

架空線の地上高が変化した場合の過渡解析

Transient analysis for changes in ground height of overhead lines

○松居佑樹<sup>1</sup>, 古川慎一<sup>2</sup>

\*Yuki Matsui<sup>1</sup>, Shinichi Furukawa<sup>2</sup>

Abstract: In this study, the transient analysis of pulses when the ground height of overhead lines changes is examined. The overhead lines are arranged vertically in three lines in consideration of a power transmission system, and several types of surge pulses and changes in ground height are considered in the analysis. All results are computed with high accuracy by numerical analysis using our proposed NSODE-FILT (numerical solution of ordinary differential equations, NSODE, and fast inversion of Laplace transform, FILT).

架空線系統のパルス伝搬において、パルスの進行方向に対する不均一性を考慮した過渡解析は重要である<sup>[1][3]</sup>。不均一性には、近接した線路間の結合、線路の間隔、線路の地上高、線路の形状、大地の導電率などがある。文献[1]では、鉄塔で接続した区間ごとに線路の高さと大地の導電率を変えて検討している。しかしながら、線路の地上高は、鉄塔が設置されている位置の高低差によって区間内で不均一になる場合がある (図1 参照)。

本研究では、架空線の鉄塔(ノード)間において、線路の高さが不均一となる場合について、パルス伝搬の過渡現象を検討した。パルスの形状は、サージパルスを用いている。解析法には、パルスの伝搬方向に対する不均一な空間(1次元)の解析に常微分方程式の数値解法(Numerical solution of ordinary differential equation, NSODE)を適用し、過渡解析にFILT法<sup>[4][5]</sup>を適用した手法(Numerical solution of ordinary differential equations and FILT, NSODE-FILT)を用いている<sup>[3]</sup>。電圧と電流の初期分布を0として時間 $t$ でラプラス変換した伝搬方向( $x$ 方向)の基本方程式は、一般的に次のように表される。

$$-\frac{dV(x,s)}{dx} = [sL(x) + Z_g(x,s)]I(x,s) \quad (1)$$

$$-\frac{dI(x,s)}{dx} = sC(x)V(x,s) \quad (2)$$

但し、 $V(x,s) := \mathcal{L}_t[v_i(x,t)]$ ,  $I(x,s) := \mathcal{L}_t[i_i(x,t)]$  ( $\mathcal{L}_t[\cdot]$ :  $\cdot$ の時間 $t$ でのラプラス変換)は、線路電圧と線路電流ベクトルの演算子関数、 $L(x)$ は線路単位長当たりのインダクタンス行列、 $C(x)$ は線路単位長当たりのキャパシタンス行列、 $Z_g(x,s)$ は大地帰路の表皮効果を表すインピーダンス行列である<sup>[1]</sup>。NSODE-FILTの数値計算において、

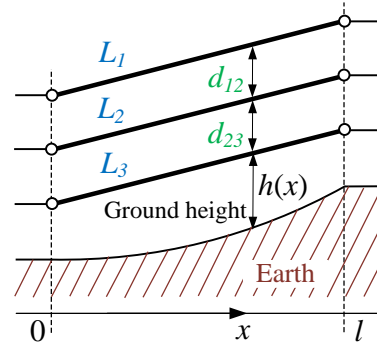


Figure1. Typical model of overhead lines considered changes in ground height.

電圧または電流の時間応答(以下、応答と略す、 $v(x,t) := \mathcal{L}^{-1}[V(x,s)]$ ,  $i(x,t) := \mathcal{L}^{-1}[I(x,s)]$ )の解析にはオイラー変換を用いたEFILT法<sup>[4]</sup>を適用し、式(1)と式(2)の連立常微分方程式の数値解法には4次のRunge-Kutta法を適用している。EFILTは次式で与えられる。

$$f(x,t) = \frac{e^a}{t} \left[ \sum_{n=1}^{N-1} F_n(x,t) + A_{\alpha 0}^{-1} \sum_{\beta=0}^{\alpha-1} A_{\alpha\beta} F_{N+\beta}(x,t) \right] \quad (3)$$

$$F_\gamma(x,t) := (-1)^\gamma \text{Im}[F(x, \varphi(t))],$$

$$\varphi(t) := \{a + j(n - 0.5)\pi\}/t, \gamma = n \text{ or } N + \beta.$$

ここで、 $f := v \Rightarrow F := V$ ,  $f := i \Rightarrow F := I$ であり、 $a, \alpha, N$ はEFILTの精度を決定するパラメータ、 $A_{\alpha\beta}$ は $A_{\alpha\alpha} := 1$ ,  $A_{\alpha,\beta-1} := A_{\alpha\beta} + \alpha_{\beta-1} C_\beta$ で帰納的に定義される量である。 $\text{Im}[\cdot]$ は $\cdot$ に対する虚部を表す。

参考文献

- [1] 市川:「数値ラプラス変換による伝送線路網における進行波の数値解析」, 電気学会論文誌 B, Vol.102, No.12, pp.25-32, 1982.
- [2] P.Gomez, L.Vergara, R.Nuricumbo-Guillén, and F.P. Espino-Cortés: “Two-Dimensional Definition of the Numerical Laplace Transform for Fast Computation of Transient Profiles Along Power Transmission Lines”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.31, No.1, pp.2530-2537, 2016.
- [3] 松居, 荒川, 古川:「不均一伝送線路の過渡解析」, 信学技法, EST2024-49, pp.207-212, 2024.
- [4] 細野:「数値ラプラス変換」, 電気学会論文誌 A, Vol.99, No.10, pp.44-50, 1979.
- [5] T.Hosono: “Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics”, Radio Science, Vol.16, No.6, pp.1015-1019, 1981.