

高速逆ラプラス変換法による環状線路を持つ伝送線路網の過渡解析

A Transient Analysis of Transmission-Line Network with a Loop Line by Fast Inverse Laplace Transform Method

○松居佑樹¹, 内田悠聖¹, 加藤夕奈², 古川慎一³

*Yuki Matsui¹, Yusei Uchida¹, Yuna Kato², Sinichi Furukawa³

Abstract: Transient analysis of the transmission-line network is important to know the influence for the overhead line system due to surge and/or the pulse propagation due to noise on a communication line. In this study, the transient response of traveling waves input from multiple nodes is computed by applying the nodal equation method and FILT (Fast Inversion Laplace Transform) for transient analysis of transmission-line networks. As a typical example, we discuss the case with a loop line in its network. The transmission line which composes the network is a single conductor line of the overhead line system and is taken into account the skin effect of the earth.

伝送線路網の過渡解析は、サージによる架空線系統やノイズによる通信線路のパルス伝搬への影響を知る上で重要である。これまでの代表的な報告は、進行波を1つの節点（以下、nodeと表すものとする）から入力し、1つまたは複数のnodeにおける応答波形や線路上の伝搬を解析することが主であった^{[1][2]}。しかしながら、伝送線路網の数箇所においてサージ等が短時間に連続または同時に発生する状況下では、複数のnodeから入力された進行波を想定し、伝送線路網の他のnodeに及ぼす影響を解析する必要がある^[5]。

本研究では、伝送線路網の一部にループ状の線路を有する場合^[1]（図1参照）について、1つのnodeから入力された進行波と複数のnodeから時間差で入力された進行波の過渡応答を解析した。過渡応答の解析は、節点方程式法にFILT（Fast Inverse Laplace Transform）法^{[3][4]}を組み合わせた手法を用いた。伝送線路は大地上に平行に張られた架空線系統の単導体線路とする。この場合、大地の表皮効果と導体の表皮効果を考慮する必要があるため、送端から任意の距離 x における電圧 $V(s)$ と電流 $I(s)$ の関係は次式で表される^[1]。

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

$$-\frac{dI(s)}{dx} = [G + sC]V(s) \quad (2)$$

ここで、 R : 単位長当たりの抵抗、 G : 単位長当たりのコンダクタンス、 $L = \mu_0(2\pi)^{-1} \log_e(2h/r)$: 単位長当

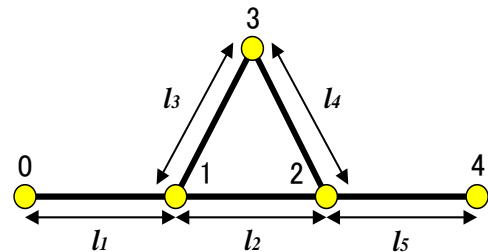


Figure1. Typical case of transmission-line network with a loop line.

りのインダクタンス、 $C = 2\pi\epsilon_0[\log_e(2h/r)]^{-1}$: 単位長当たりのキャパシタンス、 $Z_c(s)$: 導体の表皮効果、 $Z_g(s)$: 大地の表皮効果、 μ_0 : 真空中の透磁率、 ϵ_0 : 真空中の誘電率、 r : 導体の半径、 h : 大地から導体中心までの高さである。

また、FILT法は次式で表されるオイラー変換公式を用いたEFILTを採用した。

$$v_i(t) = \frac{e^a}{t} \left[\sum_{n=1}^{N-1} V_n + A_{p0}^{-1} \sum_{q=0}^{p-1} A_{pq} V_{N+q} \right] \quad (3)$$

$$V_n = (-1)^n \text{Im} \left[V \left(\frac{a + j(n - 0.5)\pi}{t} \right) \right] \quad (4)$$

A_{pq} は、 $A_{pp} \triangleq 1$, $A_{p0} \triangleq 1$, $A_{p,q-1} \triangleq A_{pq} + p^{-1} C_q$ で帰納的に定義される量である。 $\text{Im}[\cdot]$ は \cdot の虚部を表す。 a, p, N はEFILTの精度を決定するパラメータである。

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] 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.
- [4] T.Hosono : “Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics”, Radio Science, Vol.16, No.6, pp.1015-1019, 1981.
- [5] 内田・古川：「FILT法による伝送線路網解析」, 令和5年電気学会全国大会, 講演番号 1-018, 2023.

1 : 日大理工・院(前)・電気 2 : 日大理工・学部・電気 3 : 日大理工・教員・電気