**UTILIZAÇÃO DOS CABOS PARA-RAIOS DE LINHAS DE SUBTRANSMISSÃO PARA TRANSPORTE DE ENERGIA ELÉTRICA EM MÉDIA TENSÃO**

GABRIEL GONTIJO SANTOS1, IRIS NAYARA DE OLIVEIRA2, ERASMO GIGLI DE SOUZA3, MATEUS AVELAR CANTANHÊDE4 e JOSÉ EZEQUIEL RAMOS5

1Graduando de Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal de Rondônia -UNIR. gabrielgs.br01@gmail.com;

2Graduanda de Engenharia Elétrica da UNIR, [irisnayaraoliveira@gmail.com](file:///C%3A%5CUsers%5CCliente%5CDownloads%5Cirisnayaraoliveira%40gmail.com);

3Graduando de Engenharia Elétrica da UNIR, erasmogigli@gmail.com;

4Graduando de Engenharia Elétrica da UNIR, [mateuscantanhede@hotmail.com](file:///C%3A%5CUsers%5CCliente%5CDownloads%5Cmateuscantanhede%40hotmail.com);

5Dr. Prof. do Curso de Engenharia Elétrica da UNIR - Orientador do Projeto PIBIC, [j.ezequielramos@unir.br](file:///C%3A%5CUsers%5CCliente%5CDownloads%5Cj.ezequielramos%40unir.br);

**RESUMO**: Este trabalho contém os resultados preliminares de uma pesquisa cujo objetivo é analisar a viabilidade técnica do transporte de energia elétrica em média tensão utilizando-se o solo e os cabos para-raios de linhas de Transmissão (LT) aéreas de 69 kV e 138 kV. A possibilidade de adição de mais um cabo para-raios em LT com apenas um cabo para-raios é comentada e um experimento visando reproduzir a energização de duas fases e o solo como terceira fase, é realizado. Os resultados indicam que a energização do solo a partir do secundário de um transformador conectado em triângulo possibilita a utilização do solo como condutor, porém, o sistema de aterramento deve resultar em um valor tal que possibilite o equilíbrio das impedâncias das fases.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cabos para-raios, solo como condutor, malha de terra.

**USE OF LIGHTNING CABLES OF SUBTRANSMISSION LINES FOR TRANSPORTING ELECTRICAL ENERGY IN MEDIUM VOLTAGE**

**ABSTRACT**: This study contains the preliminary results of a research whose objective is to analyze the technical viability of the transport of electric energy in medium voltage using the ground and the cables of aerial Transmission lines (TL) of 69 kV and 138 kV. The possibility of adding one more lightning cable in LT with only one lightning cable is commented and an experiment aimed at reproducing the two-phase energization and the ground as the third phase is carried out. The results indicate that energizing the ground from the secondary of a transformer connected in a triangle makes it possible to use the ground as a conductor; however, the grounding system must result in a value such that it allows the balance of the phase impedances.

**KEYWORDS:** lightning cable, ground as a conductor, grounding mesh

**INTRODUÇÃO**

Apesar do atual desenvolvimento tecnológico, o transporte de energia elétrica em grandes quantidades ocorre, na sua quase totalidade, por meio de linhas de transmissão (LT) aéreas (FUCHS, 2015). Paradoxalmente, pequenas cargas, usualmente representadas por vilarejos e pequenas comunidades localizadas próximas dos corredores das LTs de alta tensão (AT), não usufruem dos benefícios de tais instalações devido aos elevados custos para fazer o rebaixamento da alta tensão (AT) para os níveis de média tensão 13,8 kV, 34,5 kV, usualmente designados de média tensão (MT). Alternativas tecnológicas visando superar essa barreira tem sido objeto de interesse de vários pesquisadores.

D’Ajuz e Oliveira Júnior (1992), Rose (1997), Souza (1991), Lima et al, (1991), Bolduc et al (2004) apresentam várias alternativas tecnológicas visando o atendimento a pequenas cargas a partir de LT de AT e EAT. Cabe destaque os trabalhos desenvolvidos por Iliceto et al. (1989), voltados à utilização dos cabos para-raios de LT, combinando-os na composição de sistemas monofásicos e sistemas trifásicos em que uma das fases é o solo. O sistema trifásico foi implantado em LT 230 kV no Estado de Rondônia, sendo amplamente estudado por Ramos (2010), tendo recebido a denominação de sistema para-raios energizados, tecnologia PRE, ou simplesmente, sistema PRE. Nessas denominações são consideras a subestação elevadora, sistema de aterramento, linha de transmissão composta pelos cabos para-raios e, por fim, a subestação abaixadora.

Este trabalho faz parte de um Projeto de Iniciação Científica (PIBIC) com o título: Transporte de Energia Elétrica em Média Tensão Utilizando-se o Solo e os Cabos Para-Raios de Linhas de Transmissão 69 kV e 138 kV, cujo objetivo é analisar a viabilidade técnica do transporte de energia elétrica em média tensão utilizando-se o solo e os cabos para-raios de linhas aéreas de 69 kV e 138 kV.

**MATERIAL E MÉTODOS**

 De acordo com Kagan, Oliveira e Robba (2005), linhas de transmissão nos níveis de tensão 69 kV e 138 kV são designadas por linhas de subtransmissão (LST). Usualmente, as estruturas utilizadas pelas empresas do setor elétrico brasileiro são do tipo autoportante metálicas ou de concreto, composta por apenas um cabo para-raios, como indicado na Fig. 1.



Figura 1: Geometria da torre de 138 kV, com circuito simples

Fonte: Adaptado de (Zanetta Júnior, 2003).

Diferentes alternativas para utilização dos cabos para-raios de LT são apresentadas por Iliceto et al. (1989). Nesse sentido, considerando que o material de estudo diz respeito à utilização do cabo para-raios de LST 69 kV e 138 kV com apenas um cabo para-raios, uma das alternativas para obter-se um sistema trifásico com retorno pelo solo é inserir mais um cabo para-raios na estrutura.

É certo que a adição de mais um cabo para-raios vai aumentar a solicitação mecânica sobre a estrutura, exigindo, portanto, que tal impacto seja avaliado. Esse aspecto, por ora, não é analisado neste trabalho, mas há uma premissa inicial de instalação do cabo adicional abaixo dos condutores da LST. Esse método de instalação é usualmente empregado pelas empresas distribuidoras de energia elétrica e tem como objetivo central reduzir o impacto dos surtos de tensão advindos das descargas atmosféricas.

Cumpre salientar que a questão central da pesquisa visa confirmar a viabilidade técnica da utilização do solo como uma das fases do sistema, aqui denominado de sistema 2 fases e terra (2FT). Nesse sentido, foi realizado um experimento utilizando-se: 01 transformador 220V/380V, conexão estrela-triângulo; 01 Variac com tensão variável de 0 a 380 V; 01 painel didático de comandos elétricos; 03 lâmpadas halógenas clara; 01 malha de terra, quadrado vazio, com quatro hastes cravadas uma em cada vértice do quadrado formado pela malha; 01 eletrodo de terra composto por uma haste de aço cobreada 2400 mm x 16 mm; 2 disjuntores termomagnéticos; cabos de cobre. 35 mm2. Na Fig. 2 é apresentado o diagrama simplificado para realização do experimento.



**Figura 2: Diagrama unifilar e trifilar para representação do sistema 2FT**

Como indicado na Fig. 2, a fase C do lado delta do transformador é conectada diretamente à malha de terra. Na outra extremidade, uma carga trifásica, também ligada em delta, é alimentada pelas fases A, B e a fase C, obtida por meio da conexão com a haste de terra.

Para que esse sistema seja equilibrado, as impedâncias longitudinais devem ser iguais. Ou seja, a fase C deve resultar em um valor de impedância igual à das demais fases. Tendo isso em mente, medições de resistência de terra foram realizadas na malha e na haste. Em seguida o sistema foi energizado e as tensões entre fases também foram medidas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No Quadro 1 são apresentados os resultados das medições na malha de terra (Rm) e haste (Rh), assim como as medições das tensões entre fases.

Quadro 1- Resultados das medições

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barras | VAB (V) | VBC(V) | VCA(V) | Rm (Ω) | Rh(Ω) |
| A | 225,5 V | 225,4 | 224,2 | 118  | 151 |
| B | 98,5 | 99,0 | 99,3 | 118 | 151 |
| C | 166,4 | 167,2 | 168,4 | 118 | 151 |
| D | 166,1 | 105,6 | 108,7 | 118 | 151 |

A tensão na barra A é a tensão de alimentação, resultante de uma rede com tensão trifásica 220V / 127V. A barra B é a de tensão controlada por veio do VARIAC. A barra C corresponde ao lado de 380 V do transformador trifásico ligado em estrela / triângulo. Finalmente, a barra D é a barra de conexão da carga, logo a de maior interesse.

Observando-se os valores das tensões compostas que envolvem a fase C, verifica-se que as tensões VAB e VCA, em média, são 35% menor que a tensão composta VAB. Esses resultados refletem, em primeiro lugar, os altos valores de Rm e Rh.

Segundo Rose (1997), Gatta, Iliceto e Lauria (2001), o retorno da corrente pelo solo é estabelecido como uma trilha cuja resistência é bem menor que a dos cabos condutores usualmente utilizados nos sistemas de média tensão. Esse valor de resistência pode ser obtido por meio da Equação:



 (1)

Onde:

Rg = Resistência à corrente de retorno pelo solo;

f = frequência, em Hz

À frequência de 60 Hz, Rg = 0,06 [Ω/km], um valor bem menor que a resistência apresentado pelo cabo de alumínio com alma de aço, código Penguin, cuja resistência a 50ºC é equivalente a 0,3679 [Ω/km] (FUCHS, 2015).

Com efeito, se a resistência da trilha condutora é um valor pequeno, fica evidente que a impedância resultante da fase C depende dos valores de Rm e Rh. Como indicado no Quadro 1, esses valores ultrapassam a 100 Ω.

Portanto, as quedas de tensão apresentada nos resultados das tensões compostas (VBC e VCA), estão associadas a altos valores de impedância da fase que utiliza o solo como condutor. Assim, verifica-se a necessidade de atuar no sistema de aterramento visando obter um valor que torna as tensões entre fases mais equilibradas.

**CONCLUSÃO**

 A introdução de mais um cabo para-raios em uma LST projetada incialmente para operar apenas com um, resulta no aumento da sua blindagem contra as descargas atmosféricas. Contudo, essa possibilidade depende da comprovação de que é possível obter um sistema trifásico em que uma das fases é o próprio solo.

O experimento realizado de acordo com o diagrama mostrado na Fig. 1 comprova que o solo pode ser utilizado como condutor, compondo uma das fases de um sistema trifásico denominado sistema 2FT. Os desequilíbrios nos módulos das tensões compostas VBC e VCA em relação a VAB, estão associados aos elevados valores de Rm e Rh. Esse resultado mostra que é possível a obtenção de um sistema de tensões trifásicas equilibrado, desde que sejam obtidos valores de Rm e Rh bem menores.

**AGRADECIMENTOS**

À UNIR pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor e ao apoio recebido pelo grupo de pesquisa em modelagem de sistema elétricos (GPMSE).

**REFERÊNCIAS**

BOLDUC, Leonard; BRISSETE, Yves; BEAUDIN, Denis; PAGÉ, Daniel; BÉRUBÉ, André. Overhead-ground-wire power supply: regulation by IVACE. IEEE Transactions on Power Delivery, v.19, n.1, p.393-99, Jan. 2004.

D’AJUZ, Ary; OLIVEIRA JÚNIOR, Hélio Pessoa. Principais tecnologias não convencionais para alimentação de pequenas cargas ao longo de linhas de transmissão. In: SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA, 3, 1992, Belo Horizonte. Anais. SEPOPE. Belo Horizonte, 1992.

FUCHS, Rubens Dario. Transmissão de energia elétrica: linhas aéreas. 3.ed. Uberlândia: EDUFU, 2015, 2v.

GATTA F.M; ILICETO F.; LAURIA, S. Lightning performance of HV transmission lines with insulated shield wire(s) energized at MV: analysis and field experience. In: SYMPOSIUM ON BEHAVIOUR OF ELECTRICAL EQUIPMENT AND COMPONENTS IN TROPICAL ENVIRONMENT, 2001, Cairns, Proceedings. CIGRÉ. Cairns, 2001. Paper n. 100-07, Sep. 2001.

ILICETO, F.; CINIERI, E.; CASELY-HAYFORD, L.; DOKYI, G. New concepts on MV distribution from insulated shield wires of HV lines: operation results or an experimental system and applications in Ghana. IEEE Transactions on Power Delivery, v.4, n.4, p.2130-44, Oct. 1989.

KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBA, Ernesto João. Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

LIMA, Antônio G. G.; PILLOTO, Luis A. S.; ALVES, José E. R.; WATANABE, Edson H. Transmissão de energia em corrente contínua modulada em alta tensão. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 11, 1991, Rio de Janeiro. Anais. SNPTEE. Rio de Janeiro, 1991. Grupo IV: Análise e técnicas de sistemas de potência - GAT.

RAMOS, José Ezequiel. Universalização da energia elétrica através da tecnologia cabos para-raios energizados (PRE). São Paulo, 2010. 347f. Tese (Doutor em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP). São Paulo, 2010.

ROSE, Eber Hávila. Alimentação de pequenas cargas ao longo de linhas de transmissão por meio de para-raios energizados. Itajubá, 1997. 188f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica). Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI. Itajubá, 1997.

SOUZA, Renato Barros C. de. Transmissão da Amazônia - Alimentação de pequenas cargas ao longo de troncos em corrente contínua. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 11, 1991, Rio de Janeiro. Anais. SNPTEE. Rio de Janeiro, 1991. Grupo IV: Análise e técnicas de sistemas de potência - GAT

ZANETA JUNIOR, Luiz Cera. Transitórios eletromagnéticos em sistemas de potência. São Paulo: EDUSP, 2003.