Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 54 (1963)

Heft: 10

Artikel: Einfache graphische Darstellung der Ein- und Ausgangsspannung einer langen Energieleitung (Hochspannungsleitung)

Autor: Weber, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916477

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: 08.07.2025

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

Einfache graphische Darstellung der Ein- und Ausgangsspannung einer langen Energieleitung (Hochspannungsleitung)

Von *H. Weber*, Meilen

Dr. H. Pallmann, Präsident des Schweiz. Schulrates, zum 60. Geburtstag gewidmet

621.315.015.1 (084.21)

Viele Fachleute glauben, dass es eine Vereinfachung bedeute, wenn man die Leitung durch Vierpole mit konzentrierten Schaltelementen ersetze. Dabei ergibt sich die Schwierigkeit der Fehlerabschätzung. Im folgenden sei an einem Beispiel demonstriert, dass es viel zweckmässiger ist, mit den Leitungseigenschaften selbst zu operieren, wobei auch die Fehlerabschätzung sehr einfach wird.

1. Aufgabenstellung

An einer Hochspannungsleitung mit den physikalischen Leitungskonstanten R', L', C', G' soll für eine feste Kreisfrequenz $\omega = 2\pi \cdot 50$ (Netzfrequenz = 50 Hz) bei einer vorgegebenen Ausgangsspannung U_2 der geometrische Ort der Spitze der Eingangsspannung U_1, für beliebige reelle Belastungsimpedanzen am Ausgang bei einer festen Leitungslänge aufgezeichnet werden. Im selben Diagramm soll der geometrische Ort der Eingangsspannung U_1 für eine konstante reelle Belastung in Abhängigkeit der Leitungslänge eingetragen werden.

2. Lösungsgang

$$\left.\begin{aligned} \gamma &= \alpha + \mathrm{j}\beta = \sqrt{(R' + \mathrm{j}\omega L')(G' + \mathrm{j}\omega C')} \\ Z_w &= \sqrt{\frac{R' + \mathrm{j}\omega L'}{G' + \mathrm{j}\omega C'}} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} &\omega L' > R' \quad \omega C' \gg G' \\ \alpha &= \frac{R'}{2 Z_w} + \frac{G' Z_w}{2} \\ \beta &= \omega \sqrt{L' C'} = \frac{\omega}{v} \\ Z_w &= \sqrt{\frac{L'}{C'}} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Für symmetrisch belastete Drehstrom-Hochspannungsleitungen können die Betrachtungen auf eine Phase reduziert werden, für welche die Bezeichnungen der Fig. 1 gelten soll. Bei Freileitungen sind die Ungleichungen auch bei der Netzfrequenz erfüllt, dass der reaktive Spannungsabfall gegenüber dem Ohmschen und der kapazitive Stromverlust gegenüber dem durch Ableitung überwiegt. Damit erlangen die vereinfachten Gl. (2) Gültigkeit zur Berechnung der Dämpfungs- und Phasenkonstante sowie des Wellenwiderstandes.

Zwischen Ein- und Ausgang der Leitung bestehen folgende Beziehungen:

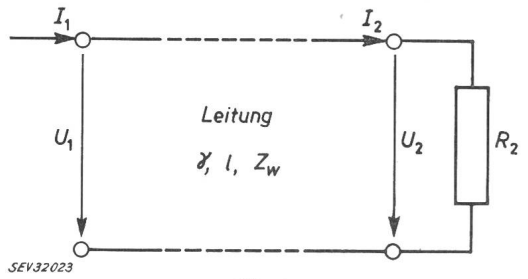

Fig. 1
Bezeichnungen des Leitungsvierpols

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= U_2 \cosh \gamma l + I_2 Z_w \sinh \gamma l \\ I_1 &= U_2 \frac{\sinh \gamma l}{Z_w} + I_2 \cosh \gamma l \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

mit der Bedingung $U_2 = I_2 R_2$. Damit wird die Eingangsspannung:

$$U_1 = U_2 \left(\cosh \gamma l + \frac{Z_w}{R_2} \sinh \gamma l\right)$$

Durch Anwendung der Additionsformeln der hyperbolischen Funktionen, deren Umformung bei imaginärem Argument und der Trennung nach reellen und imaginären Teilen erhält man:

$$U_1 = U_2 \left[\cos \beta l \left(\cosh \alpha l + \frac{Z_w}{R_2} \sinh \alpha l\right) + \right.$$
$$\left. + \mathrm{j} \sin \beta l \left(\frac{Z_w}{R_2} \cosh \alpha l + \sinh \alpha l\right)\right] \quad (4)$$

Für $\alpha l < 0{,}20$ liegt $\cosh \alpha l$ zwischen 1,00 und 1,020 und $\sinh \alpha l$ kann durch αl ersetzt werden. Vernachlässigt man noch die Ableitung, d. h. $G' = 0$, so erhält man für $\alpha Z_w = R'/2$.

Die Gl. (4) schreibt sich dann:

$$U_1 = U_2 \left[\cos \beta l \left(1 + \frac{R' l}{2 R_2}\right) + \mathrm{j} \sin \beta l \left(\frac{Z_w}{R_2} + \frac{R' l}{2 Z_w}\right)\right] \quad (5)$$

(Z_w, R_2 sind reell)

Sieht man zunächst von den Korrekturen $\frac{R' l}{2 R_2} < 1$ und $\frac{R' l}{2 Z_w} < \frac{Z_w}{R_2}$ ab, so lautet die Beziehung zwischen Ein- und Ausgangsspannung:

$$U_1 = U_2 \left[\cos \beta l + \mathrm{j} \frac{Z_w}{R_2} \sin \beta l\right] \quad (6)$$

Graphisch aufgezeichnet ergeben sich:

1. Bei l = konst.: Die Spitze von U_1 liegt auf einer Geraden senkrecht zu U_2, wenn $\frac{Z_w}{R_2}$, d.h. die Belastung variiert wird.
2. Bei $\frac{Z_w}{R_2}$ = konst.: Die Spitze von U_1 liegt auf einer Ellipse, wenn die Leitungslänge l variiert wird.

In Fig. 2 ist ein Beispiel für einen Leitungstyp aufgezeichnet, wobei $R' = 0{,}1\ \Omega/\mathrm{km}$, $L' = 2$ mH/km und $C' = 0{,}006\ \mu\mathrm{F/km}$ gewählt wurde. Die Leitungskonstanten berechnen sich für 50 Hz zu:

Dämpfungskonstante $= 0{,}865 \cdot 10^{-4}$ N/km
Phasenkonstante $= 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ rad/km $= 0{,}074$ °/km (90°-Teilung)
Wellenwiderstand $Z_w = 578\ \Omega$

Die ausgezogenen Linien stellen die Verhältnisse der vereinfachten Gl. (6) dar. Das Verhältnis der Ausgangsleistung P, bei einer bestimmten Wahl des Ausgangswiderstandes, zur natürlichen Leistung P_0 der Leitung, stellt gerade das Verhältnis Z_w/R_2 dar.

Um eine Fehlerabschätzung zu ermöglichen, wurden, in derselben Figur gestrichelt, die genauen geometrischen Orte für

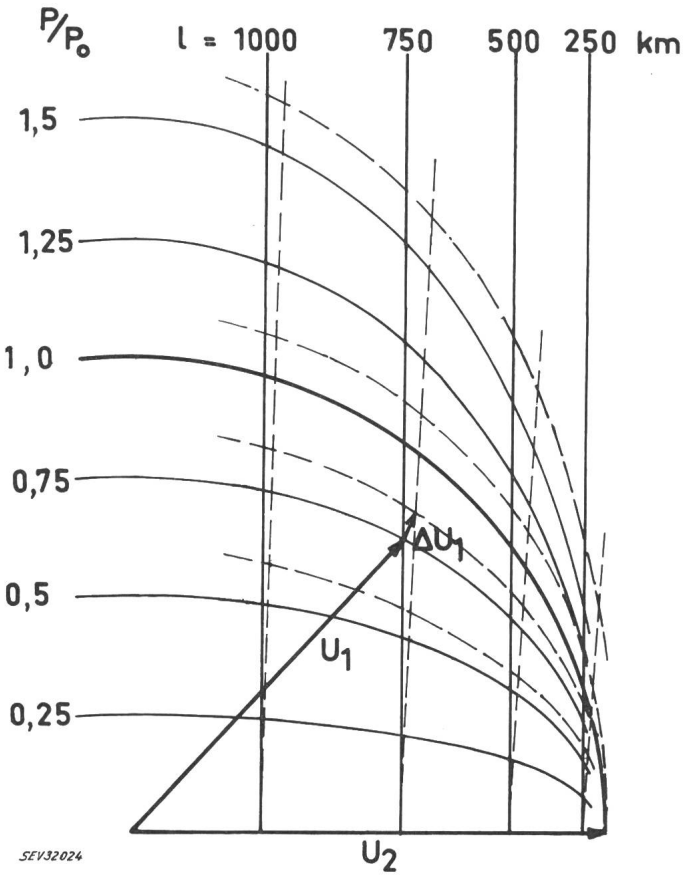

Fig. 2
Notwendige Eingangsspannung bei konstanter Ausgangsspannung
für: (ausgezogen) $\alpha = 0$, $\beta = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ rad/km;

$$\frac{P}{P_0} = \frac{Z_w}{R_2}\,; \quad P \text{ Leistung in } R_2;$$

P_0 natürliche Leistung ($R_2 = Z_w$)
(gestrichelt) $\alpha = 0{,}865 \cdot 10^{-4}$ N/km berücksichtigt
Genaue Eingangsspannung $= U_1 + \Delta U_1$

einige Längen, bzw. für einige Belastungsverhältnisse eingezeichnet. Der Fehler ΔU_1 kann folgendermassen berechnet werden:

Gl. (4) gibt den genauen Zusammenhang zwischen U_1 und U_2. Da αl als kleine Grösse vorliegt, können die hyperbolischen Funktionen nach αl entwickelt werden. Wir setzen:

$$\cosh \alpha l = 1 + \frac{(\alpha l)^2}{2} + \cdots$$

$$\sinh \alpha l = \alpha l + \cdots$$

In die Gl. (4) eingesetzt erhalten wir einen genauern Ausdruck für U_1. Von diesem ziehen wir den Ausdruck in Gl. (6) ab und erhalten die Spannungsdifferenz ΔU_1 in ihren Komponenten.

a) Komponente in Richtung U_2: $\alpha l \cos \beta l \left(\frac{Z_w}{R_2} + \frac{\alpha l}{2}\right) U_2$

b) Komponente senkrecht zu U_2: $\alpha l \sin \beta l \left(1 + \frac{Z_w}{2 R_2} \alpha l\right) U_2$

Im vorliegenden Beispiel wird das Glied mit αl in der Klammer bedeutend kleiner als das andere Glied. Die Fehlerkomponenten lauten dann:

a) In Richtung U_2: $\alpha l \cos \beta l \frac{Z_w}{R_2}$

b) Senkrecht zu U_2: $\alpha l \sin \beta l$; unabhängig von der Belastung.

3. Schlussbetrachtungen

Da heute die Höchstspannungsleitungen in hohem Masse genormt sind, werden sich für bestimmte Leitungstypen, bestimmte Dämpfungs- und Phasenkonstanten sowie ein bestimmter Wellenwiderstand ergeben. Damit wird es möglich, für einen bestimmten Leitungstyp ein solches Diagramm zu zeichnen, um daraus für verschiedene reelle Belastungszustände die Verhältnisse zwischen Ein- und Ausgangsspannung entnehmen zu können. Es wird die Aufgabe einer später folgenden Arbeit sein, die Verhältnisse für beliebige komplexe Belastungen darzustellen.

Adresse des Autors:
Prof. *H. Weber*, Institut für Fernmeldetechnik, Sternwartstrasse 7, Zürich 6.

Elektrofilter in der Industrie

Von *C. Scheidel*, Frankfurt/Main

66.089.4 : 697.946 : 621.359.484

Die ersten Industrie-Elektrofilter wurden vor fünfzig Jahren gebaut. Seitdem hat sich die elektrische Gasreinigung zu einem oft unerlässlichen Entstaubungs- und Entnebelungsverfahren in einer grossen Zahl von Produktionsstätten der Industrie entwickelt. Der Artikel beschreibt den Aufbau und das physikalische Prinzip des Elektrofilters und die wichtigsten, den Wirkungsgrad beeinflussenden Staub- und Gaseigenschaften. Ferner wird ausführlich auf die notwendige Hochspannungserzeugungsanlage und die automatische Steuereinrichtung eingegangen. Eine Übersicht der gegenwärtigen Anwendungsgebiete des Elektrofilters und die kurze Beschreibung einer Abgas- und einer Nutzgasreinigung beschliessen die Ausführungen.

Les premiers électrofiltres industriels furent construits il y a cinquante ans. Depuis lors, le nettoyage électrique des gaz est devenu souvent un procédé de dépoussiérage et d'élimination des buées indispensable dans un grand nombre de fabriques. L'auteur décrit la construction et le principe physique de l'életrofiltre, ainsi que les principales propriétés des poussières et des gaz, qui ont une influence sur le rendement. Il donne également des renseignements détaillés sur l'installation de production de la haute tension nécessaire et sur l'équipement de commande automatique. Il termine par un aperçu des domaines d'emplois actuels des électrofiltres et par une brève description de deux installations de dépoussiérage de gaz d'échappement et de gaz d'utilisation.

1. Einleitung

Drei Gründe, jeder für sich oder in Kombination miteinander, bestimmen, ob ein erzeugtes oder ein zwangsweise entstandenes Gas von staub-, nebel- oder gasförmigen Begleitstoffen gereinigt werden muss:

1. Wertvolle Begleitstoffe, die in einem Abgas enthalten sind, müssen zurückgewonnen werden;
2. Ein Nutzgas enthält störende Begleitstoffe;
3. Ein Abgas darf aus Gründen der Lufthygiene nicht ungereinigt ins Freie abgegeben werden.

Folgendes Beispiel mag die Problemstellung erläutern:

Die Abgase des Drehofens einer Zementfabrik dürfen, um der Forderung nach Reinhaltung der Luft nachzukommen, nicht ungereinigt ins Freie ausgestossen werden. Die Abgase