

# Induktive Beeinflussung durch eine symmetrisch betriebene Drehstromleitung

Autor(en): **Meister, Hans**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **37 (1959)**

Heft 5

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875444>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# 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.

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

- den Normalbetrieb der Hochspannungsleitung, wo die induzierte Längsspannung keine Störungen der Signalisierung (Wahl) und keine störende Geräuschspannung auf den Telephonstromkreisen bewirken darf;
- 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

**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.

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

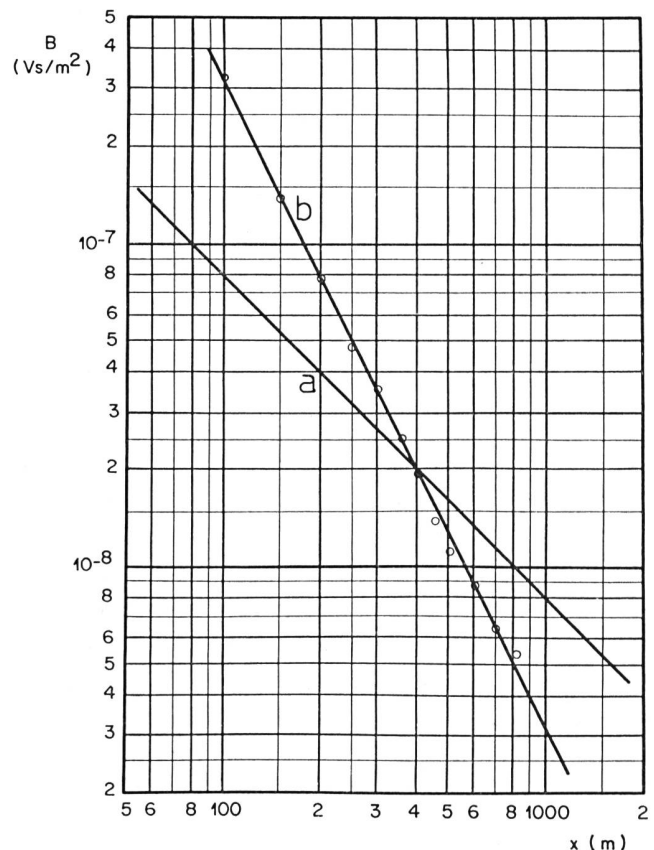


Fig. 1. Vertikalkomponente des magnetischen Feldes einer Leitung  
Kurve a) Leitung mit Erdrückleitung, Erdstrom 40 A  
Kurve b) Dreiphasenleitung mit Leiteranordnung auf horizontaler Ebene, Phasenabstände 10 m, symmetrische Belastung von 930 A pro Phase

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:

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

Diese Beziehung gilt unter folgenden Bedingungen:

$$h \ll x$$

und bei 50 Hz und  $\rho > 500 \text{ } \Omega\text{m}$  sowie

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

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

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

Durch Einsetzen von 1) ergibt sich nach einer einfachen Umformung

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

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

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

worin  $d$  = Phaseuseilabstände 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  $\Omega\text{m}$  einer Gegeninduktivität von 600  $\mu\text{H/km}$  und einer Differenz  $M_d$  von

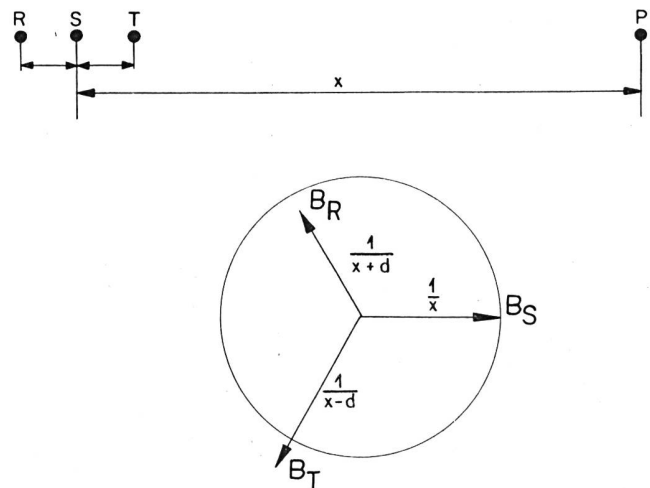


Fig. 2. Induktion ( $B$ ) der drei einzelnen Phasen einer symmetrisch belasteten Drehstromleitung im Abstand  $x$  vom mittleren Phaseuseil

10  $\mu\text{H/km}$  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  $\Omega\text{m}$  gilt, gibt wegen der höheren 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:

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

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

Daraus errechnet man bei 1000 A eine totale Längsspannung von

$$U_L = \omega M_d \cdot l \cdot I \cdot r_K$$

$$= 314 \cdot 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot 12,5 \cdot 1000 \cdot 0,33$$

$$U_L = 22,4 \text{ V}$$

( $r_K$  ist der Reduktionsfaktor des Kabels)

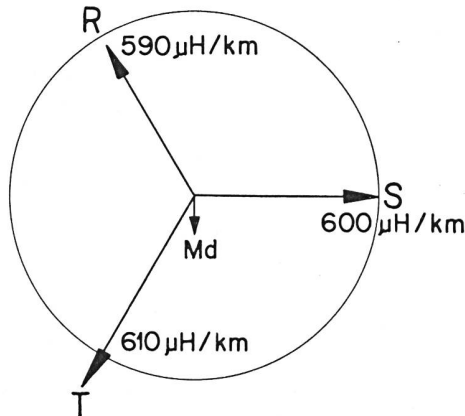


Fig. 3. Gegeninduktivität zwischen den drei Phasen einer symmetrisch belasteten Drehstromleitung und einer Leitung mit Erdrückleitung im Abstand  $x$  vom mittleren Phasenseil  
 $Md$  = Resultierende Gegeninduktivität

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 Telefonleitungen die Erde als Rückleitung nicht benützen dürfen, wenn Störungen des Telefonbetriebes durch eine Starkstromanlage auftreten.

## Bibliographie

- [1] *Meister, H.* Untersuchungen über die Beeinflussung eines Telefonnetzes 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 Telefonkabel im Bedrettetal. Bulletin SEV 16 (1954), 653...657.
- [3] *Carson, J. R.* Wave Propagation in Overhead Wires with Grounded Return. Bell Syst. Techn. J. 5 (1926), 539...554.
- [4] *Pollaczek, F.* Über die Induktionswirkungen einer Wechselstrom-einfachleitung. 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, révisée à Oslo et mise à jour à Genève en 1952.

## Richtigstellung

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