

ERARBEITUNG EINES LEITUNGSMODELL ZUR BERECHNUNG DER LEITUNGSPARAMETER UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER ENDLICHEN LEITUNGSLÄNGE UND MASTAUSBREITUNGSWIDERSTÄNDE AN DEN ERDUNGSPUNKTEN

Thanh Binh NGUYEN^{1*}, Carlo LIEBERMANN², Peter SCHEGNER³

Einleitung

Zur Untersuchung des Systemverhaltens von Freileitungen werden diese durch geeignete Leitungsmodelle abgebildet. Die Genauigkeit des Leitungsmodells hängt dabei vom gewählten Ersatzschaltbild bzw. Berechnungsansatz ab. Der Einfluss von Erdseilen wird häufig unter der Annahme einer ideal leitenden Erdverbindung im Leitungsmodell berücksichtigt. Darüber hinaus werden zur Berechnung der induktiven Verkopplung konventionell unendlich lange Leiter-Erde-Schleifen betrachtet. Der Ansatz geht dabei von einem in Leitungsrichtung homogenen Feldbild aus. Abweichungen von diesem Ansatz treten zum Beispiel am Leitungsanfang und -ende sowie in der Nähe von Verdrillungsmasten auf, da in diesen Bereichen kein homogenes Feld zu erwarten ist. Ebenfalls können Erd- und LWL-Seile nicht als unendlich lang angenommen werden, da durch die spannungsfeldweise Erdung Ausgleichsströme in jedem Spannungsfeld auftreten, sodass auch hier der Ansatz eines homogenen Feldbildes nicht erfüllt ist.

Methodik

Zur Entwicklung eines realitätsnäheren Leitungsmodells wurden in einem erweiterten Berechnungsmodell die Erdseile als endlich lange Leiter behandelt und die Ausbreitungswiderstände der Masterrückleitung berücksichtigt. Zur Berechnung der Impedanz von endlich langen Leitern über der Erdoberfläche werden Hertzsche Dipole verwendet. Dies führt zur Formulierung eines Integralausdrucks:

$$\underline{Z} = \frac{j\omega\mu}{4\pi} \int_A \int_{A_0} \int_0^\infty \left(\frac{v}{\alpha_1} \cdot e^{-\alpha_1(z_0-z)} + \frac{v}{\alpha_1} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot e^{-\alpha_1(z_0+z)} \right) J_0(\rho v) dv ds_0 ds \quad (1)$$

Für die praktische Anwendung und die Implementierung in MATLAB kann Gl. (1) für Selbstimpedanz nach [1] und für die Koppelimpedanz asymptotisch durch den Vierbild-Ansatz nach [2] angenähert werden. Die resultierenden Formeln dienen als Grundlage für das erweiterte Leitungsmodell

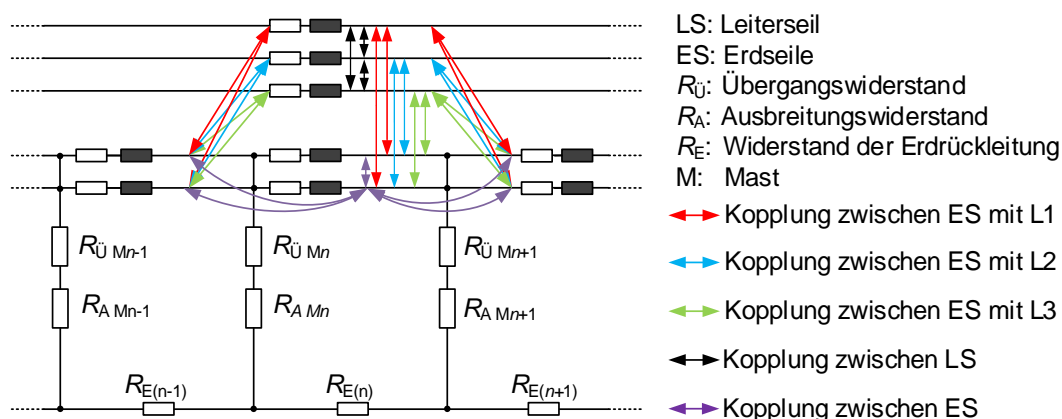


Abbildung 1: Ausschnitt des Freileitungsmodells, enthaltenen Impedanzen und Verkopplungen

^{1,2,3} TU Dresden, Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH), Professur für Elektroenergieversorgung, Mommsenstraße 10, 01069 Dresden, {thanh_binh.nguyen, carlo.liebermann, peter.schegner} @tu-dresden.de, www.tu-dresden.de/etieeh

Abbildung 1 zeigt beispielhaft einen Teil der modellierten Leitung mit 2 Erdseilen unter Berücksichtigung der auftretenden Kopplungen und Zusatzwiderständen im Netzwerk. Das Modell wurde durch Netzwerkanalyse entwickelt, wobei die Strom- und Spannungsbeziehungen, die Knoten- und Maschengleichungen der Erdseilkette sowie die Kopplungen zwischen Leiter- und Erdseilen durch ein vollständiges Kirchhoffsches Gleichungssystem (VKGS) in Matrixform nach Gl. (2) beschrieben werden.

$$\begin{bmatrix} \text{UI-Beziehung der LS} \\ \text{Kopplung auf Erdseile durch Ströme in LS} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Rückkopplung auf Leiterseile durch Ströme in ES} \\ \text{UI-Beziehung, Maschen- und Knotengleichung der Erdseilkette} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{LS}, I_{LS} \text{ aller Spannungsfelder} \\ U_M, \Delta U_{ES}, I_{ES} \text{ aller Spannungsfelder} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Angabe der Spannung oder Ströme} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Zur Berechnung der Leitungsparameter werden zusätzlich die Messschaltungen einer Leitungsparametermessung im VKGS berücksichtigt. Diese können durch Lösung des VKGS durch Invertierung bestimmt werden.

Ergebnis

Die Validierung des neuen Modells erfolgte anhand einer fiktiven 100 km langen Doppelleitung mit 300 Donaumasten gleicher Bauart, wobei die Ausbreitungswiderstände der Masten vernachlässigt werden. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse mit konventionellen vereinfachten symmetrischen Modellen übereinstimmen. Des Weiteren wurden Parameterstudien zu den Einflussfaktoren durchgeführt, welche den spezifischen Erdwiderstand, den Mastausbreitungswiderstand, den Bodenabstand, das Seilmaterial, das Mastdesign, die Anzahl und Position der Erdseile sowie die Verdrillung beinhalteten. Das Ergebnis zeigt, dass die Mitimpedanz nahezu unverändert bleibt, während die Nullimpedanz besonders sensibel auf Parameteränderungen reagiert, insbesondere auf den spezifischen Erdwiderstand, die Anzahl und Position der Erdseile sowie den Mastausbreitungswiderstand. Abbildung 2 zeigt die Abweichung der gemeinsamen Nullimpedanz der Doppelleitung sowie der verkürzten Nullimpedanz von den Referenzwiderständen bei Mastausbreitungswiderständen $R_M = 0 \Omega$ und spezifischen Erdwiderstand $\rho_E = 100 \Omega\text{m}$ (markiert mit einem roten Punkt) dargestellt.

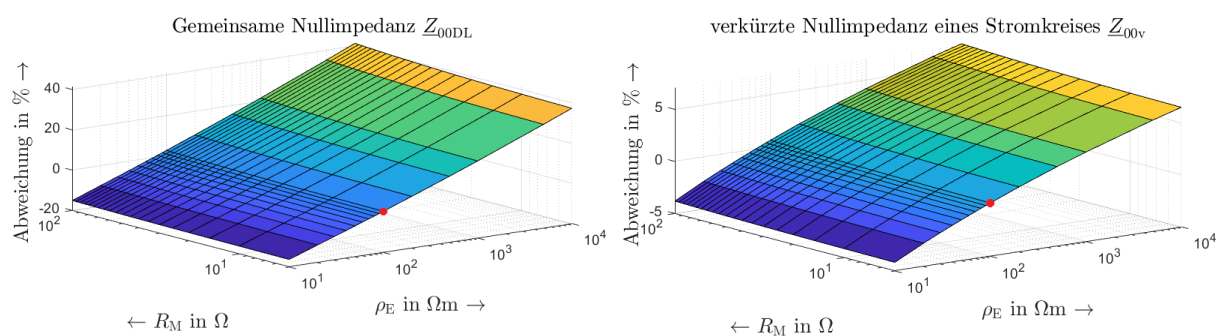


Abbildung 2: Abweichung der Nullimpedanz bei Änderung R_M und ρ_E vom Referenzfall

Je mehr Erdseile vorhanden sind, desto kleiner ist die Nullimpedanz. Die verkürzte Nullimpedanz Z_{00v} reagiert am wenigsten sensitiv auf Parameteränderungen. Der Grund dafür sind die zusätzlichen Erdseile, die zusammen mit dem Erdreich den Rückstromfluss dienen und somit den der erdgebundenen Einflussfaktoren reduzieren.

Referenzen

- [1] C. Liebermann, Berechnung induzierter Spannungen bei Leiter- und Erdseilzug auf 380-kV-Freileitungen, Diplomarbeit: TU Dresden, 2015
- [2] S.F.Mahmoud und A.D.Metwally, „New image representation for dipoles near a dissipative earth 1. Diskrete images,“ Radio Science, pp. 1271-1275, 1981.