Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 59 (1968)

Heft: 3

Artikel: Magnetisch induzierte Spannungen einer Rohrleitung als Folge parallel geführter Hochspannungsleitungen

Autor: Menemenlis, Ch.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916020

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: 10.07.2025

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

Nähe des Bildschirmes nach den Messergebnissen etwa 0,1 mR/h betragen.

Die um eine Grössenordnung höhere Dosisleistung bei 30 kV erlaubte es, Messungen in verschiedenen Abständen vom Bildschirm vorzunehmen. Bei einer Röhrenspannung von nahezu 30 kV und einem Gesamtstrahlstrom von 320 µA betrug die Dosisleistung im Abstand von 20, 50 und 100 cm vom Bildschirm 0,5 bzw. 0,2 bzw. 0,1 mR/h. Sie nimmt demnach eher linear als quadratisch mit dem Abstand ab, da die Strahlenquelle nicht punktförmig ist.

Diese Ergebnisse lassen einige für die Praxis interessante Schlussfolgerungen zu:

Geht man davon aus, dass die Dosisleistung dicht vor dem Bildschirm (im ungünstigsten Fall) 0,1 mR/h beträgt und mit zunehmenden Abstand linear abnimmt, so ergibt sich in einer Entfernung von 1 m eine Dosisleistung von 10 µR/h. Die in jedem Raum vorhandene natürliche Umgebungsstrahlung liegt in der gleichen Grössenordnung, kann jedoch je nach Art der Baumaterialien erheblich variieren (nach Messungen in schwedischen Häusern z. B. zwischen 5 und 20 µR/h). Die zusätzliche Dosisleistung von 3 µR/h, die die Röntgenstörstrahlung im üblichen Betrachtungsabstand von 3,50 m hervorrufen würde, liegt innerhalb dieses Variationsbereiches und kann daher vernachlässigt werden.

Noch deutlicher kommt dies bei der Umrechnung auf die Jahresdosis zum Ausdruck. Nimmt man die tägliche Einschaltzeit eines Farbfernsehgerätes mit durchschnittlich 3 h an, so ergibt sich bei der erwähnten Ortsdosisleistung von 3 µR/h eine jährliche Dosis von etwa 3 mR. Das sind gerade 2 % der *mittleren* Strahlenbelastung der Bevölkerung durch natürliche und zivilisatorisch bedingte Strahlung, für die man in Deutschland eine Jahresdosis von 150 mR zugrunde legen kann. Doch selbst dieser geringe Anteil dürfte mit Sicherheit nicht erreicht werden, wenn man normale Betriebsbedingungen, z. B. eine Röhrenspannung von 25 kV, voraussetzt.

Abschliessend sollte nicht übersehen werden, dass nicht nur in Bildröhren, sondern auch in anderen Hochspannungsröhren, etwa der Ballaströhre, Röntgenstörstrahlung entstehen kann. Inwieweit sie ausserhalb des Empfängergehäuses nachweisbar ist bzw. welche Dosisleistung sie dort verursacht, hängt von der Konstruktion der Röhre und ihrer Anordnung im Gerät ab. Die vorstehend beschriebenen Messungen an der Bildröhre machen deshalb die Bauartprüfung des Fernsehempfängers nicht überflüssig.

Adresse des Autors:
Dr. *W. Kolb*, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Abt. VI, Bundesallee 100, D–33 Braunschweig.

Magnetisch induzierte Spannungen einer Rohrleitung als Folge parallel geführter Hochspannungsleitungen

Von *Ch. Menemenlis*, Athen

621.3.013.71 : 621.643.2

Im Falle eines Erdschlusses einer Hochspannungsleitung, die parallel zu einer Rohrleitung verläuft, werden in der Rohrleitung Spannungen induziert. Im vorliegenden Aufsatz wird die Abhängigkeit dieser Spannungen von verschiedenen Beeinflussungsfaktoren untersucht.

Lors d'un contact à la terre d'une ligne à haute tension, disposée parallèlement à une conduite tubulaire, des tensions sont induites dans cette dernière. Le présent exposé analyse de quelle manière ces tensions induites sont influencées par divers facteurs.

1. Allgemeines

Falls Teilstrecken einer Rohrleitung für Öl- oder Gastransport parallel zu einer elektrischen Hochspannungsleitung verlaufen, wird, bei einem Erdschluss der Hochspannungsleitung, eine Spannung in der Schleife der Rohrleitung als Hin- und der Erde als Rückleitung induziert [1; 2; 3][1]).

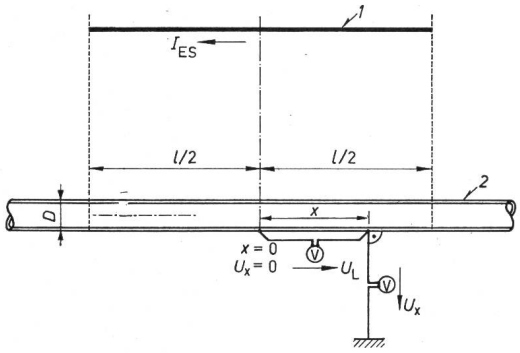

Fig. 1
Anordnung der Hochspannungsleitung und der Rohrleitung
1 Hochspannungsleitung; *2* Rohrleitung; *l* beeinflusste Länge; U_x Spannung gegen Erde an der Stelle x; U_L Längsspannung an der Stelle x; I_{ES} Erdschlußstrom der Hochspannungsleitung; *D* Durchmesser der Rohrleitung

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Auf Grund dieses Effektes treten an der Rohrleitung zwei Arten von Spannungen auf (Fig. 1):

a) Spannung gegen Erde U_x. Sie ist die Spannung zwischen einem Punkt der Rohrleitung und einem weit weg liegenden Punkt in der Normalebene zur Rohrleitung. Aus Symmetriegründen ist U_x an der Mitte der beeinflussten Strecke gleich Null.

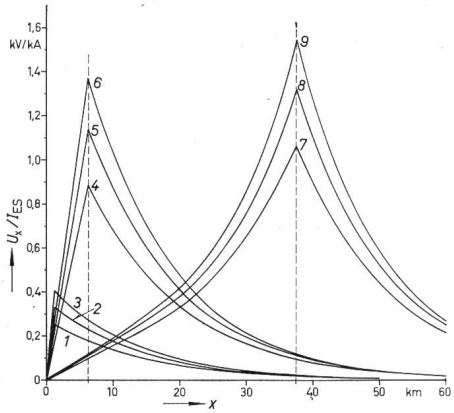

Fig. 2
Spannung gegen Erde U_x als Funktion des Abstandes x von der Mitte der beeinflussten Strecke, bezogen auf 1 kA Erdschlußstrom, für $d = 0$, $g = 10^{-5}\ \Omega^{-1}\mathrm{m}^{-2}$ [$r = 10^5\ \Omega\ \mathrm{m}^2$] und $D = 60$ cm

Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l (km)	2,5	2,5	2,5	12,5	12,5	12,5	75	75	75
ϱ (Ωm)	30	300	3000	30	300	3000	30	300	3000

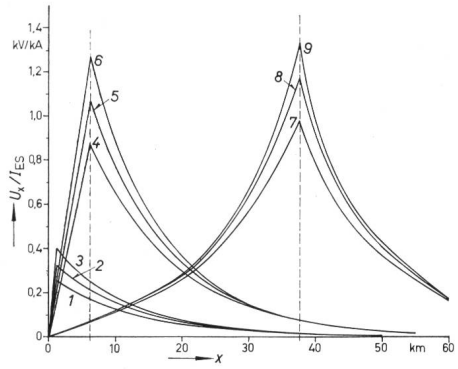

Fig. 3
Wie Fig. 2, aber für D = 120 cm

b) Äussere Längsspannung U_L. Sie ist die Spannung zwischen zwei Punkten an der äusseren Rohroberfläche, die direkt längs dieser Oberfläche gemessen wird.

In einer früheren Arbeit [3] sind die Grundgleichungen des Phänomens ausgeführt und eine numerische Anwendung berechnet. In der numerischen Anwendung wurde die Beeinflussung der Länge der beeinflussten Strecke und einer zusätzlichen Erdung beider Enden der beeinflussten Strecke untersucht. Da die auftretenden Spannungen von mehreren Faktoren abhängig sind, behandelt der vorliegende Aufsatz die Beeinflussung folgender Faktoren:

a) Spezifischer Erdwiderstand ϱ;

b) Ableitung pro m² der Isolation der Rohrleitung g bzw. Ableitungswiderstand pro m² $r = 1/g$;

c) Horizontaler Abstand der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung d;

d) Länge der Parallelführung l;

e) Durchmesser der Rohrleitung D.

Als Konstanten des Problems werden betrachtet:

a) Höhe der Hochspannungsleitung über dem Erdboden[2]) . . $h = 15$ m

b) Die Hochspannungsleitung ist mit einem Stahlerdseil vom Querscnitt δ ausgerüstet . . . . $\delta = 70$ mm²

c) Spezifische Leitfähigkeit des Materials des Stahlrohres . . $\sigma = 7 \cdot 10^6\ \Omega^{-1}\ \mathrm{m}^{-1}$

d) Relative Permeabilität (als Konstante betrachtet) . . . $\mu_r = 500$

e) Das Rohr ist isoliert und weist eine konstante Kapazität c gegen Erde auf . . . . . $c = 0{,}885 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{Fcm}^{-2}$ (was einer Isolationsschichtdicke von 4 mm und einer relativen Dielektrizitätskonstante von $\varepsilon_r = 4$ entspricht)

f) Es wird angenommen, dass keine zusätzliche Erdung der Enden der beeinflussten Strecke der Rohrleitung besteht.

2. Resultate in Kurvenform

Die Beeinflussung der erwähnten Parameter kann in den folgenden vier Gruppen von Kurven veranschaulicht werden:

2.1 Spannung gegen Erde U_x als Funktion des Abstandes x von der Mitte der beeinflussten Strecke (Gruppe A, Fig. 2 und 3).

[2]) Es wird angenommen, dass im Falle eines Erdschlusses, der Nullstrom aller drei Phasen durch einen Leiter, der mit der Achse der Hochspannungsleitung zusammenfällt, fliesst.

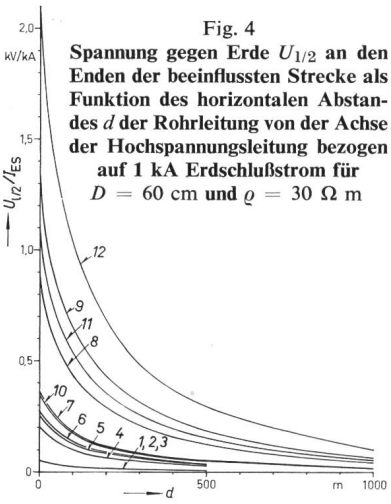

Fig. 4
Spannung gegen Erde $U_{1/2}$ an den Enden der beeinflussten Strecke als Funktion des horizontalen Abstandes d der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung bezogen auf 1 kA Erdschlußstrom für D = 60 cm und ϱ = 30 Ω m

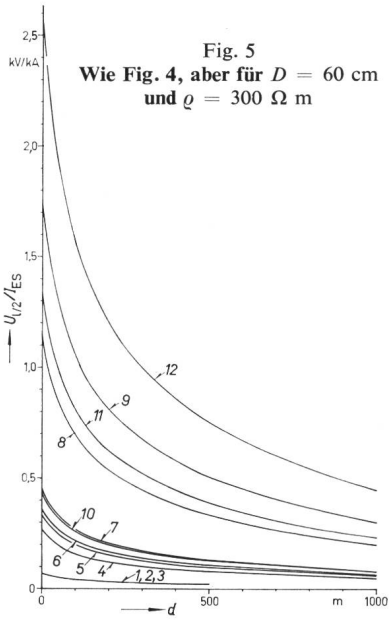

Fig. 5
Wie Fig. 4, aber für D = 60 cm und ϱ = 300 Ω m

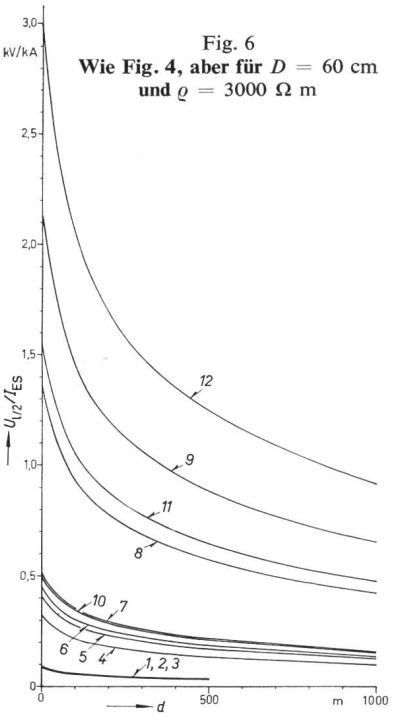

Fig. 6
Wie Fig. 4, aber für D = 60 cm und ϱ = 3000 Ω m

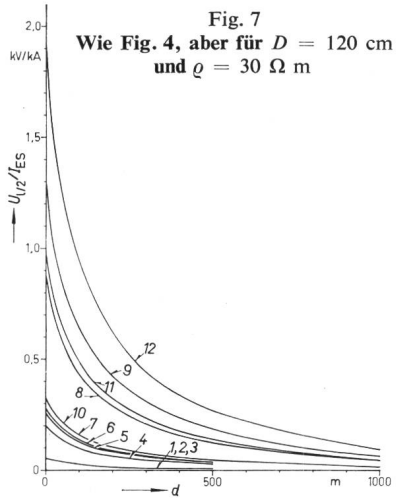

Fig. 7
Wie Fig. 4, aber für D = 120 cm und ϱ = 30 Ω m

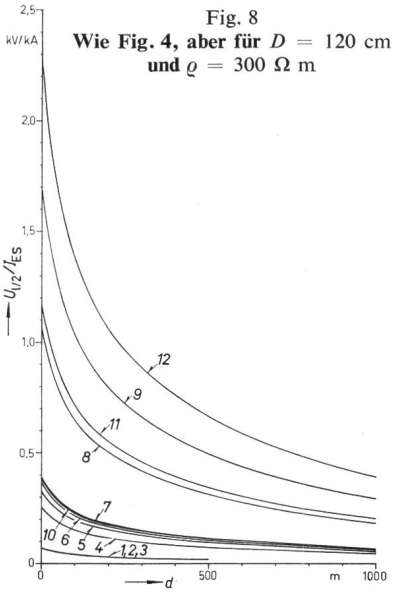

Fig. 8
Wie Fig. 4, aber für D = 120 cm und ϱ = 300 Ω m

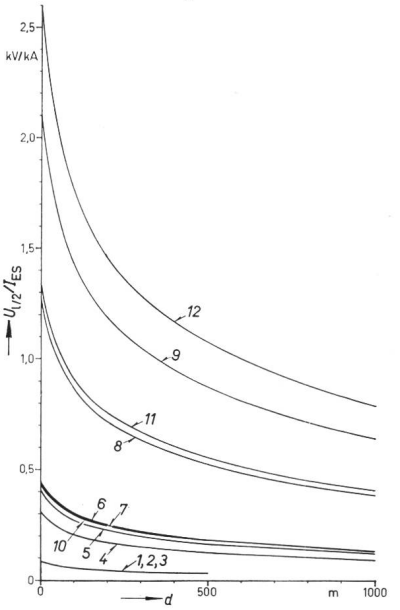

Fig. 9
Wie Fig. 4, aber für D = 120 cm und ϱ = 3000 Ω m

Tabelle zu den Fig. 4...9

Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
l (km)	0,5	0,5	0,5	2,5	2,5	2,5	12,5	12,5	12,5	∞	∞	∞
g ($\Omega^{-1}\mathrm{m}^{-2}$)	10^{-4}	10^{-5}	0	10^{-4}	10^{-5}	0	10^{-4}	10^{-5}	0	10^{-4}	10^{-5}	0
r ($\Omega\mathrm{m}^2$)	10^4	10^5	∞	10^4	10^5	∞	10^4	10^5	∞	10^4	10^5	∞

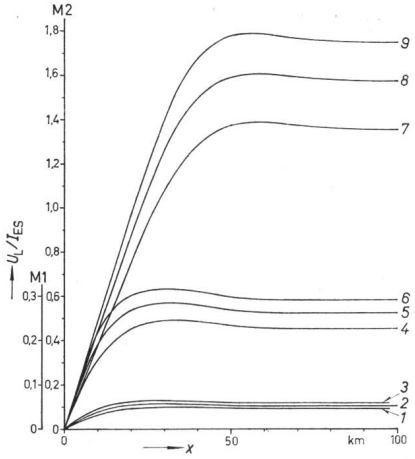

Fig. 10
Längsspannung U_L als Funktion des Abstandes x von der Mitte der beeinflussten Strecke
$d = 0$, $g = 10^{-5}\ \Omega^{-1}\mathrm{m}^{-2}$ **und** $D = 60$ cm
Kurven 1...6: Maßstab 1 (M1); Kurven 7...9: Maßstab 2 (M2)

Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l (km)	2,5	2,5	2,5	12,5	12,5	12,5	75	75	75
ϱ (Ωm)	30	300	3000	30	300	3000	30	300	3000

Die entsprechenden Gleichungen lauten (s. [3], Gl. 6 und 8 für $R_R = \infty$):

$$\text{Für } |x| \leqq \frac{l}{2} \qquad \overline{U}_x = \frac{\overline{U}_i'}{\overline{\gamma}\, e^{\overline{\gamma}\frac{l}{2}}} \sinh \overline{\gamma}\, x$$

$$\text{Für } |x| \geqq \frac{l}{2} \qquad \overline{U}x = \frac{\overline{U}_i'}{\overline{\gamma}} \sinh \overline{\gamma}\, \frac{l}{2}\, e^{-\overline{\gamma}|x|}$$

Als Parameter für die betreffenden Kurven gelten:

a) Die Länge l der beeinflussten Strecke;
b) Der spezifische Erdwiderstand ϱ;
c) Der Durchmesser D der Rohrleitung.

Für diese Gruppe von Kurven wird an genommen, dass die Rohrleitung genau unter der Achse der Hochspannungsleitung verläuft (d=0) und, dass der Ableitungswiderstand der Rohrisolation konstant und gleich $g = 10^{-5}\ \Omega^{-1}\ \mathrm{m}^{-2}$ bzw. $r = 10^5\ \Omega\mathrm{m}^2$ ist.

2.2 Spannung gegen Erde $U_{l/2}$ an den Enden der beeinflussten Strecke als Funktion des horizontalen Abstandes d der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung (Gruppe B, Fig. 4 bis 9)

Die entsprechende Gleichung lautet (s. [3], Gl. 6 od. 8 für $R_R = \infty$ und $x = l/2$):

$$\overline{U}_{l/2} = \frac{\overline{U}_i'}{2\overline{\gamma}} \left(1 - e^{-\overline{\gamma} l}\right)$$

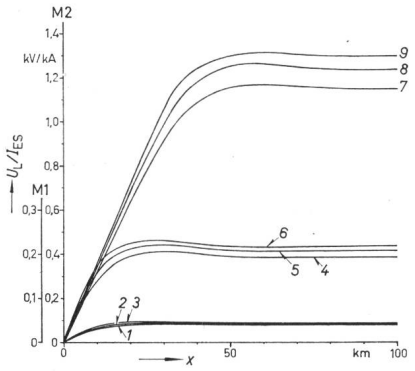

Fig. 11
Wie Fig. 10, aber für D = 120 cm

Als Parameter für diese Kurven gelten:

a) Die Länge l der beeinflussten Strecke;
b) Die Ableitung g pro m² der Rohrleitung bzw. der Ableitungswiderstand $1/g$;
c) Der spezifische Erdwiderstand ϱ;
d) Der Durchmesser D der Rohrleitung.

2.3 Längsspannung U_L als Funktion des Abstandes x von der Mitte der beeinflussten Strecke (Gruppe C, Fig. 10 und 11)

Die entsprechenden Gleichungen lauten (s. [3], Gl. 26 und 27 für $R_R = \infty$):

Für $|x| \leqq \frac{l}{2}$:

$$\overline{U}_L = \overline{U}_i' \frac{(1+j)\, R_w'}{\overline{Z}'} \left(x - \frac{\sinh \overline{\gamma}\, x}{\overline{\gamma}\, e^{\overline{\gamma}\frac{l}{2}}} \right)$$

Für $x \geqq \frac{l}{2}$:

$$\overline{U}_L = \overline{U}_i' \frac{(1+j)\, R_w'}{\overline{Z}'} \left(\frac{l}{2} - \frac{\sinh \overline{\gamma}\, \frac{l}{2}}{\overline{\gamma}}\, e^{-\overline{\gamma} x} \right)$$

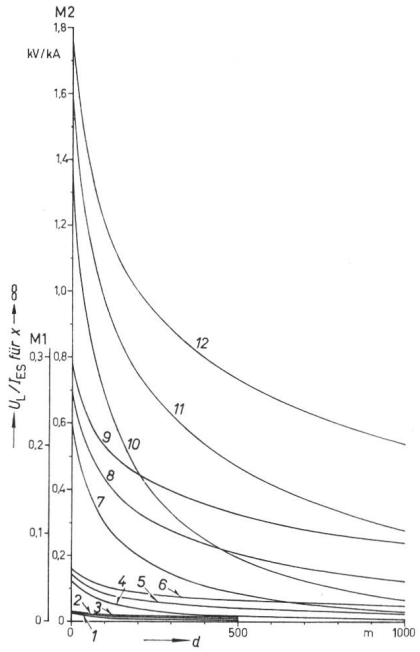

Fig. 12
Asymptotischer Wert der Längsspannung U_L für $x \to \infty$ als Funktion des horizontalen Abstandes d der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung, bezogen auf 1 kA Erdschlußstrom, für D = 60 cm, gültig für alle Werte von g bzw. r
Kurven 1...9: Maßstab 1 (M1); Kurven 10...12: Maßstab 2 (M2)

Kurve	l (km)	ϱ (Ωm)	Kurve	l (km)	ϱ (Ωm)
1	0,5	30	7	12,5	30
2	0,5	300	8	12,5	300
3	0,5	3000	9	12,5	3000
4	2,5	30	10	75	30
5	2,5	300	11	75	300
6	2,5	3000	12	75	3000

Es gelten die gleichen Parameter und die Voraussetzung $d = 0$ wie bei der Gruppe A.

2.4 Grenzwert der Längsspannung U_L für $x \to \infty$ als Funktion des horizontalen Abstandes d der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung (Gruppe D, Fig. 12 und 13)

Die entsprechende Gleichung lautet (s. [3], Gl. 27 für $R_R = \infty$ und $x \to \infty$):

$$\overline{U}_{L,x\to\infty} = \overline{U}_i' \frac{(1+j)\, R_w'}{\overline{Z}'} \cdot \frac{l}{2}$$

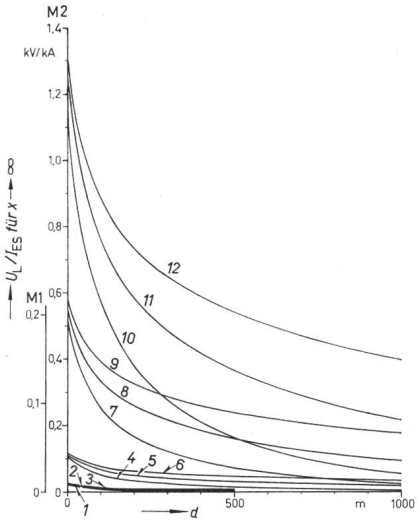

Fig. 13
Wie Fig. 12, aber für $D = 120$ cm

Als Parameter gelten:

a) Der spezifische Erdwiderstand ϱ;
b) Der Rohrdurchmesser D.

In den erwähnten Gleichungen ist U_i in der Schleife «Rohrleitung als Hinleitung und Erde als Rückleitung» induzierte Spannung pro km Hochspannungsleitung, mit Berücksichtigung der Abschirmungswirkung des Erdseils.

γ Übertragungsmass der Rohrleitung $= a + jb$
$\rightarrow U_x$ und U_L siehe Abschnitt 1.
l Länge der induzierten Strecke;
$\overline{Z}'$ Impedanz pro km der Schleife Rohrleitung-Erde
R'_w Wechselstromwiderstand pro km Rohrleitung.

Da die auftretenden Spannungen direkt proportional zum Erdschlußstrom sind, werden alle Spannungsmaßstäbe auf 1 kA Erdschlußstrom reduziert.

3. Schlussfolgerungen

1. Alle Spannungen, die durch die Beeinflussung der Hochspannungsleitung an der Rohrleitung entstehen, sind direkt proportional dem Erdschlußstrom, der im Falle eines Erdschlusses durch die Hochspannungsleitung fliesst. Erdseile reduzieren diese Spannungen.

2. Die Spannung gegen Erde U_x für gegebene Beeinflussungslängen l hat ihren maximalen Wert $U_{l/2}$ an beiden Enden der beeinflussten Strecke. $U_{l/2}$ nimmt zunächst linear mit der Länge l der beeinflussten Strecke zu, aber nur bis $l = 1/a$ (a Dämpfungsmass der Rohrleitung). Für längere beeinflusste Strecken ändert sich $U_{l/2}$ sehr wenig und strebt für $l \rightarrow \infty$ dem Grenzwert $\overline{U}_{l/2} = \frac{\overline{U}_i'}{2\overline{\gamma}}$, wobei U_i' die induzierte Spannung pro km und γ das Übertragungsmass der Rohrleitung ist. Der erwähnte Grenzwert von $U_{l/2}$ für $l \rightarrow \infty$ entspricht nicht genau ihrem maximalen Wert (s. [3], Fig. 11).

3. Die Längsspannung U_L strebt für $x \rightarrow \infty$ asymptotisch einem Grenzwert zu, der aber auch nicht genau ihrem maximalen Wert entspricht. Der Grenzwert von U_L nimmt linear mit der Länge l der beeinflussten Strecke zu.

4. Ein höherer spezifischer Erdwiderstand bewirkt höhere Spannungen gegen Erde (U_x und $U_{l/2}$) und höhere Längsspannungen (U_L und U_L für $x \rightarrow \infty$).

5. Die Spannungen gegen Erde U_x und $U_{l/2}$ werden kleiner, je grösser die Ableitung der Rohrleitung ist. Der Grenzwert der Längsspannung U_L für $x \rightarrow \infty$ ist dagegen unabhängig vom Ableitungswiderstand der Rohrleitung.

6. Ein grösserer Rohrdurchmesser D bewirkt nur eine kleine Abnahme der auftretenden Spannungen.

Literatur

[1] *H. Böcker* und *D. Öding:* Induktionsspannungen an Pipelines in Trassen von Hochspannungsleitungen. Elektr.-Wirtsch. 65(1966)5, S. 157...170.
[2] *J. Pohl:* Influence des lignes aériennes à haute tension sur les conduites tubulaires gainées. CIGRE-Rapport No. 326 (1966).
[3] *C. Menemenlis:* Induktive Beeinflussung einer Rohrleitung und ihres Steuerkabels durch eine parallellaufende Hochspannungsleitung. Bull. SEV 57(1966)8, S. 366...376.

Adresse des Autors:
Dr. *Chr. Menemenlis,* Hochspannungslaboratorium der Technischen Hochschule Athen, Patissionstrasse 42, Athen (Griechenland).

Bemerkungen zum Entwurf der Sicherheitsvorschriften für elektromotorisch oder magnetisch angetriebene Apparate

Von *H. Meier,* Zug

621.313.004.4:64

Die Inkraftsetzung des Reglements für die Prüfung der elektrischen Installationsmaterialien und Apparate sowie für die Erteilung des Sicherheitszeichens (Sicherheitszeichenreglement) auf 1. Juli 1954 und die damit verbundene gesetzliche Prüfpflicht für praktisch alle im Haushalt vorkommenden elektromotorisch oder magnetisch angetriebenen Apparate, erforderte eine Überprüfung der vorhandenen, zum Teil überholten Vorschriften und Regeln des SEV. Unter Berücksichtigung der 1953 neu erschienenen Publikation 10 der CEE erarbeiteten die Technischen Prüfanstalten des SEV im Verlaufe der Zeit nach Bedarf «Provisorische Vorschriften», welche heute noch gültig sind. Im Frühjahr 1961 wurde das neu gebildete FK 212, Motorische Apparate, des CES mit der Aufgabe betraut, in Anlehnung an die Publikation CEE–10 Sicherheitsvorschriften für elektromotorisch oder -magnetisch angetriebene Apparate für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke auszuarbeiten, doch wurden diese Bestrebungen durch die bereits im Gange befindliche Revision dieser CEE-Publikation etwas gehemmt. Im Frühjahr 1965 wurde der bereits in 3. Lesung bereinigte Entwurf für den 1. Teil, Allgemeine Bestimmungen, aufgrund des im Oktober 1964 durch die Plenarversammlung der CEE verabschiedeten 1. Teiles der Publikation CEE–10 als 4. Entwurf neu überarbeitet.

Schon mit Rücksicht auf die Bestrebungen zur Harmonisierung der elektrotechnischen Normen in Europa und auf den «Certification Body» der CEE für die gegenseitige Aner-