentes distâncias da fonte elétrica ou magnética. A redução por

perdas apresenta o mesmo comportamento daquele correspondente a ondas planas.



(a)



(b)

Fig. 7 - Efeito de blindagem – ondas planas (adaptada de [7]).
a) Cobre b) Aço

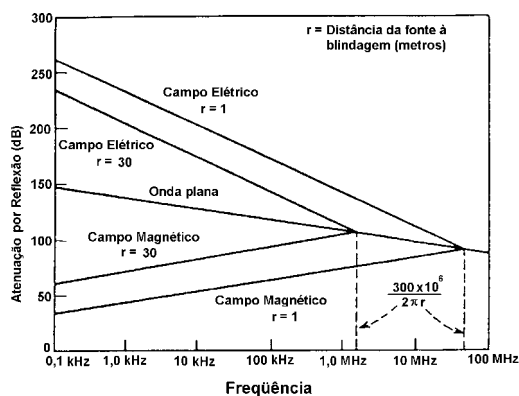


Fig. 8 - Atenuação por reflexão. Fontes próximas (adap. de [7]).

Verifica-se que para o campo magnético a eficácia da blindagem diminui em baixas frequências; como a atenuação por perdas também decresce com a frequência, outra técnica deve ser utilizada. Neste caso, podem ser utilizados materiais de alta permeabilidade para "desviar" o campo ou materiais condutores formando "espiras" que, por correntes induzidas, criam campo em oposição ao campo magnético interferente. No primeiro caso, cuidados especiais devem ser tomados com o efeito de saturação do material com altos valores de campo magnético. Uma última observação deve ser feita a respeito do efeito de

aberturas na blindagem., tais como as que surgem pela necessidade de acessos. No caso de portas ou janelas, quando do seu fechamento deve-se obter perfeita continuidade dos materiais condutores das paredes e dos acessos.

IV. CONCLUSÕES

Foram apresentadas, neste trabalho, as linhas gerais da implantação dos sistemas de medição e de aquisição de dados de um estudo que visa avaliar o comportamento das tensões induzidas em linhas de distribuição devido a descargas atmosféricas indiretas e a eficácia da utilização de pára-raios na redução dessas tensões. Foram também discutidas algumas soluções para problemas técnicos que podem ser encontrados nessa implantação. Considerações foram feitas para que as medições não sofram influência de ruídos e interferências decorrentes de campos eletromagnéticos. Ensaio preliminares no sistema construído indicarão, com mais segurança, as providências mais adequadas para se evitar eventuais problemas na execução das medições.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos aos engenheiros Acácio Silva Neto e Celso P. Braz, do IEE/USP, e aos professores Ruy A. C. Altafim e José C. Sartori, da EESC/USP, que participam do grupo de trabalho.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Piantini, "Contribuição ao estudo das tensões induzidas em linhas de distribuição por descargas atmosféricas indiretas", Dissertação de Mestrado, Dep. Eng. Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991.
- [2] S. Rusck, "Induced lightning over-voltages on power-transmission lines with special reference to the over-voltage protection of low-voltage networks", *Transactions of the Royal Institute of Technology*, n. 120, pp. 1-118, 1958.
- [3] S. Yokoyama, K. Miyake and S. Fukui, "Advanced observations of lightning induced voltage on power distribution lines (II)", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 4, n. 4, pp. 2196-2203, Oct. 1989.
- [4] S. Yokoyama et al, "Advanced observations of lightning induced voltage on power distribution lines", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 1, n. 2, pp. 129-139, Apr. 1986.
- [5] S. Yokoyama et al, "Simultaneous measurement of lightning induced voltages with associated stroke currents", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 102, n. 8, pp. 2420-2427, Aug. 1983.
- [6] A. Piantini, "Tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas em linhas aéreas, rurais e urbanas, considerando diferentes métodos de proteção - modelagens teórica e experimental e aplicação ao cálculo de interrupções", Tese de Doutorado, Dep. Eng. Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.
- [7] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1992. Cap. 11, pp. 651-656.