



Tensão Transitórias em Linhas Aéreas de 345kV: Uma Análise com ATP/ATPDraw

Transient Voltage in 345kV Overhead Transmission Lines: An Analysis with ATP/ATPDraw

Fábio Santana Bacellar¹,

Ósis Eduardo Silva Leal²

RESUMO

O ATP/ATPDraw é um conjunto de softwares para análises de transitórios eletromagnéticos amplamente utilizados pela comunidade tecnocientífica em todo o mundo. O software ATP (do inglês *Alternative Transients Program*), por possuir os modelos matemáticos de diversos equipamentos e componentes, é responsável por realizar os cálculos matemáticos necessários para representar os fenômenos de transitórios eletromagnéticos, enquanto o software ATPDraw facilita a representação gráfica dos circuitos elétricos objeto do estudo, além de gerar o arquivo de entrada do ATP. Dentre a gama de modelos disponíveis no ATP destaca-se os modelos de linhas de transmissão que contam com sofisticadas e eficientes rotinas para o cálculo dos parâmetros elétricos de linhas de transmissão. Diante da importância das linhas de transmissão para o correto funcionamento dos sistemas de transmissão de energia elétrica, torna-se indispensável a análise de seu comportamento frente a condições de carregamento mínimo, sobrecarga, curto-circuito, sobretensões, rejeição de carga entre outros distúrbios que podem ocorrer nos sistemas elétricos de energia. Para tal, é evidente que os estudos sejam conduzidos com modelos matemáticos que representem adequadamente o comportamento das linhas de transmissão. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar os fenômenos de energização de linha e religamento tripolar rápido utilizando o modelo JMarti, já disponível no ATP/ATPDraw, em configurações típicas de linhas de transmissão utilizadas no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Transitórios eletromagnéticos; Linhas de transmissão; Religamento tripolar; Energização.

ABSTRACT

ATP/ATPDraw is a set of software for electromagnetic transient analysis widely used by the technoscientific community around the world. The ATP software (Alternative Transients Program in English), because it has the mathematical models of various equipment and components, is responsible for performing the necessary mathematical calculations to represent electromagnetic transient phenomena, while the ATPDraw software facilitates the graphical representation of the electrical circuits under study, in addition to generating the ATP input file. Among the range of models available in ATP, the transmission line models stand out, which have sophisticated and efficient routines for calculating the electrical parameters of transmission lines. Given the importance of transmission lines for the correct functioning of electrical energy transmission systems, it is indispensable to analyze their behavior under conditions of minimum load, overload, short circuit, overvoltages, load rejection among others. For this, it is evident that studies are conducted with mathematical models that adequately represent the behavior of transmission lines. Therefore, the objective of this work is to evaluate the phenomena of line energization and fast three-pole reconnection using the JMarti model already available in ATP/ATPDraw in typical configurations of transmission lines used in Brazil.

KEYWORDS: Electromagnetic Transients; Transmission Lines; Three-pole Reconnection; Energization.

¹ Bolsista da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná E-mail: fabioacellar@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4770184752067181.

² Docente na Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: osisleal@gmail.com. ID Lattes: 8950350514404354.



INTRODUÇÃO

A modelagem de linhas de transmissão para estudos de transitórios eletromecânicos é crucial na engenharia elétrica. Dentre os diversos modelos disponíveis na literatura, no Brasil os modelos PI (ZANETTA JR, 2006), Bergeron (CABALLERO; COSTA; KUROKAWA, 2014) e JMarti (MARTI, 1982) são os mais utilizados. O modelo PI é fortemente utilizado para simulações de regime permanente como fluxo de potência (GRAINGER; STEVENSON JR, 1994) e os modelos Bergeron e JMarti são utilizados para estudos de transitórios eletromagnéticos. Entretanto, dentre estes dois, o último, Bergeron, pode conduzir a erros elevados para simulações de fenômenos que excita uma ampla faixa de frequência (MARTINEZ-VELASCO, 2017). Isso porque o modelo de Bergeron assumi que os parâmetros da linha é invariante na frequência. Por outro lado, o JMarti, cuja formulação é obtida no domínio modela, considera a dependência dos parâmetros da linha com a frequência. Porém, assumi que a matriz de transformação seja real, constante e invariante na frequência. Premissa válida para linhas com configuração pouco assimétrica. Entretanto, o uso do modelo Bergeron é comumente justificado nos estudos práticos pela dificuldade em se configurar adequadamente o modelo JMarti que, dentre seus os vários parâmetros de entrada, necessita que o usuário defina a frequência para o cálculo da matriz de transformação (MME; EPE, 2022). Então, com o intuito de auxiliar o usuário, pretende-se avaliar a resposta do modelo JMarti em três configurações típicas de linhas aéreas de 345kV utilizadas no Brasil (MME; EPE, 2022).

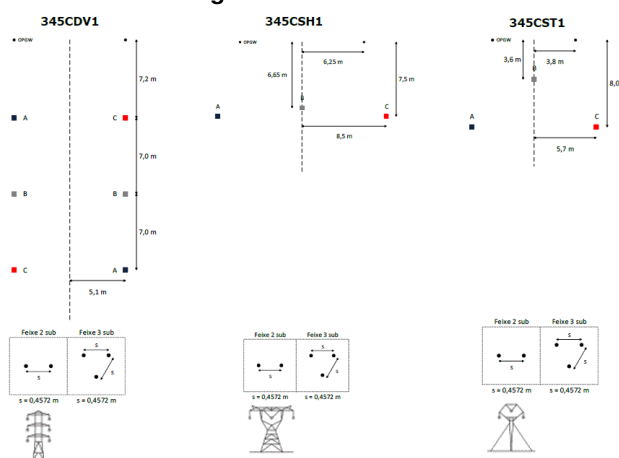
ESTUDO DE CASO

Serão analisados apenas dois fenômenos transitórios: energização de linha e religamento tripolar rápido. O estudo de energização de linha consiste em aplicar, em uma das terminações da linha de transmissão, previamente desenergizada, tensões nominais trifásicas equilibradas e observar o comportamento das tensões na terminação oposta (ONS, 2019). Por outro lado, o religamento tripolar rápido consiste no religamento dos condutores da linha após 500 milissegundos da sua abertura, este tempo é conhecido com tempo morto. Estratégia amplamente utilizada para religar a linha de transmissão após sua abertura devido a um curto circuito por exemplo (SOUZA; SILVA; DE CONTI, 2020). O estudo de tais fenômentos são necessários pois podem levar a transitórios eletromagnéticos, de variações rápidas e temporárias que devem ser suportadas pelos equipamentos instaladas nas terminações da linha de transmissão (CARVALHO, 2018).

Os testes foram conduzidos em três diferentes estruturas, ilustradas na Figura 1, tipicamente utilizadas no Brasil, projetos de linhas de transmissão de 345 kV para compor a rede básica do Sistema Interligado Nacional (SIN) (MME; EPE, 2022). Sendo uma linha de circuito duplo, contendo 6 fases com X condutores por fase e dois cabos para-raios denominada 345CDV1, e duas linhas de circuito simples contendo 3 condutores fase e dois cabos para-raios. Em todos os casos o cabo fase selecionado é o Starling da Alubar do tipo CAA (alma de aço) de 26/7. Para os cabos para-raios fora utilizados um cabo específico e um cabo para-raios do tipo OPGW (do inglês *Optical Ground Wire*).



Figura 1 – Estruturas



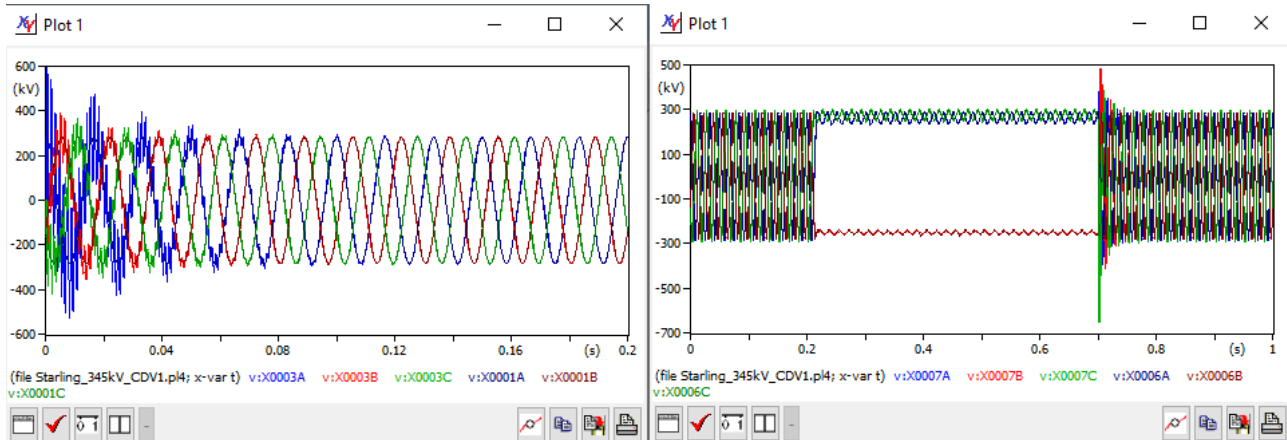
Fonte: Adaptado de EPE 2022

O modelo de linha de transmissão de JMarti, desenvolvido em 1982, é um método amplamente utilizado para simular transitórios eletromagnéticos em linhas de transmissão aéreas. Ele leva em conta a variação dos parâmetros da linha com a frequência e permite que um sistema com n fases seja desacoplado e resolvido como n sistemas monofásicos independentes. Marti buscou criar um modelo que fosse preciso, rápido, fácil de entender e que pudesse ser aplicado a uma variedade de casos e condições. No modelo, uma linha de transmissão pode ser representada por dois terminais sem conexão elétrica direta, com a influência de um terminal no outro ocorrendo através das fontes históricas. Marti também introduziu novas variáveis para relacionar correntes e tensões, conhecidas como funções progressivas e regressivas (MARTI, 1982).

RESULTADOS

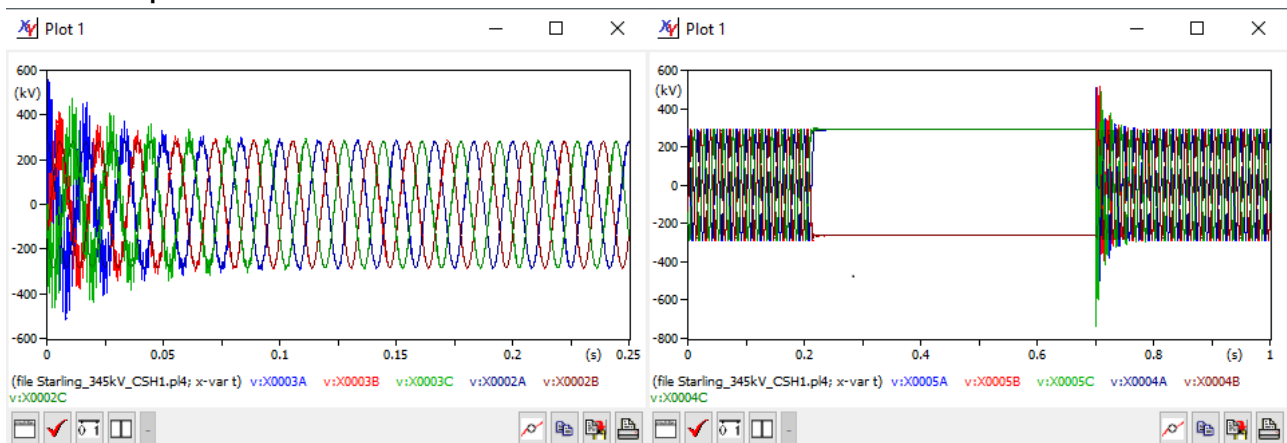
nas Figuras 2, 3 e 4, são apresentados as tensões observadas na terminação aberta, comumente denominada de receptora, para a energização e para o religamento tripolar rápido para as estruturas 345CVD1, 345CSH1 E 345CST1 resoectivamente. Na energização, Figuras 2(a), 3(a) e 4(a), observamos oscilações nos primeiros 80 ms cujo pico máximo foi de 600kV aproximadamente. Tais oscilações são rapidamente amortecidas. Por outro lado, para religamento tripolar rápido observa-se, logo após a abertura da linha de transmissão que a tensão é mantida em um valor fixo, tipo de uma fonte de tensão DC, como observado em medições reais. Essa tensão é devido a carga armazenada na linha de transmissão. Após 500 ms há então o fechamento do disjuntor ocasionando um novo transitório na linha. Neste caso tensões cujo pico máximo está na ordem de 800 kV são observadas. Neste caso, o pico de tensão foi 33,33 % maior que aquele observado no religamento. Este fato ocorre porque no religamento rápido há uma tensão residual DC devido a carga armazenada na linha de transmissão.

Figura 2 – Tensão observada na terminação receptora da linha 345CDV1 para (a) energização e (b) religamento tripolar.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 – Tensão observada na terminação receptora da linha 345CSH1 para (a) energização e (b) religamento tripolar.



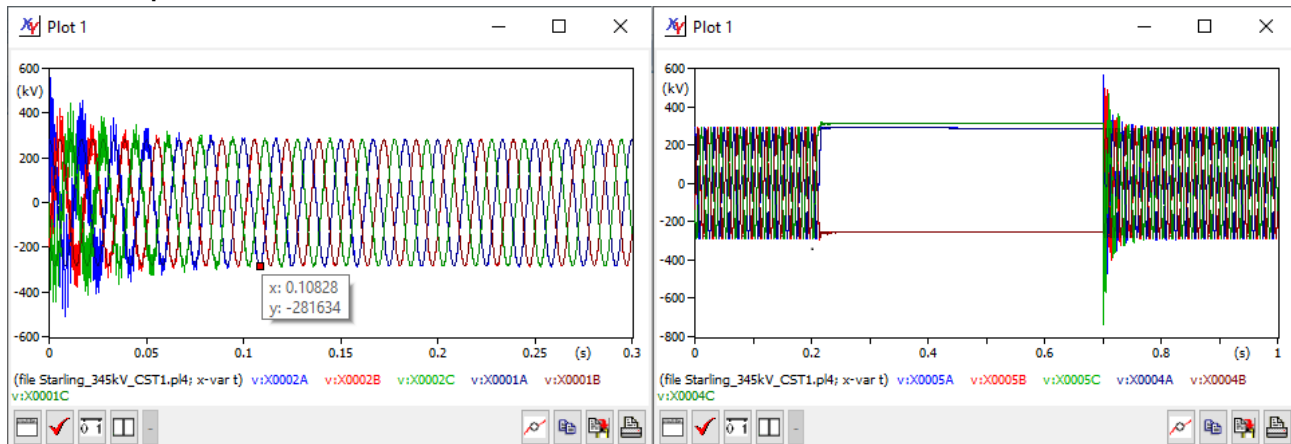
Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram analisados três estruturas típicas de linha de transmissão de 345 kV comumente utilizadas no Brasil. Em todos os casos os estudos de energização e religamento tripolar rápido foram realizados sem grandes dificuldades. Além disto, todos os resultados, apesar de preliminar, são coerentes com o comportamento observado em medições de linha de transmissão reais. O que corrobora com a afirmação de que o modelo JMarti pode ser utilizado para este tipo de estudo. Entretanto, por este trabalho possui caráter preliminar a generalização dos resultados não é recomendada.

Como continuidade desta pesquisa pretende-se testar novas estruturas, simular outros fenômenos transtórios comumente realizados em projeto de rede básica, avaliar a resposta do modelo considerando matriz de transformação calculada em diferentes frequência. Em todos os casos é importante comparar os resultados com modelos mais rigoros como por exemplo o modelo ULM (ref).

Figura 4 – Tensão observada na terminação receptora da linha 345CST1 para (a) energização e (b) religamento tripolar.



Fonte: Autoria própria.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- CABALLERO, Pablo Torrez; COSTA, Eduardo C Marques; KUROKAWA, Sérgio. Fitting the frequency-dependent parameters in the Bergeron line model. **Electric power systems research**, Elsevier, v. 117, p. 14–20, 2014.
- CARVALHO, Paulo Fernando Santos Dias de. ANÁLISE DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS DE MANOBRA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
- GRAINGER, John J; STEVENSON JR, WUliam D. **Power system analysis**. [S.I.]: McGraw-Hill series in electrical e computer engineering, 1994.
- MARTI, José R. Accurate modelling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulations. **IEEE Transactions on power apparatus and systems**, IEEE, n. 1, p. 147–157, 1982.
- MARTINEZ-VELASCO, Juan A. **Power system transients: parameter determination**. [S.I.]: CRC press, 2017.
- MME; EPE, ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO. ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO). Empresa de Pesquisa e Energia - EPE, 2022.
- ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão. Assessoria de Planejamento e Comunicação do Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2019.



SEI-SICITE
2023

XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - *Campus Ponta Grossa, PR*



SOUZA, Maria TC; SILVA, Sidelmo M; DE CONTI, Alberto. Análise Comparativa da Modelagem de Sistema HVDC no ATP Para o Estudo de Transitórios Eletromagnéticos. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 1, n. 1, 2020.

ZANETTA JR, Luiz Cera. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência**. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2006.