Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 37 (1959)

Heft: 5

Artikel: Induktive Beeinflussung durch eine symmetrisch betriebene Drehstromleitung

Autor: Meister, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875444

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

HANS MEISTER, Bern

Induktive Beeinflussung durch eine symmetrisch betriebene Drehstromleitung

621.395.823 : 621.315.2
621.3.027.3

Zusammenfassung. *Im Jahre 1958 trat zum erstenmal in der Schweiz eine induktive Beeinflussung eines Telephonkabels durch den Normalbetrieb einer Hochspannungsleitung auf. In der vorliegenden Arbeit werden die Ursachen dieser Erscheinung untersucht.*

Résumé. *En 1958, on a constaté pour la première fois en Suisse, une influence inductive d'une ligne à haute tension en service normal sur un câble téléphonique. Les causes de cette influence sont étudiées dans le travail qui suit.*

Bei Einflüssen von Starkstromleitungen auf Telephonanlagen unterscheidet man grundsätzlich zwei Fälle:

a) den Normalbetrieb der Hochspannungsleitung, wo die induzierte Längsspannung keine Störungen der Signalisierung (Wahl) und keine störende Geräuschspannung auf den Telephonstromkreisen bewirken darf;
b) den Kurzschluss der Hochspannungsleitung, bei dem man wegen seines seltenen Auftretens gewisse Betriebsstörungen in Kauf nimmt, wo aber die induzierte Spannung keine Schäden an der Anlage und keine Gefährdung für Personal und Telephonierende verursachen darf.

Eine störende Beeinflussung tritt im allgemeinen nur auf, wenn ein Erdstrom fliesst, also bei Bahnen und bei Drehstromleitungen im Falle eines Erdschlusses [1] [2]. Die Fernwirkung von symmetrisch betriebenen Drehstromleitungen ist bei den üblichen Phasenströmen und Abständen der Phasenleiter so klein, dass bisher keine Störungen aufgetreten sind.

Nun führt über den Lukmanierpass eine 380-kV-Leitung mit Zweierbündeln in einer horizontalen Ebene und einem Phasenabstand von 10 Metern. Die Leitung wird gegenwärtig noch mit 225 kV betrieben; die höchste übertragene Leistung beträgt 450 MW. Bei guter Wasserführung wird praktisch täglich die 400-MW-Grenze überschritten; der maximale Phasenleiterstrom beträgt etwa 1300 Ampere.

Unter diesen Betriebsbedingungen traten nun ständige störende Längsspannungen auf, die zu Vibrationen des Ankers von Gebührenmeldern (GM) führten, was auf Längsspannungen von über 25 V schliessen liess. Die GM werden im Simplexstromkreis, also zwischen Erde und Aderpaar betrieben. (Gegen die Wirkung von Erdschlüssen auf der Hochspannungsleitung sind die Kabeladern durch Edelgasableiter geschützt).

Die Ursache dieser Längsspannungen konnte entweder ein Erdstrom infolge unsymmetrischer Belastung oder dann der Einfluss des nicht kompensierten Feldes des räumlich ziemlich ausgedehnten Leitersystems der 380-kV-Leitung sein.

Messungen

Einen einwandfreien Aufschluss über die Art der Beeinflussung erhält man durch den Verlauf des magnetischen Feldes quer zur Leitung. Die bei Sedrun aufgenommene Kurve der Vertikalkomponente der magnetischen Induktion ist in Figur 1 durch Punkte dargestellt. Die Induktion nimmt praktisch genau proportional mit dem Quadrat der Entfernung ab; gemessen wurde zwischen 10.30 und 11.20 Uhr bei einer übertragenen Leistung von 360 MVA, was einem Phasenstrom von etwa 930 A entspricht.

Die Längsspannung zwischen Disentis und Sta. Maria-Hospiz änderte sich im Laufe eines Tages ziemlich genau proportional mit der auf der Leitung übertragenen Leistung zwischen 9 V bei 180 MW

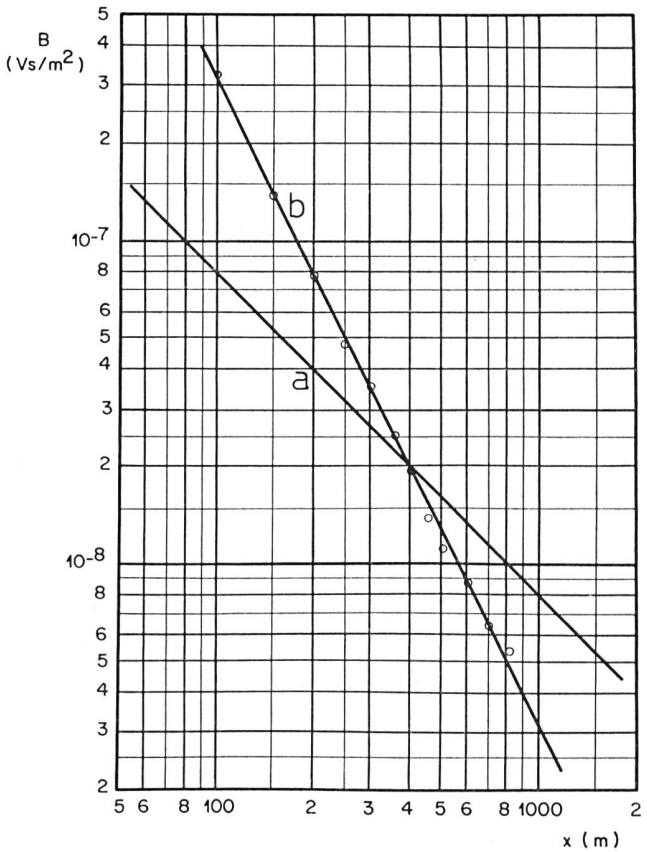

Fig. 1. Vertikalkomponente des magnetischen Feldes einer Leitung
Kurve a) Leitung mit Erdrückleitung, Erdstrom 40 A
Kurve b) Dreiphasenleitung mit Leiteranordnung auf horizontaler Ebene, Phasenabstände 10 m, symmetrische Belastung von 930 A pro Phase
Messpunkte: Messwerte bei Sedrun, symmetrische Belastung 930 A pro Phase

und 18 V bei 430 MW. Trotz der damit verbundenen grossen betrieblichen Schwierigkeiten erklärte sich die Aare-Tessin-Aktiengesellschaft für Elektrizität (Atel) bereit, die Leitung kurzzeitig abzuschalten, wodurch die Längsspannung mit der Frequenz 50 Hz praktisch verschwand.

Rechnerische Behandlung

a) *Erdstrom längs der Leitung*

Für einen Erdstrom längs der Leitung kann das magnetische Feld nach *Carson* [3] und *Pollaczek* [4] berechnet werden. Aus der auf diesen Quellen beruhenden Arbeit von *Weber* [5] erhält man nach einer einfachen Umformung für die Induktion B im Abstand x von der Leitung:

$$B = \frac{I}{x} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \; [\mathrm{Vs/m^2}] \qquad (1)$$

Diese Beziehung gilt unter folgenden Bedingungen:

$$h \ll x$$

und bei 50 Hz und $\varrho > 500$ Ωm sowie

$$x \simeq 1000 \text{ m}.$$

Die nach (1) berechnete Induktion stimmt mit dem Feld eines Einzelleiters mit unendlich weit entfernter Rückleitung überein, weil ja bei tiefen Frequenzen und schlechter Bodenleitfähigkeit der Erdstrom in sehr grosser Tiefe verläuft.

In Figur 1 ist die Vertikalkomponente der magnetischen Induktion für einen Erdstrom von 40 A als Kurve a dargestellt. Sie verhält sich umgekehrt proportional zum Abstand x; es zeigt sich aus dem Vergleich mit den Messwerten, dass ein Erdstrom nicht die Ursache der Beeinflussung sein kann. Dieses Ergebnis wurde uns von der Besitzerin der Leistung bestätigt, da der wirkliche Summenstrom nur etwa 2 A beträgt.

b) *Einfluss des nichtkompensierten Feldes*

Jedes Phasenseil erzeugt am Punkt P auf Leitungshöhe eine Induktion nach (1). Nach Figur 2 wird die resultierende Induktion im Abstand x vom mittleren Phasenseil

$$B = \left\{ B_S + B_R \left(-\cos 60^0 + \mathrm{j} \sin 60^0\right) + B_T \left(-\cos 60^0 - \mathrm{j} \sin 60^0\right) \right\} I \qquad (2)$$

Durch Einsetzen von 1) ergibt sich nach einer einfachen Umformung

$$B = \left\{ 2 \cdot 10^{-7} I \, \frac{d}{x^2 - d^2} \left(\frac{d}{x} - \mathrm{j} \sqrt{3} \right) \right\} I \left[\mathrm{Vs/m^2} \right] \qquad (3)$$

wenn $\frac{d}{x} < \frac{1}{10}$, so gilt auch für die Induktion auf der Erdoberfläche:

$$B \sim 3{,}46 \cdot 10^{-7} \frac{d}{x^2} I \left[\mathrm{Vs/m^2} \right] \qquad (4)$$

worin d = Phasenseilabstände in m
x = Abstand vom mittleren Seil in m

In Figur 1 stellt Kurve b die Vertikalkomponente der Induktion dar für eine symmetrische Belastung mit 930 A Phasenleiterstrom. Die Übereinstimmung mit den Messwerten ist gut; das magnetische Feld ist deshalb eindeutig eine Folge der grossen Phasenabstände.

c) *Berechnung der im Kabel induzierten Längsspannung*

Die Gegeninduktivität zwischen einer Leitung mit Erdrückleitung (in unserem Fall dem Kabel) und einer symmetrischen Leitung hängt ab von der Differenz M_d der Gegeninduktivitäten der verschiedenen Phasen auf die andere Leitung. Wie den «Directives» [6] (Tafel 2, S. 45) entnommen werden kann, spielen bei Abständen bis zu etwa 300 m die Bodenleitfähigkeit und die Frequenz nur eine bescheidene Rolle. Hingegen ist die Gegeninduktivität stark von der Distanz abhängig und natürlich proportional der Schleifenbreite (Phasenleiterabstände d). Eine Berechnung ist wegen der unterschiedlichen Abstände längs der Leitung problematisch, ausserdem können sich die Spannungen teilweise kompensieren, wenn das Kabel auf die andere Seite der Hochspannungsleitung wechselt. Als Annäherung rechnen wir einfach mit einem mittleren Abstand von 200 m, was bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von 2000 Ωm einer Gegeninduktivität von 600 μH/km und einer Differenz M_d von

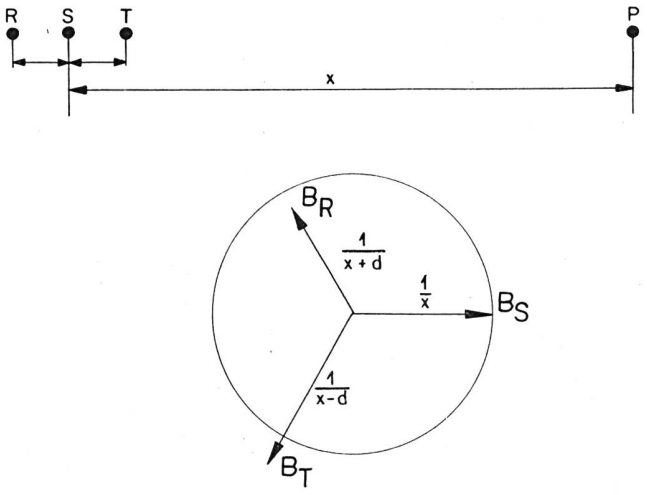

Fig. 2. Induktion (B) der drei einzelnen Phasen einer symmetrisch belasteten Drehstromleitung im Abstand x vom mittleren Phasenseil

10 μH/km bei einer Abstandsänderung von 10 m entspricht. Die Kurventafel 5 der «Directives» [6], die für die Gegeninduktivität zwischen einer Einfachleitung und einer Doppelleitung bei 800 Hz und 200 Ωm gilt, gibt wegen der höhern Frequenz und der bessern Bodenleitfähigkeit einen etwa 15% tiefern Wert.

Nach dem Vektordiagramm in Figur 3 erhält man für die Gegeninduktivität zwischen der symmetrisch belasteten Dreiphasenleitung und einer Einfachleitung:

$$M_d = \sqrt{3} \cdot 10 \, \mu\mathrm{H/km} = 17{,}3 \, \mu\mathrm{H/km}$$

(gültig für 50 Hz, 200 m Abstand, 3 Phasen in horizontaler Anordnung in je 10 m gegenseitigem Abstand und $\varrho = 2000\ \Omega$m).

Daraus errechnet man bei 1000 A eine totale Längsspannung von

$$U_L = \omega M_d \cdot l \,.\, I \,.\, r_K$$
$$= 314 \cdot 17{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot 12{,}5 \cdot 1000 \cdot 0{,}33$$
$$U_L = 22{,}4\ \text{V}$$

(r_K ist der Reduktionsfaktor des Kabels)

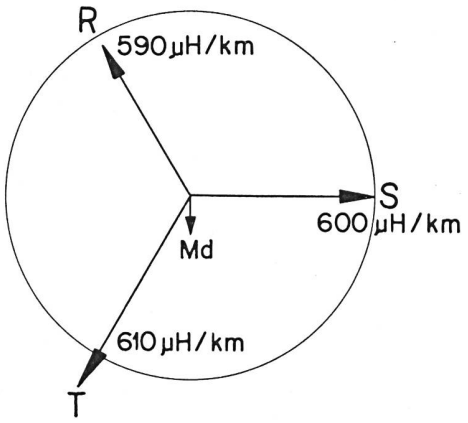

Fig. 3. Gegeninduktivität zwischen den drei Phasen einer symmetrisch belasteten Drehstromleitung und einer Leitung mit Erdrückleitung im Abstand x vom mittleren Phasenseil
Md = Resultierende Gegeninduktivität

Da schon kleine Unterschiede in den Phasenströmen die induzierte Spannung entscheidend beeinflussen können, so ist eine Erhöhung auf das Doppelte oder eine weitgehende Kompensation ohne weiteres denkbar.

Auswertung

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, dass die Längsspannung auf dem Lukmanierkabel ihre Ursache in der normalen Belastung der 225-kV-Leitung hat.

Bei den heute in Betracht kommenden Übertragungsleistungen muss man also auf langen Freileitungen oder Kabeln, die in kleinem Abstand von einer Hochspannungsleitung liegen, mit dauernden Längsspannungen in der Grösse von einigen 10 V rechnen. Dadurch können Simplexstromkreise, zum Beispiel 50 Hz-Gebührenmelder, gestört werden. Als Abhilfe bleibt ausser der Einführung eines erdfreien GM-Systems praktisch nur die Verwendung einer besondern Kabelader anstelle der Erde. Diese Lösung steht auch im Einklang mit Artikel 4 des Bundesgesetzes betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen vom 24. Juni 1902, wonach öffentliche Telephonleitungen die Erde als Rückleitung nicht benützen dürfen, wenn Störungen des Telephonbetriebes durch eine Starkstromanlage auftreten.

Bibliographie

[1] *Meister, H.* Untersuchungen über die Beeinflussung eines Telephonnetzes durch eine Hochspannungs-Freileitung im Falle eines Erdschlusses. Techn. Mitt." PTT 1950, Nr. 7, S. 261...283.

[2] *Schär, F.*, und *H. Meister*. Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Erdströme auf das Telephonkabel im Bedrettotal. Bulletin SEV **16** (1954), 653...657.

[3] *Carson, J. R.* Wave Propagation in Overhead Wires with Groundet Return. Bell Syst. Techn. J. **5** (1926), 539...554.

[4] *Pollaczek, F.* Über die Induktionswirkungen einer Wechselstromeinfachleitung. Elektr. Nachrichtentechnik 1927, Nr. 1, S. 18...30.

[5] *Weber, H.* Theoretische Grundlage für die Bestimmung des spezifischen Wechselstrom-Erdwiderstandes. Techn. Mitt." PTT 1950, Nr. 7, S. 257...260.

[6] CCITT Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques industrielles. Edition de Rome, 1937, revisée à Oslo et mise à jour à Genève en 1952.

Richtigstellung

Der Artikel «Umklappzeit von Ferriten als Speichermethode» von *André Jaecklin*, erschienen in den Technischen Mitteilungen PTT 1959, Nr. 4, S. 140...144, wurde als Diplomarbeit im Institut für Fernmeldetechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich ausgeführt.