

Der Schutzbereich von Überspannungsableitern bei einem Ferneinschlag

Autor(en): **Brauner, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de
l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des
Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **67 (1976)**

Heft 22

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915236>

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.

Der Schutzbereich von Überspannungsableitern bei einem Ferneinschlag

Von G. Brauner

621.316.933

Durch einen Ferneinschlag entsteht im Vergleich zu einem Naheinschlag eine relativ geringe Belastung der Ableiter. Der Schutzbereich von Ableitern für Leitungsabzweige wird bestimmt durch das Wellenverhältnis von Freileitung und Abzweig, die Wellenform und die Amplitude der einlaufenden Überspannungswelle sowie die Eigenschaften des Ableiters. Eine systematische Variation dieser Parameter führt zu der Erkenntnis, dass der Schutzbereich von Ableitern für metallgekapselte Rohrleiter und Kabelabzweige unendlich gross sein kann, wenn die Isolation der Freileitung knapp bemessen ist.

Comparativement aux coups de foudre directs proches, ceux qui sont éloignés ne sollicitent que relativement peu les parafoudres. L'étendue de protection de parafoudres pour embranchements de lignes aériennes est déterminée par le rapport entre l'impédance caractéristique de la ligne et celle de l'embranchement, la forme et l'amplitude de l'onde de surtension arrivante, ainsi que par les propriétés du parafoudre. Une variation systématique de ces paramètres montre que l'étendue de protection des parafoudres peut être infiniment grande, lorsque les embranchements sont en conducteurs blindés ou en câbles et que l'isolement de la ligne aérienne est faiblement dimensionné.

1. Einleitung

Als Schutzbereich bezeichnet man die maximal zulässige Entfernung zwischen Ableiter und zu schützendem Objekt. Die Grösse des Schutzbereiches hängt von mehreren Faktoren ab, wie dem Wellenverhältnis von Freileitung und ableitergeschütztem Leitungsabgang, der Wellenform und der Amplitude der einlaufenden Überspannungswelle sowie den Ableitereigenschaften selbst. Nur unter vereinfachenden Annahmen ist eine formelmässige Beschreibung möglich. Bei komplizierteren Anordnungen und Wellenformen ist man zur numerischen Berechnung gezwungen.

Bisher sind vor allem zwei Anordnungen untersucht worden, die am Ende offene Freileitung mit einem Ableiter im Abstand l vom Leitungsende [1; 2]¹⁾ und der ableitergeschützte Kabelabzweig [3]. Beide Konfigurationen entstehen, wenn ein Abzweig in einer Schaltanlage von der Sammelschiene abgetrennt wird. Mit zunehmender Verbreitung von metallgekapselten SF₆-isolierten Anlagen in den letzten zehn Jahren ist eine dritte Konfiguration möglich geworden, der ableitergeschützte metallgekapselte Rohrleiter. Auch hier ist nur ein Ableiter an der Übergangsstelle zur Freileitung vorhanden. Es interessiert, bis zu welchen Rohrlängen der Schutz bei einem Ferneinschlag ausreichend ist.

In [4] wird eine gekapselte UHV-Schaltanlage bei einem Ferneinschlag untersucht und mit einer Freiluftschaltanlage verglichen, die ebenfalls nur an den Freileitungsabgängen geschützt ist. Die gekapselte Anlage verhält sich vor allem wegen der kleineren Abmessungen und des geringeren Wellenverhältnisses günstiger als eine Freiluftanlage. Da in gekapselten

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

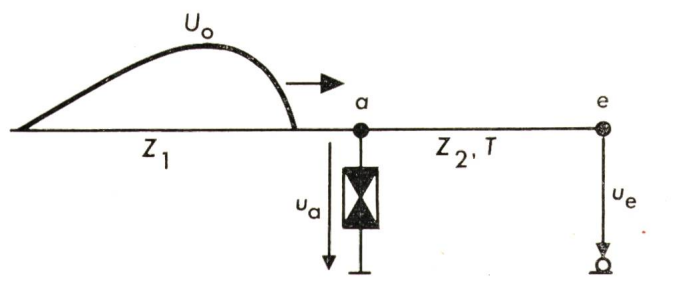


Fig. 1 Anordnung zur Berechnung des Schutzbereiches von Ableitern bei einem Ferneinschlag

- Z_1 Wellenwiderstand der Freileitung
- Z_2 Wellenwiderstand des Abzweiges
- T Laufzeit des Abzweiges
- U_0 Amplitude der einlaufenden Welle
- u_a Spannung am Ableiterstandort
- u_e Spannung am Ende des Abzweiges

Anlagen die Ausbreitungsgeschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit ist, ergeben sich auch grössere Schutzbereiche als bei Anlagen mit Kabeleinführung, vorausgesetzt der Wellenwiderstand bleibt gleich.

2. Die untersuchte Anordnung

Im folgenden soll das Verhalten unterschiedlicher Abzweige bei einem Ferneinschlag systematisch untersucht werden. Bei einem Ferneinschlag ist die Einschlagstelle so weit vom Ableiterstandort entfernt, dass Reflexionen an der Einschlagstelle im Betrachtungszeitraum keinen Beitrag zur Spannungsentwicklung leisten. Im Vergleich zu einem Naheinschlag entsteht eine geringere Spannungsbeanspruchung. Die grossen Laufzeiten der Überspannungswelle auf der Freileitung bewirken, dass die Stirnzeit durch Erdeinfluss und Korona immer im Mikrosekundenbereich liegt. Die Ableiter sprechen daher bei ihrer Nennansprechspannung an. Ausserdem ist durch die Pegelung der Freileitungsisolations die Amplitude der Welle begrenzt. Hierdurch bleibt der Ableiterstrom bei allen Anordnungen unterhalb des Nennableiterstromes von 10 kA.

Um die Ergebnisse in allgemeingültiger normierter Form zu erhalten, werden die folgenden Vereinfachungen getroffen:

1. Die Steigung der u, i -Kennlinie des Ableiters im Arbeitspunkt ist vernachlässigbar.
2. Die Leitungsabzweige sind dämpfungs- und verzerrungsfrei.
3. Die einlaufenden Wellen sind durch die Differenz zweier Exponentialfunktionen darstellbar.

$$u = U_0 (e^{-at} - e^{-bt})$$

Die letzte Annahme ist bei einem Ferneinschlag gut erfüllt, da infolge der langen Laufzeiten alle höherfrequenten Anteile stark gedämpft sind.

Fig. 1 zeigt die untersuchte Anordnung. Variiert wird das Wellenverhältnis Z_1/Z_2 , die Länge des Abzweiges in Laufzeiteinheiten T , die Stirnzeit t_S , die Rückenhalbwertszeit t_R und die Amplitude U_0 der einlaufenden Welle und die Ansprechspannung U_{AN} des Ableiters. Das Wellenverhältnis hat die Werte $Z_1/Z_2 = 1; 2; 5; 10$.

Bei Werten des Wellenwiderstandes von 250...500 Ω für Freileitungen, von 60...75 Ω für metallgekapselte Rohrleiter und 20...40 Ω für Energiekabel ist damit die Realisierung folgender Fälle möglich:

- Übergang Freileitung-Freileitung. Das Wellenverhältnis ist 1 bei gleichartigen und 2 bei verschiedenartigen Leitungen (z. B. Freileitungs-Sammelschiene).

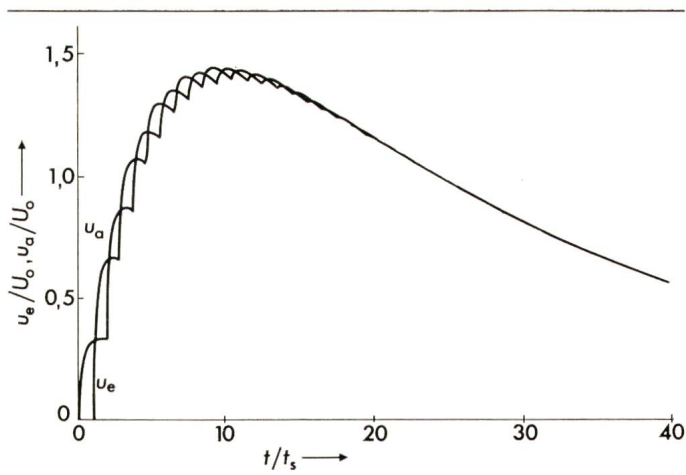


Fig. 2 Spannungsverlauf u_a am Leitungsanfang und u_e am Leitungsende ohne Ansprechen des Ableiters

$$Z_1/Z_2 = 5, t_s/t_R = 1/20, T/t_s = 1$$

t_s Stirnzeit

t_R Rückenhalbwegszeit

t Zeit

– Übergang Freileitung–SF₆–Rohr. Hier ist $Z_1/Z_2 = 5 \dots 10$ möglich.

– Übergang Freileitung–Kabel mit einem Verhältnis von 10.

– Mehrfachabgänge gleicher Laufzeit. Sie können wie ein Abgang behandelt werden. Das Wellenverhältnis bestimmt sich bei n unterschiedlichen Abgängen zu

$$Z_1/Z_2 = Z_1 \sum_{i=1}^n 1/Z_i.$$

Das Verhältnis kann alle Werte > 1 annehmen.

3. Selbstschutz und Fremdschutz

Das Wellenverhältnis sei $Z_1/Z_2 > 1$, und der Ableiter möge nicht ansprechen. Durch Brechung und Reflexion an der Übergangsstelle a (Fig. 1) baut sich die Spannung stufenförmig auf. Dieses Verhalten kann als Selbstschutz des Abzweigs bezeichnet werden. Fig. 2 und Fig. 3 zeigen die Zeitfunktion der Spannungen u_a am Ableiterstandort und u_e am Leitungsende für diesen Fall. In Fig. 2 sind Stirnzeit t_s und einfache Laufzeit T des Leitungsabgangs gleich gross. Die normierte Welle hat die Form $1/20$ in beliebigen Zeiteinheiten. Das Wellenverhältnis ist $Z_1/Z_2 = 5$. Nach jeweils der doppelten Laufzeit $2T$ addiert sich eine Teilreflexion. Infolge der endlichen Rückenhalbwegszeit ist die maximale Amplitude nur $1,45 \cdot U_0$. Fig. 3 zeigt den gleichen Vorgang bei zehnfacher Leitungslaufzeit. Hier erreicht die Spannung am Leitungsende einen Maximalwert von nur $0,75 \cdot U_0$, da die Überlagerung erst erfolgt, wenn die Amplitude der einlaufenden Welle bereits auf den halben Scheitelwert abgesunken ist.

Beide Bilder zeigen, dass die Grenzbedingung für den Übergang zum Selbstschutz bei gegebener Leitungslaufzeit und Wellenform vom Verhältnis U_{AN}/U_0 abhängt. Im ersten Fall muss $U_{AN}/U_0 > 1,45$ sein, im zweiten $> 0,75$.

Spricht der Ableiter an, so kann dies als Fremdschutz des Abzweiges bezeichnet werden. Die maximal mögliche Spannungsdifferenz zwischen Ableiterstandort und Leitungsende ist dann die doppelte Amplitude einer Teilreflexion. Die Spannung am Ende erreicht den doppelten Wert der Ansprechspannung, wenn der Ableiter bereits innerhalb der Stirnzeit der Welle

anspricht und wenn zum Ansprechzeitpunkt die Reflexion vom Leitungsende den Ableiterstandort noch nicht erreicht hat.

In Fig. 4 sind die Maximalwerte u_e/U_0 der normierten Spannung am Leitungsende bei gleichem Wellenverhältnis und gleicher Wellenform wie in Fig. 2 und 3 als Funktion der normierten Laufzeit aufgetragen. Parameter ist die Ansprechspannung des Ableiters. Der Brechungsfaktor d an der Stoßstelle beider Leitungen hat für Wellen, die von der Freileitung einwandern, einen Wert von $d = 2 Z_2/(Z_1 + Z_2)$.

Bei grossen Leitungslaufzeiten $T \gg t_R$, und wenn der Ableiter nicht anspricht, entsteht als maximale Spannung am Leitungsende $u_e = 0,66 \cdot U_0$. Spricht der Ableiter innerhalb der Stirnzeit der Welle an, d. h. wenn $U_{AN}/U_0 \leq 0,33$ ist, so erreicht die Spannung am Ende bei grossen Laufzeiten den doppelten Wert der Ansprechspannung. Bei kleineren Leitungslängen haben sich bereits vom Leitungsende her kommende Teilreflexionen am Ableiterstandort mit der gebrochenen Welle überlagert, bevor der Ableiter anspricht. Die Spannungsdifferenz zwischen Leitungsende und Ableiterstandort nimmt daher mit der Leitungslaufzeit zu und erreicht maximal die zweifache Amplitude einer Teilreflexion. Für diesen Bereich gilt die klassische Definition des Schutzbereiches.

Je grösser das Verhältnis U_{AN}/U_0 wird, um so später spricht der Ableiter an, da dann mehrere Teilreflexionen nötig sind. Die Spannungsdifferenz zwischen Leitungsende und -anfang nimmt ab. Dadurch vergrössert sich der Schutzbereich. Bei $U_{AN}/U_0 = 1,5$ ist der grösste Wert u_e/U_{AN} nur noch 1,07. Wird die Laufzeit T/t_s entsprechend gross, wenn gleichzeitig $U_{AN}/U_0 \geq 0,33$ ist, oder ist $U_{AN}/U_0 \geq 2$, so spricht der Ableiter nicht mehr an. Die obere Hüllkurve beinhaltet diesen Fall. Der Abgang ist vom Fremdschutz durch einen Ableiter zum Selbstschutz durch den Wellenverhältnissprung übergegangen. In der Hüllkurve von Fig. 4 sind die Maximalwerte von Fig. 2 und 3 durch Kreise markiert.

Es ist leicht einzusehen, dass bei $Z_1/Z_2 = 1$ bei vernachlässigbarer Dämpfung nie ein Selbstschutz vorliegen kann. Wenn der Ableiter nicht anspricht, erreicht die Spannung am Leitungsende immer den doppelten Amplitudenwert der einlaufenden Welle. Fig. 5 zeigt dies für $Z_1/Z_2 = 1$ bei gleicher Wellenform $1/20$.

4. Der Schutzbereich bei metallgekapselten Rohrleitern

Obleich aus Fig. 4 und 5 gut abzulesen ist, ob ein Ableiter ansprechen wird, ist der Schutzbereich nur indirekt zu ermitteln. Günstiger ist daher eine Darstellungsweise, die die Spannung u_e am Leitungsende auf die Ansprechspannung U_{AN} des Ableiters bezieht. Fig. 6 und 7 zeigen die Werte von Fig. 4 und

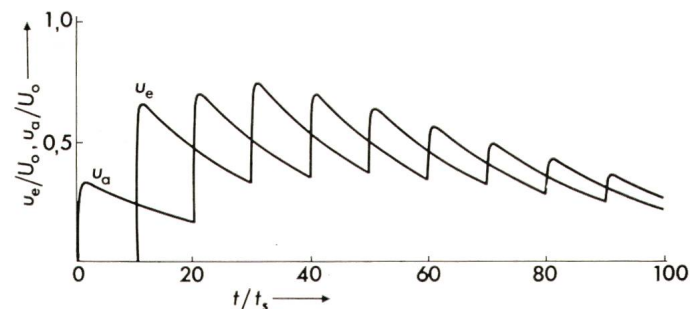


Fig. 3 Spannungsverlauf u_a am Leitungsanfang und u_e am Leitungsende ohne Ansprechen des Ableiters

$$Z_1/Z_2 = 5, t_s/t_R = 1/20, T/t_s = 10$$

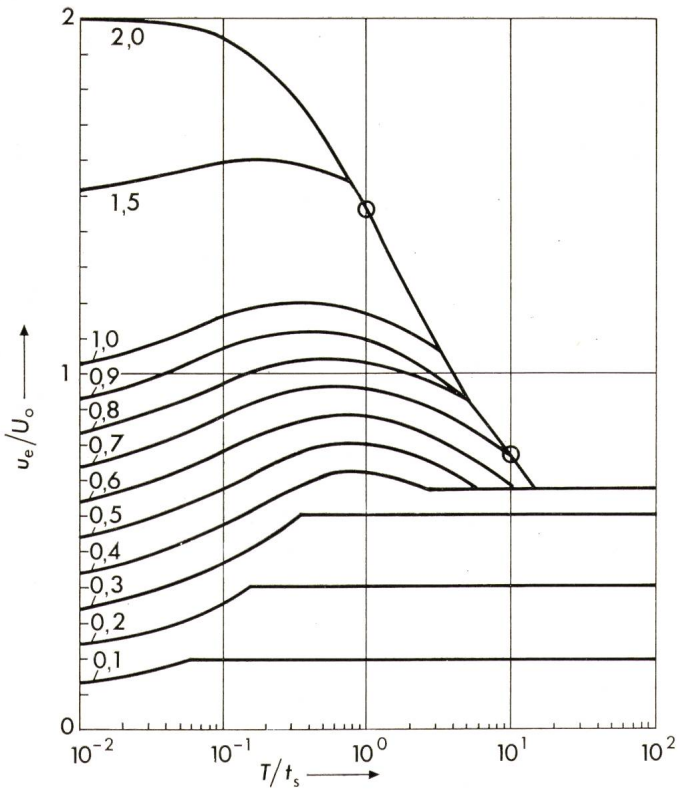


Fig. 4 Maximale normierte Spannung u_e/U_0 als Funktion der normierten Laufzeit T/t_s
 $Z_1/Z_2 = 5$, $t_s/t_R = 1/20$, Parameter U_{AN}/U_0

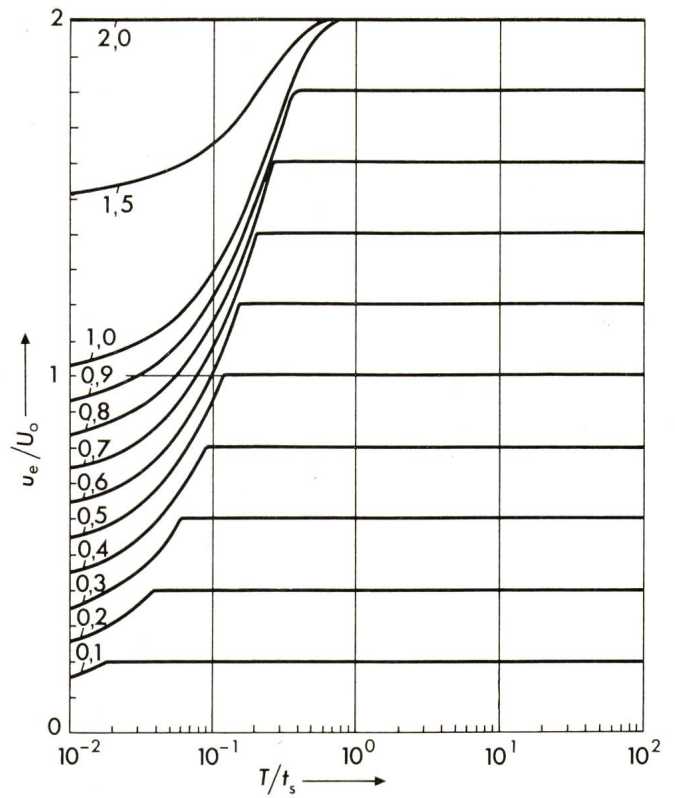


Fig. 5 Maximale normierte Spannung u_e/U_0 als Funktion der normierten Laufzeit T/t_s
 $Z_1/Z_2 = 1$, $t_s/t_R = 1/20$, Parameter U_{AN}/U_0

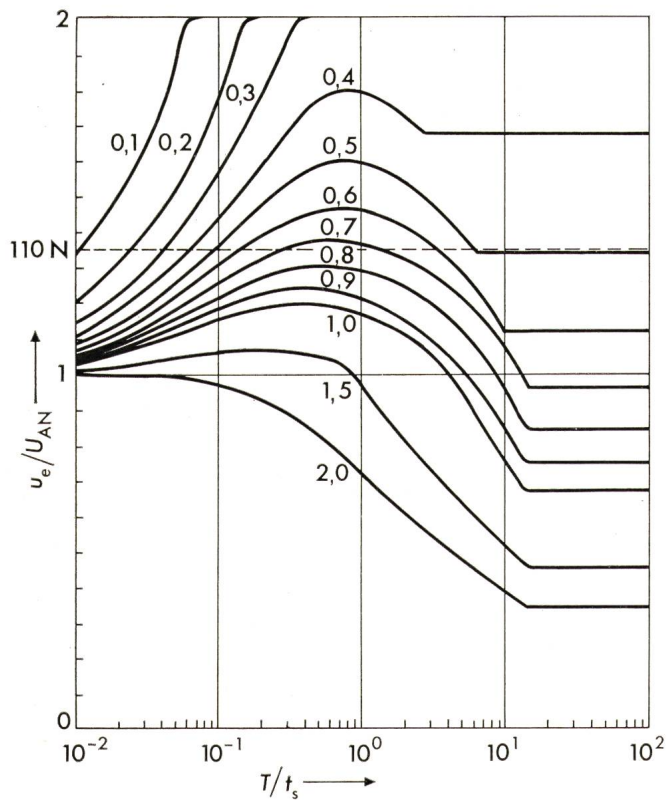


Fig. 6 Diagramm zur Bestimmung des Schutzbereiches
 $Z_1/Z_2 = 5$, $t_s/t_R = 1/20$, Parameter U_{AN}/U_0

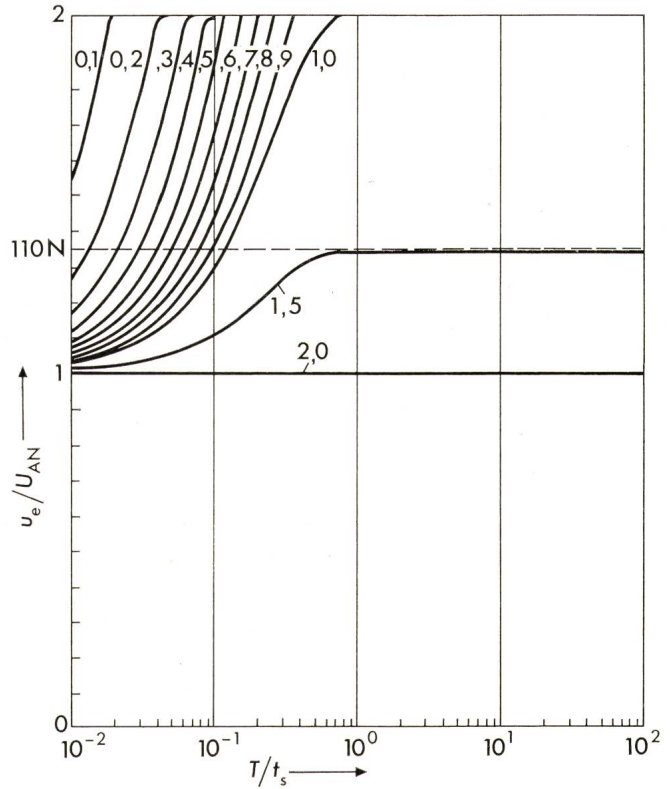


Fig. 7 Diagramm zur Bestimmung des Schutzbereiches
 $Z_1/Z_2 = 1$, $t_s/t_R = 1/20$, Parameter U_{AN}/U_0

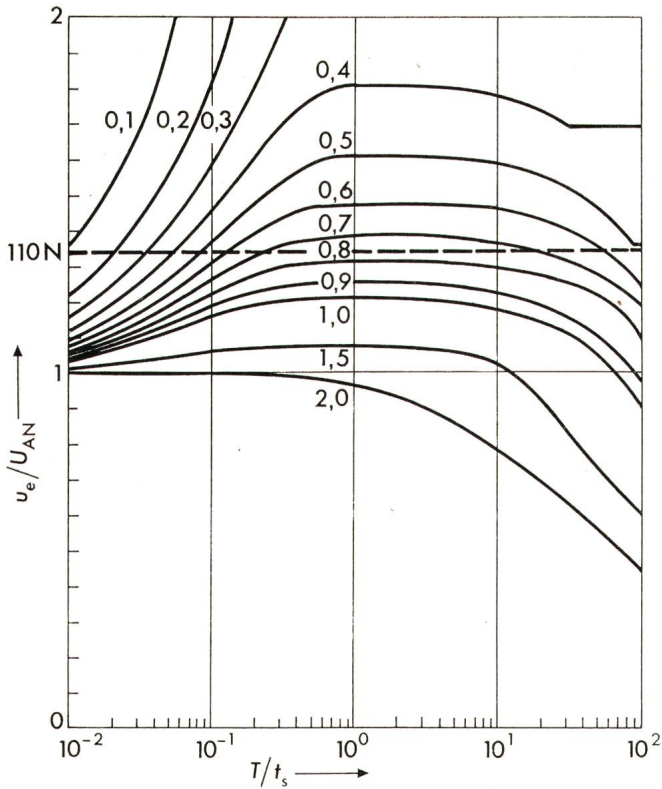


Fig. 8 Diagramm zur Bestimmung des Schutzbereiches
 $Z_1/Z_2 = 5$, $t_s/t_R = 1/300$, Parameter U_{AN}/U_0

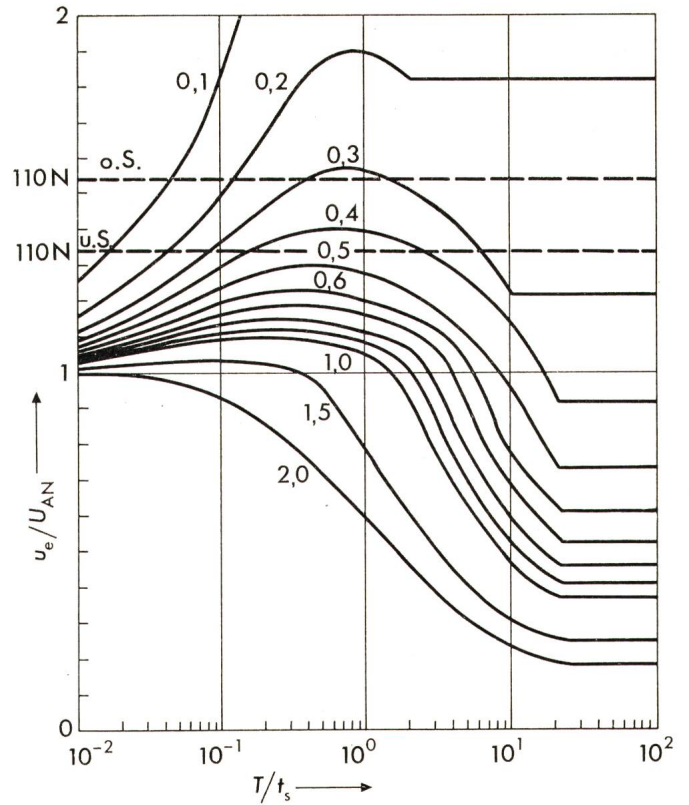


Fig. 9 Diagramm zur Bestimmung des Schutzbereiches
 $Z_1/Z_2 = 10$, $t_s/t_R = 1/20$
 o. S.: Dimensionierung nach oberem Stosspegel von 630 kV
 u. S.: Dimensionierung nach unterem Stosspegel von 550 kV

5 in dieser Darstellungsweise, die ein direktes Ablesen des Schutzbereiches erlaubt. Dies sei anhand von Fig. 6 für die Isolationsklasse 110 N erläutert.

Der Überspannungsableiter möge nach VDE 0675 (5.7)2 eine 100%-Blitzstoss-Ansprechspannung von 410 kV (1,2/50 μ s) haben. Der untere Stosspegel ist 550 kV, der obere 630 kV. Betrachtet wird wieder der Übergang Freileitung-metallgekapselter Rohrleiter mit $Z_1/Z_2 = 5$. Als Zeitnormierungsfaktor sei $t_s = 1 \mu$ s gewählt. Dann gilt Fig. 6 für eine Wellenform von 1/20 μ s und die Laufzeit der Leitungen ist dann ebenfalls in Einheiten von μ s. Der Schutzbereich des Ableiters bezüglich des metallgekapselten Rohrleiters ist festgelegt durch das Verhältnis

$$u_{e \max}/U_{AN} = 550 \text{ kV}/410 \text{ kV} = 1,34.$$

Dieser Wert ist in Fig. 6 durch eine horizontale unterbrochene Linie markiert. Für jeden Wert von U_{AN}/U_0 kann der Schutzbereich abgelesen werden. Da die einlaufende Welle bei einem Ferneinschlag maximal einen Scheitelwert U_0 von der Grösse des Isolationspegels der Freileitung erreichen kann, der bei 550 kV liegen soll, sind nur Werte von $U_{AN}/U_0 \geq 0,75$ möglich. Das bedeutet, dass der Schutzbereich bei einer Stossform von 1/20 unendlich gross ist.

Bei einem erhöhten Isolationspegel der Freileitung ergibt sich ein Bereich einer kritischen Rohrlänge, in dem ein Schutz durch einen Ableiter allein nicht mehr möglich ist. Wird als Isolationspegel 800 kV gewählt, so ist ein Verhältnis $U_{AN}/U_0 \geq 0,51$ möglich. In diesem Fall versagt bei einer Rohrlaufzeit $T > 0,09 \mu$ s der Schutz durch den Ableiter, und erst ab Laufzeiten von 6 μ s setzt der Selbstschutz ein. Hieraus ergibt

sich für metallgekapselte Rohrleiter bei einer Wellenform 1/20 μ s ein kritischer Bereich von 27 bis 1800 m, wobei die untere Grenze durch die Stirnzeit der Welle, die obere durch die Rückenhalbwertszeit festgelegt ist, und somit vom Zeitnormierungsfaktor t_s abhängen. In diesem kritischen Längenbereich ist ein ausreichender Schutz nur durch einen zweiten Ableiter möglich, der am Rohrende angeordnet ist. Bei grösseren Rückenhalbwertszeiten verschiebt sich die obere Grenze der kritischen Rohrlänge zu grösseren Laufzeiten, wie Fig. 8 für eine Wellenform 1/300 bei sonst gleichen Bedingungen zeigt.

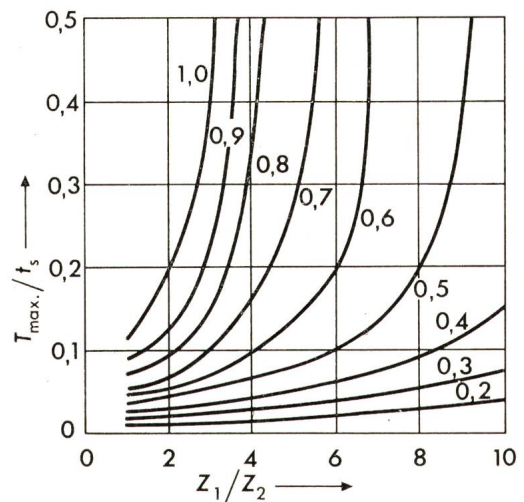


Fig. 10 Normierter Schutzbereich T_{\max}/t_s als Funktion des Wellenwiderstandsverhältnisses Z_1/Z_2 für die Wellenform 1/200
 Parameter U_{AN}/U_0

5. Vergleich der Schutzbereiche von unterschiedlichen Abzweigen

Für einen ableitergeschützten Freileitungsabgang gibt es nach Fig. 7 nur eine untere Grenze für den Schutzbereich. Bei einer Pegelung der vorgelagerten Freileitung von 550 kV und 1 μ s Stirnzeit der Welle ist der Schutzbereich 20 m, bei einer Pegelung von 800 kV nur 12 m.

Da die Dimensionierung von Kabeln nach dem oberen Stosspegel erfolgt, gilt $u_{e\max}/U_{AN} = 630\text{ kV}/410\text{ kV} = 1,54$.

Nach Fig. 9 ergibt sich dann bei $Z_1/Z_2 = 10$ und gleicher Wellenform 1/20 wie bisher, dass $U_{AN}/U_0 \geq 0,31$ sein muss. Selbst bei einem Isolationspegel der Freileitung von 1,3 MV ist dann der Schutzbereich unendlich gross. Würde die Dimensionierung nach dem unteren Stosspegel erfolgen, so wäre für die Freileitung immer noch ein Pegel von 900 kV zulässig.

Im folgenden soll allein die untere Grenze der maximal zulässigen Leitungslänge bei einer Dimensionierung nach dem unteren Stosspegel betrachtet werden. In Fig. 10 ist der normierte Schutzbereich T_{\max}/t_s als Funktion des Wellenwiderstandsverhältnisses dargestellt mit U_{AN}/U_0 als Parameter. Die einlaufende Welle hat die ungünstigere Form 1/200.

Günstiges Verhalten zeigt ein Kabelabgang mit $Z_1/Z_2 = 10$, bei dem bereits bei $U_{AN}/U_0 \geq 0,45$ der Schutzbereich unendlich gross ist, d. h. selbst bei einem Stosspegel der Freileitung von 900 kV genügt ein Ableiter an der Stoßstelle beider Leitungen.

Bei einem metallgekapselten Abgang mit $Z_1/Z_2 = 5$ ist bei $U_{AN}/U_0 \geq 0,75$ der Schutzbereich unendlich gross, d. h. bei normaler Pegelung der 110-kV-Freileitung von 550 kV.

Sehr ungünstiges Verhalten zeigt ein Freileitungsabgang mit $Z_1/Z_2 = 1$. Bei normaler Pegelung der Freileitung ist der Schutzbereich nur 12 m gross, wenn $t_s = 1\ \mu$ s ist.

6. Schlussfolgerung

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass durch einen Ferneinschlag nur ungefährliche Überspannungen in einem Kabelabzweig und einem metallgekapselten Abzweig entstehen können, da die vorgelagerte Freileitung entsprechend ihrem Isolationspegel die Amplitude der einlaufenden Welle begrenzt. Ausserdem spricht der Ableiter immer bei seiner Nennansprechspannung an, da Erdeinfluss und Korona die Stirnzeit der Welle vergrössern. Gefährliche Überspannungen können nur in einem Freileitungsabgang entstehen oder in einem gekapselten Abgang, wenn für die Freileitung ein erhöhter Isolationspegel gewählt wird.

Literatur

- [1] G. Pfeiffer und B. Koch: Ermittlung des Überspannungsschutzes von Energieversorgungsanlagen mit Hilfe von Digitalrechnern. *Energietechnik* 18(1968)10, S. 462...465.
- [2] G. Pfeiffer und B. Koch: Überspannungen am offenen Ende eines Leitungsabzweiges in ableitergeschützten Durchgangsstationen. *Wissensch. Zeitschr. der Techn. Hochschule Ilmenau* 14(1968)3, S. 295...300.
- [3] W. Waste: Überspannungsbeanspruchung von Stationen bei Kabeleinführungen. Eine Literaturübersicht. *Technischer Bericht der Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen* -(1959)192.
- [4] W. Boeck: Metallgekapselte UHV-Schaltanlagen. *ETZ-A* 92(1971)12, S. 698...702.

Adresse des Autors

Dipl.-Ing. G. Brauner, Institut für Hochspannungs- und Messtechnik der TH Darmstadt, Schlossgraben 1, D-6100 Darmstadt.

Harry Ward Leonard 1861–1915

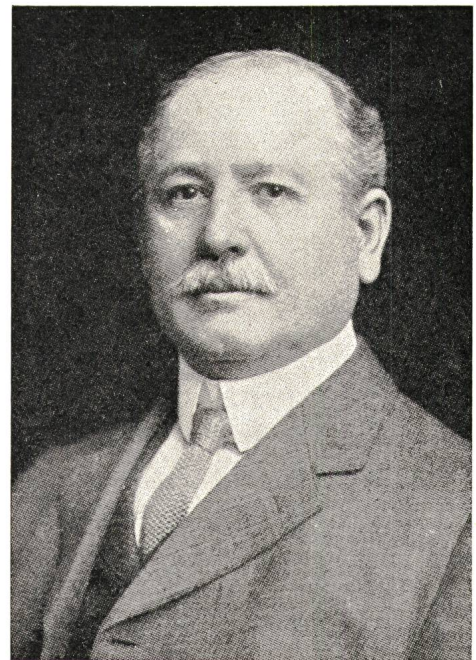
Wenn Sie in einem Hochhaus dem Lift entsteigen und sich über die rasche und stossfreie Fahrt freuen, dann ist es wahrscheinlich, dass dieser Aufzug einen «Ward-Leonard Antrieb» besitzt. Darunter versteht man eine aus Drehstrommotor, Gleichstromgenerator und Erreger bestehende Gruppe, die den Gleichstromantriebsmotor speist. Diese Schaltung wurde 1891 von H.W. Leonard angegeben.

Harry Ward Leonard wurde am 8. Februar 1861 in Cincinnati als Sohn eines Kaufmanns englischer Abstammung geboren. (Sein zweiter Vorname ist der Mädchennamen seiner Mutter.) Er studierte von 1879 bis 1883 am Massachusetts-Institute of Technology und trat darauf seine erste Stelle bei Edison an, wo er bei der Erstellung «elektrischer Zentralstationen» in den wichtigsten Städten des Landes mithalf. 1888 wurde er Chef der Western Electric Light Company in Chicago. Kurz darauf gründete er mit einem Associé die Firma Leonard & Izard, die aber schon im folgenden Jahr von der Edison-General-Electric aufgekauft wurde. 1894 eröffnete er in der Nähe New Yorks die noch heute bestehende Ward-Leonard Electric Company zur Ausbeutung seiner eigenen Erfindungen. Dazu gehörten u. a. ein Zugbeleuchtungssystem, bei dem eine von der Lokomotive aus gespiesene, im unmittelbar folgenden Gepäckwagen installierte kleine Dampfmaschine einen Generator antrieb, an die die ganze Zugbeleuchtung angeschlossen war. Eine der wichtigsten Erfindungen war dann die erwähnte Ward-Leonard Schaltung, die ausser für Aufzüge in Hochhäusern, für Antriebe von Walzwerken und Papiermaschinen noch heute üblich ist, erlaubt sie doch unter Vermeidung von grossen Verlusten einen ausserordentlich weiten Regelbereich der Drehzahl.

Unter seinen über 100 Patenten seien noch die Rekuperationsbremse für Bahnen und Grubenaufzüge, sowie die Vielfachsteuerung für Gleichstrombahnen erwähnt. Die letztere erlaubte eine Rationalisierung der Vorortbahnen, indem die von einem einzigen Lokführer der Stammlinie geführten Züge an den Verzweigungspunkten aufgeteilt und von dort aus getrennt bemannt wurden. Dabei wurden sowohl für die Teilstüge wie für den langen Zug eine grosse Beschleunigung erreicht.

Leonard entwickelte auch den Beleuchtungsdynamo und den Anlasser für Automobile. Er empfing viele Ehrungen; war von 1893–1895 Vizepräsident des American Institute of Electrical Engineers und eine Zeitlang Gemeindepräsident von Bronxville, wo früher seine Fabrik stand. Am 18. Februar 1915 starb er während eines Essens der AIEE in New York. Nachkommen hatte er keine.

H. Wüger



James T. White + Co., Clifton (NJ)