

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 59 (1968)
Heft: 3

Artikel: Magnetisch induzierte Spannungen einer Rohrleitung als Folge parallel geführter Hochspannungsleitungen
Autor: Mememenlis, C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057380>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

Nähe des Bildschirms 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 μ A 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 μ R/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 μ R/h). Die zusätzliche Dosisleistung von 3 μ R/h, die die Röntgenstrahlung 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 μ R/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, Röntgenstrahlung 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⁾.

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.

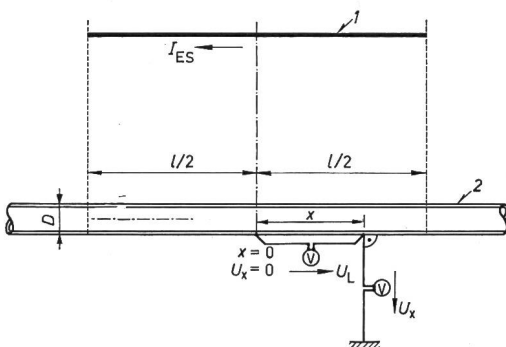


Fig. 1

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

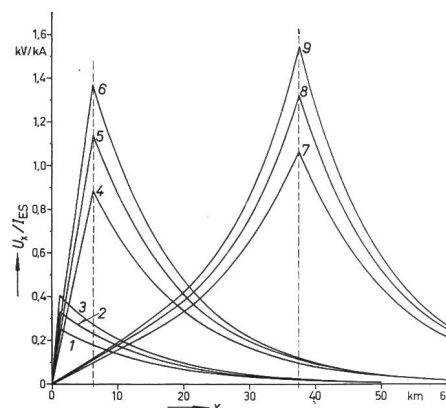


Fig. 2

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

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

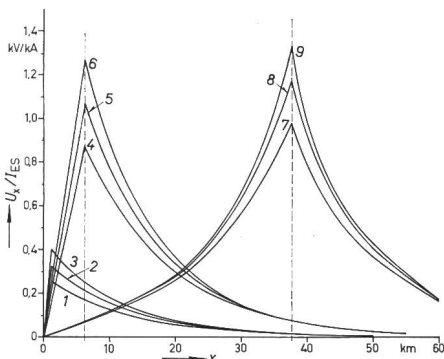


Fig. 3
Wie Fig. 2, aber für $D = 120$ cm

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:

- Spezifischer Erdwiderstand ρ ;
- Ableitung pro m^2 der Isolation der Rohrleitung g bzw. Ableitungswiderstand pro m^2 $r = 1/g$;
- Horizontaler Abstand der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung d ;
- Länge der Parallelführung l ;
- Durchmesser der Rohrleitung D .

Als Konstanten des Problems werden betrachtet:

- Höhe der Hochspannungsleitung über dem Erdboden²⁾ . . . $h = 15$ m
- Die Hochspannungsleitung ist mit einem Stahlerdseil vom Querschnitt δ ausgerüstet $\delta = 70$ mm²
- Spezifische Leitfähigkeit des Materials des Stahlrohres . . . $\sigma = 7 \cdot 10^6 \Omega^{-1} m^{-1}$
- Relative Permeabilität (als Konstante betrachtet) $\mu_r = 500$
- Das Rohr ist isoliert und weist eine konstante Kapazität c gegen Erde auf $c = 0,885 \cdot 10^{-12} Fcm^{-2}$ (was einer Isolationsschichtdicke von 4 mm und einer relativen Dielektrizitätskonstante von $\epsilon_r = 4$ entspricht)
- 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.

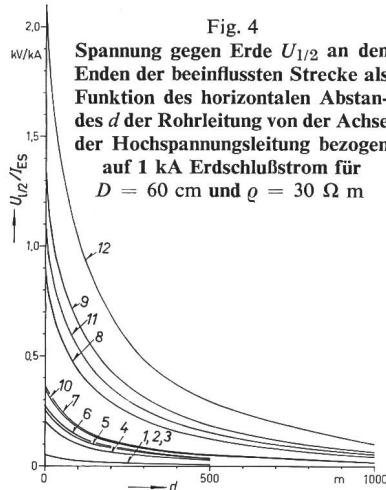


Fig. 4
Spannung gegen Erde $U_{1/2}$ an den Enden der beeinflussten Strecke als Funktion des horizontalen Abstandes d der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung bezogen auf 1 kA Erdschlußstrom für $D = 60$ cm und $\rho = 30 \Omega m$

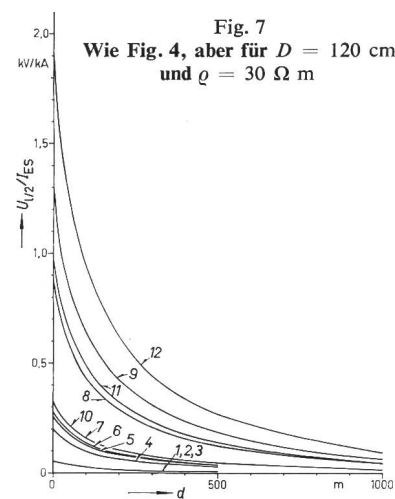


Fig. 7
Wie Fig. 4, aber für $D = 120$ cm und $\rho = 30 \Omega m$

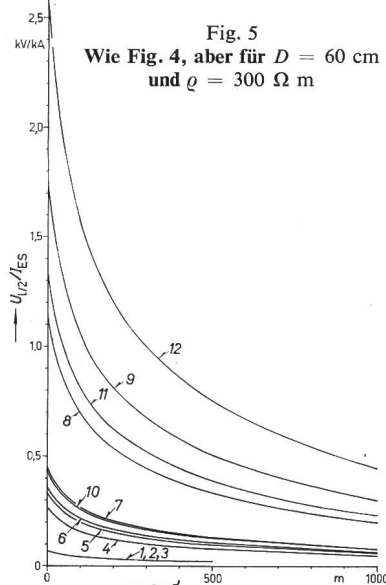


Fig. 5
Wie Fig. 4, aber für $D = 60$ cm und $\rho = 300 \Omega m$

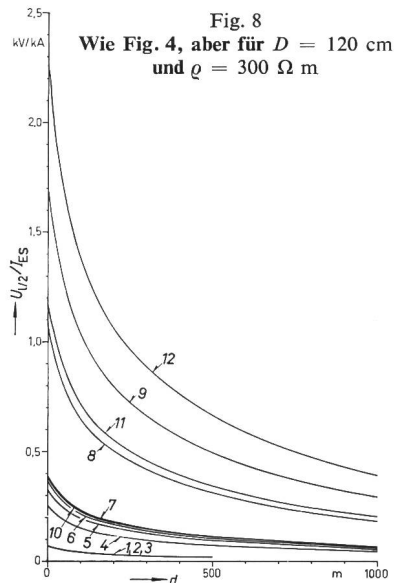


Fig. 8
Wie Fig. 4, aber für $D = 120$ cm und $\rho = 300 \Omega m$

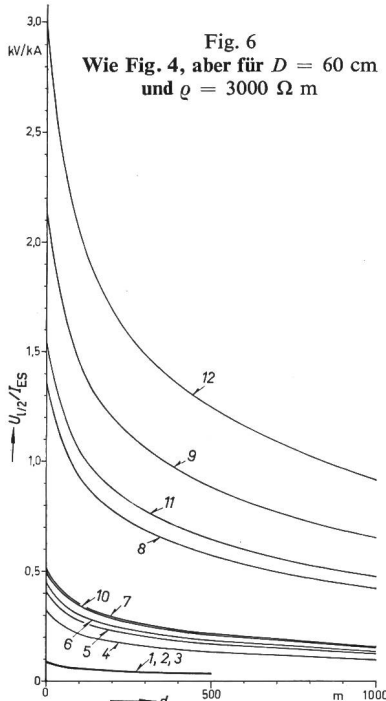


Fig. 6
Wie Fig. 4, aber für $D = 60$ cm und $\rho = 3000 \Omega m$

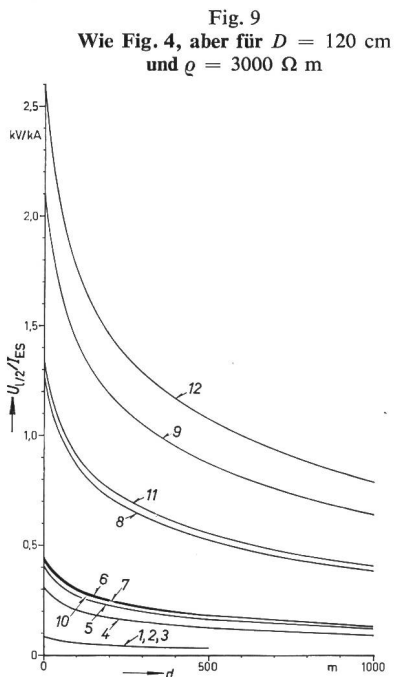


Fig. 9
Wie Fig. 4, aber für $D = 120$ cm und $\rho = 3000 \Omega m$

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 ($\Omega^{-1}m^{-2}$)	10^{-4}	10^{-5}	0	10^{-4}	10^{-5}	0	10^{-4}	10^{-5}	0	10^{-4}	10^{-5}	0
r (Ωm^2)	10^4	10^5	∞	10^4	10^5	∞	10^4	10^5	∞	10^4	10^5	∞

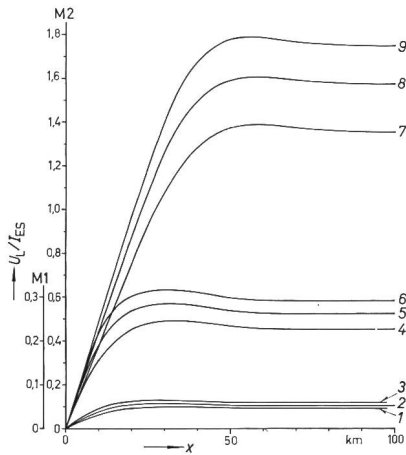


Fig. 10

Längsspannung U_L als Funktion des Abstandes x von der Mitte der beeinflussten Strecke

$d = 0$, $g = 10^{-5} \Omega^{-1} \text{m}^{-2}$ und $D = 60 \text{ cm}$

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 $R_R = \infty$):

$$\text{Für } |x| \leq \frac{l}{2} \quad \bar{U}_x = \frac{\bar{U}_i'}{\bar{\gamma} e^{-\bar{\gamma} \frac{l}{2}}} \sinh \bar{\gamma} x$$

$$\text{Für } |x| \geq \frac{l}{2} \quad \bar{U}_x = \frac{\bar{U}_i'}{\bar{\gamma}} \sinh \bar{\gamma} \frac{l}{2} e^{-\bar{\gamma} |x|}$$

Als Parameter für die betreffenden Kurven gelten:

- Die Länge l der beeinflussten Strecke;
- Der spezifische Erdwiderstand ρ ;
- Der Durchmesser D der Rohrleitung.

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

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

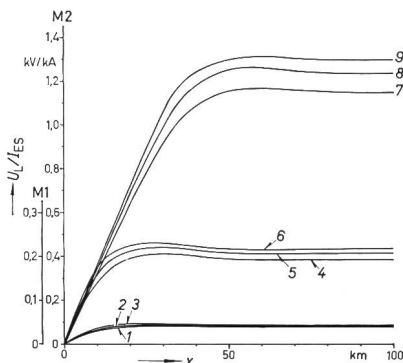


Fig. 11

Wie Fig. 10, aber für $D = 120 \text{ cm}$

Als Parameter für diese Kurven gelten:

- Die Länge l der beeinflussten Strecke;
- Die Ableitung g pro m^2 der Rohrleitung bzw. der Ableitungswiderstand $1/g$;
- Der spezifische Erdwiderstand ρ ;
- 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 $|x| \leq \frac{l}{2}$:

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

Für $x \geq \frac{l}{2}$:

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

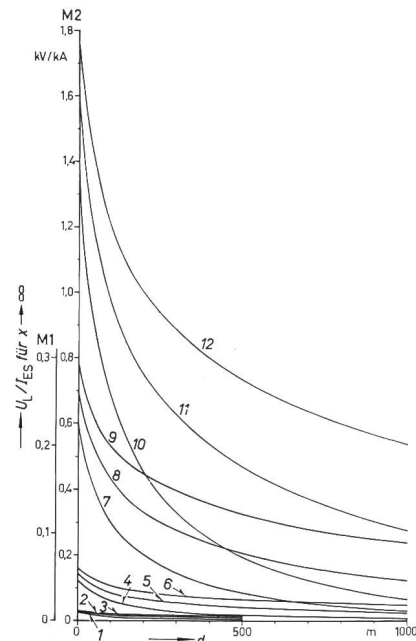


Fig. 12

Asymptotischer Wert der Längsspannung U_L für $x \rightarrow \infty$ als Funktion des horizontalen Abstandes d der Rohrleitung von der Achse der Hochspannungsleitung, bezogen auf 1 kA Erdschlußstrom, für $D = 60 \text{ cm}$, 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 $x \rightarrow \infty$ 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 $x \rightarrow \infty$):

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

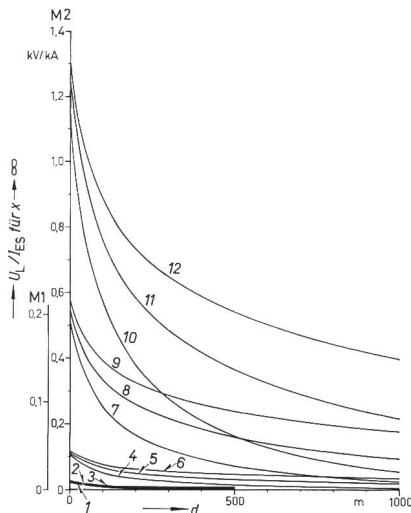


Fig. 13
Wie Fig. 12, aber für $D = 120$ cm

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 = $a + jb$
→ U_x und U_L siehe Abschnitt 1.

l Länge der induzierten Strecke;

\bar{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 $\bar{U}_{l/2} = \frac{U_i'}{2\gamma}$, 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. Elek.-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).

Observations relatives au projet de Prescriptions de sécurité pour appareils électriques à moteur ou à entraînement magnétique

Par H. Meier, Zoug

621.313.004.4:64

La mise en vigueur du Règlement concernant les épreuves du matériel d'installation et des appareils électriques, ainsi que l'octroi du signe distinctif de sécurité (Règlement concernant le signe distinctif de sécurité) au 1^{er} juillet 1954, et par conséquent l'épreuve obligatoire de presque tous les appareils électriques à moteur ou à entraînement magnétique appliqués aux usages domestiques, nécessita une révision des Prescriptions et des Règles existantes et partiellement révoquées de l'ASE. Compte tenu de la Publ. 10 de la CEE nouvellement parue en 1953, les Institutions de contrôle de l'ASE élaborèrent au cours du temps et au gré des besoins des Prescriptions provisoires actuellement en vigueur. Au printemps 1961, le CT 212 du CES, appareils électriques à moteur, nou-

vement constitué fut chargé d'établir des Prescriptions de sécurité pour appareils électriques à moteur ou à entraînement magnétique pour usages domestiques et analogues, en s'inspirant à cet effet de la Publ. 10 de la CEE. Ces efforts furent toutefois quelque peu freinés par la révision déjà en cours de cette publication. Au printemps 1965, le projet de la première partie, Dispositions générales, déjà mis au point à la 3^e lecture, fut remanié en vue d'établir un 4^e projet correspondant à la 1^{re} partie de la Publ. 10 de la CEE approuvée par l'assemblée générale de la CEE.

Déjà par égard aux efforts de coordination sur le plan européen des normes électrotechniques et à l'«Organisme de Certification» de la CEE pour l'approbation réciproque des