

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegraфи svizzeri
Herausgeber:	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
Band:	32 (1954)
Heft:	8
Artikel:	Das Verhalten von Schmelzsicherungen bei Stossströmen = Le comportement des fusibles sous des courants de chocs
Autor:	Meister, H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-874484

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: 23.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN
BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Das Verhalten von Schmelzsicherungen bei Stoßströmen

Von H. Meister, Bern

Le comportement des fusibles sous des courants de chocs

Par H. Meister, Berne

621.316.923

Zusammenfassung. Der Schutz von Telephonanlagen gegen Blitzschäden ist besonders in Gebirgsgegenden und im Tessin ein schwieriges Problem. Das Verhalten von Schmelzsicherungen unter den bei Gewittern auftretenden Stoßströmen ist dabei von grundlegender Bedeutung.

Der Autor untersucht die Bedingungen, unter welchen Sicherungen bei Gewittern abschmelzen können und den Einfluss von Induktivitäten auf den Verlauf der Stoßströme.

1. Einleitung

Die Telephonanlagen in gewitterreichen Gegenden sind oft Störungen und Beschädigungen durch Blitzschläge ausgesetzt. Da die Freileitungen besonders gefährdet sind, werden sie durch die seit langer Zeit eingeführten Sicherungen und Spannungsableiter geschützt (Fig. 1). Beim Abonnenten und in der Kabel-

Résumé. La protection des installations téléphoniques contre les dommages causés par la foudre pose un problème difficile à résoudre, en particulier dans les régions montagneuses et au Tessin. Le comportement des fusibles sous les courants de chocs se produisant lors des orages est d'une importance fondamentale.

L'auteur de cet article examine les conditions dans lesquelles les fusibles peuvent fondre lors d'orages et l'influence d'inductances sur le parcours des courants de chocs.

1. Introduction

Dans les régions où les orages sont nombreux, les installations téléphoniques sont souvent exposées à des dérangements et à des dommages causés par les coups de foudre. Les lignes aériennes étant spécialement mises en danger, elles sont protégées par les coupe-circuit et les parafoudres adoptés depuis longtemps (fig. 1). Chez l'abonné et au point de transition aéro-souterrain, on intercale dans la ligne des fusibles à courant de fonctionnement de 3 A (Ag 0,085 mm), au central une cartouche thermique de 0,5 A.

Comme parafoudre chez l'abonné et au point de transition aéro-souterrain, on emploie normalement des parafoudres à charbon qui, pour une distance d'éclatement de 0,15 à 0,2 mm, présentent une tension de fonctionnement de 1300 à 1600 volts (mesurée sous un choc de 1 μ s de durée frontale et de 50 μ s de durée de la valeur moyenne – le « choc normal de 1/50 »).

Lorsque le danger est particulièrement grand (longues lignes aériennes traversant des régions où les orages sont nombreux), on remplace les parafoudres à charbon par des parafoudres à gaz rare dont, cependant, seuls les nouveaux types (préionisés) offrent un avantage certain. Leur tension de fonctionnement varie entre 700 et 800 volts sous un choc et entre 220 et 270 volts sous une tension continue. L'ancien

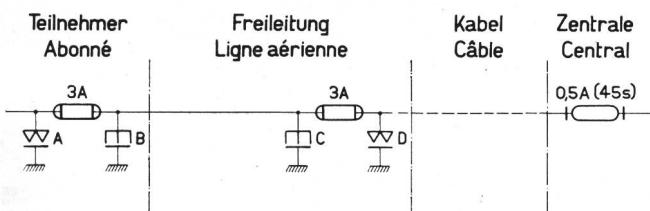


Fig. 1. Sicherungseinrichtungen eines oberirdischen Teilnehmeranschlusses.

Die Funkenstrecken B und C sind auf eine Ansprech-Gleichspannung von etwa 3...4,5 kV eingestellt. A und D sind normalerweise Kohlenableiter mit etwa 1,3 kV Ansprechspannung; für besondere Fälle werden Edelgasableiter verwendet mit 250 V Ansprech-Gleichspannung und 750 V Stoß-Ansprechspannung.

Dispositifs de sécurité d'un raccordement aérien d'abonné. Les éclateurs B et C sont réglés pour une tension continue de fonctionnement de 3 à 4,5 kV environ. A et D sont des parafoudres à charbon ordinaires à tension de fonctionnement de 1,3 kV environ; dans des cas spéciaux, on emploie des parafoudres à gaz rare à 250 volts de tension continue de fonctionnement et à 750 volts de tension de fonctionnement de choc.

überführung sind Schmelzsicherungen mit einem Ansprechstrom von 3 A ($\text{Ag} = 0,085 \text{ mm}$), in der Zentrale eine sogenannte Hitzdrahtpatrone, das heisst eine Schmelzlotssicherung mit grosser Zeitkonstante und einem Ansprechstrom von 0,5 A, eingesetzt.

Als Ableiter beim Abonnenten und in der Kabelüberführung werden normalerweise Kohlenableiter verwendet, die bei einer Funkenstrecke von 0,15...0,2 mm eine Ansprechspannung von 1300...1600 V aufweisen (gemessen mit einem Stoss von 1 μs Frontdauer und 50 μs Halbwertsdauer – dem «Normalstoss 1/50»).

In Fällen von besonderer Gefährdung (lange Freileitungen in gewitterreichen Gegenden) treten an Stelle der Kohlenableiter Edelgasableiter, von denen jedoch nur die neuen Typen (vorionisiert) einen Vorteil bieten. Ihre Ansprechspannung beträgt bei Stoss 700...800 V, bei Gleichspannung 220...270 V. Die alte Ausführung der Edelgasableiter weist eine Zündverzögerung bis zu einigen μs auf, so dass Stoss-Ansprechspannungen von einigen kV die Regel sind. Der Schutz der Zentrale erfordert eine Stromsicherung, die bei einer Berührung der Telephonleitung mit einer Niederspannungsleitung anspricht. Die früher verwendeten Schmelzsicherungen mit kleinem Ansprechstrom hatten jedoch die unangenehme Eigenschaft, dass bei Gewittern grosse Mengen dieser Sicherungen auslösten, ohne dass dies zum Schutz der Anlagen unbedingt nötig gewesen wäre. Der Ersatz durch Hitzdrahtpatronen lag deshalb nahe. Leider benötigen die bis jetzt möglichen Konstruktionen eine Heizleistung von etwa 1 W, um ein Auslösen nach ungefähr 30...60 s zu gewährleisten. Für einen Schutz der Linien- und Speiserelais wäre jedoch eine Hitzdrahtpatrone mit einem Ansprechstrom von 150 mA erforderlich, der einem Widerstand von etwa 40 Ω je Sicherung entspricht. Dieser Wert ist aber aus übertragungstechnischen Gründen unzulässig, und man war deshalb gezwungen, Hitzdrahtpatronen mit einem Nennstrom von 0,5 A einzuführen, die jedoch ein Relais nicht schützen, sondern erst auslösen, wenn durch die infolge Verkohlung der Isolation gebildeten Kurzschlusswindungen der Widerstand der Wicklung so stark sinkt, dass der Ansprechstrom überhaupt erreicht wird. Damit wird wenigstens der Ausbruch eines Brandes verhütet.

Es besteht deshalb der Wunsch, wieder zu den gewöhnlichen Schmelzsicherungen zurückzukehren, die auch bei kleinen Ansprechströmen mit verhältnismässig kleinen Widerständen ausgeführt werden können.

In diesem Zusammenhang interessiert das Verhalten von Sicherungen bei Belastung durch Ströme atmosphärischen Ursprungs.

2. Spannungen und Ströme in Freileitungen

Messungen von Blitzströmen wurden schon verschiedentlich durchgeführt. Aus einer Arbeit von *K. Berger*¹⁾ geht hervor, dass ein Blitz aus einem oder

¹⁾ *K. Berger*. Neuere Resultate der Blitzforschung in der Schweiz. Bull. SEV 38 (1947), S. 813...823.

modèle de parafoudre à gaz rare a un retard d'amorçage allant jusqu'à quelques μs , de sorte que des tensions de fonctionnement de chocs de quelques kV constituent la règle générale. La sécurité du central exige un coupe-circuit qui fonctionne lorsque la ligne téléphonique entre en contact avec une ligne à basse tension. Les fusibles à faible courant de fonctionnement utilisés auparavant avaient la fâcheuse propriété de fondre en grandes quantités au cours des orages, sans que cela fût absolument nécessaire pour protéger les installations. C'est pourquoi il était tout indiqué de les remplacer par des cartouches thermiques. Malheureusement, les modèles actuellement disponibles ont besoin d'une puissance de chauffage de 1 watt environ, pour garantir un déclenchement après 30 à 60 secondes environ. Pour protéger les relais de ligne et d'alimentation, il serait toutefois indispensable d'avoir une cartouche thermique à courant de fonctionnement de 150 mA correspondant à une résistance de 40 ohms environ par coupe-circuit. Mais cette valeur est, pour des raisons techniques de transmission, inadmissible et c'est pourquoi on a été obligé d'adopter des cartouches thermiques à courant nominal de 0,5 A qui ne protègent pas le relais, mais déclenchent uniquement lorsque le court-circuit résultant de la carbonisation de l'isolement fait baisser à tel point la résistance de l'enroulement que le courant atteint la valeur de fonctionnement. Au moins, les incendies sont ainsi évités.

C'est pourquoi on désire revenir aux fusibles ordinaires qui peuvent même être fabriqués pour de faibles courants de fonctionnement, avec des résistances assez basses.

A ce sujet, il est intéressant d'étudier comment se comportent les fusibles sous une charge provoquée par des courants d'origine atmosphérique.

2. Tensions et courants sur les lignes aériennes

A maintes reprises, on a déjà fait des mesures de courants d'éclairs. Une étude de *K. Berger*¹⁾ montre qu'un éclair se compose d'un ou de plusieurs (jusqu'à plus de 10) chocs de courant dont la courbe correspond à peu de chose près au «choc normal de 1/50» (fig. 2), ainsi que d'un courant dit constant

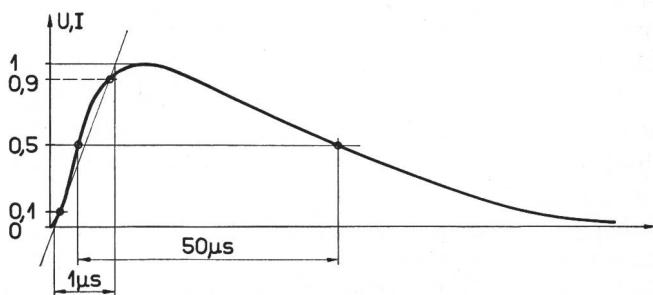


Fig. 2. Zeitlicher Verlauf des Normalstosses 1/50
Courbe du choc normal de 1/50

¹⁾ *K. Berger*. Neuere Resultate der Blitzforschung in der Schweiz. Bull. SEV 38 (1947), pages 813 à 823.

mehreren (bis über 10) Stromstößen, deren zeitlicher Verlauf angenähert dem «Normalstoss 1/50» entspricht (Fig. 2), sowie einem unterlagerten sogenannten Dauerstrom besteht, der einige 100 ms dauern und einen Wert von über 1000 A erreichen kann.

Die Amplitude der Stoßströme kann in seltenen Fällen 100 kA überschreiten; der Mittelwert liegt bei etwa 12 kA. Bei einem direkten Blitzschlag in eine Leitung teilt sich der Strom, so dass auf jede Seite die Hälfte fliesst. Die Spannung zwischen einer längeren Leitung und Erde ergibt sich mit dem Wellenwiderstand von etwa 500Ω zu 3000 kV für einen Blitz mit 12 kA Scheitelwert. Da die Überschlagsspannung für Holzstangen etwa 300...600 kV/m beträgt, so entsprechen die 3000 kV auch angenähert dem grösstmöglichen Wert der Spannung zwischen Freileitung und Erde; bei höheren Spannungen werden die Masten überschlagen. Bei kleinem Abstand der Leitung von geerdeten Teilen (auch Stangenanker) tritt ein Überschlag bei wesentlich niedrigeren Spannungen ein.

Häufiger als direkte Einschläge in Leitungen sind induzierte Spannungen, die jedoch 100 kV nicht überschreiten können und demgemäß keine Ströme von mehr als etwa 200 A bewirken.

Diese Überlegungen zeigen, dass direkte Einschläge eine ausserordentlich hohe Beanspruchung der Schutzeinrichtungen mit sich bringen. Die genannten Stromwerte werden naturgemäß überschritten, wenn der Einschlag in der Nähe eines Überführungspunktes erfolgt. Dann kann praktisch der ganze Strom den Weg über die Schutzeinrichtung nehmen.

Es wird deshalb sehr schwierig sein, unsere Anlagen mit einiger Sicherheit gegen direkte Einschläge zu schützen. Eine wesentliche Reduktion der Spannung liesse sich durch 1...3 Funkenstrecken auf der Freileitung in gegenseitigen Abständen von einigen hundert Metern vor der Kabelüberführung oder dem Teilnehmeranschluss erzielen, unter der Voraussetzung, dass ihre Erdung keinen grössem Widerstand als etwa 20Ω besitzt. Das kann leider in Gebieten mit schlechter Bodenleitfähigkeit nur mit einem bestimmten Aufwand erzielt werden, wenn nicht eine natürliche Erdelektrode (Wasserleitung) zur Verfügung steht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Stoßströme von einigen 1000 bis einigen 10 000 A bei direkten Blitzschlägen und von höchstens etwa 200 A bei induzierten Spannungen auftreten können; die dabei entstehenden Spannungen erreichen Werte bis zu einigen MV bei direkten Blitzschlägen und einigen 10 kV bei induzierten Überspannungen. Daneben bestehen naturgemäß die sogenannten Dauerströme, die ihrer Natur nach den Gesetzen der Gleichstromtechnik gehorchen und deren Einfluss wir in dieser Arbeit nicht näher betrachten, obwohl sie von grosser Bedeutung sind.

sousjacents qui peut durer quelques centaines de millisecondes et atteindre une valeur de plus de 1000 A.

L'amplitude des courants de chocs peut, dans de rares cas, dépasser 100 kA; sa valeur moyenne est de l'ordre de 12 kA. Lorsqu'un coup de foudre direct atteint la ligne, le courant se sépare de sorte que chaque côté en reçoit la moitié. La tension entre une longue ligne et la terre pour une impédance caractéristique de 500 ohms est d'environ 3000 kV pour un éclair dont la valeur de crête atteint 12 kA. La tension de contournement des poteaux en bois variant entre 300 et 600 kV/m, les 3000 kV correspondent à peu de chose près à la valeur la plus grande possible de la tension entre la ligne aérienne et la terre; lorsque les tensions sont plus élevées, les poteaux sont contournés. Quand la distance entre la ligne et les parties mises à la terre (haubans de poteaux également) est petite, une décharge se produit pour des tensions réellement basses.

Les tensions induites sont plus fréquentes que les coups de foudre directs sur les lignes; mais elles peuvent ne pas dépasser 100 kV et, par conséquent, ne produisent pas de courants de plus de 200 A environ.

Ces considérations montrent que les coups de foudre directs provoquent une charge extraordinairement élevée des dispositifs de protection. Les valeurs de courant susmentionnées sont naturellement dépassées lorsque le coup de foudre se produit dans le voisinage d'un point de transition aéro-souterrain. Le courant total peut alors pratiquement emprunter le chemin au delà du dispositif de protection.

C'est pourquoi il sera très difficile de protéger d'une manière quelque peu efficace les installations téléphoniques contre les coups de foudre directs. On arriverait à réduire sensiblement la tension en installant 1 à 3 éclateurs sur la ligne aérienne à des distances réciproques de quelque cent mètres avant le point de transition aéro-souterrain ou le raccordement de l'abonné, à condition que leur terre ne possède pas une résistance supérieure à 20 ohms environ. Dans les régions où la conductivité du sol est mauvaise, on ne peut obtenir ce résultat qu'en faisant une certaine dépense, lorsqu'on ne dispose pas d'une électrode de terre naturelle (conduite d'eau).

En résumé, on peut dire que des courants de chocs de quelques 1000 à quelques 10 000 A peuvent apparaître lorsqu'il s'agit de coups de foudre directs, et de 200 A environ au maximum lorsqu'il s'agit de tensions induites; les tensions en résultant atteignent des valeurs allant jusqu'à quelques MV pour les coups de foudre directs et jusqu'à quelques 10 kV pour les surtensions induites. En outre, il existe les courants permanents qui, d'après leur nature, suivent les lois de la technique du courant continu et dont, dans cette étude, nous n'examinerons pas plus en détail l'influence, bien qu'elle ait une grande importance.

3. Spannungen und Ströme in Kabeln

Am Übergang von der Freileitung auf das Kabel tritt infolge der Stoßstelle eine gewisse Spannungssenkung ein. Die verbleibende Spannung ist jedoch in den weitaus meisten Fällen noch so hoch, dass mit der Durchschlagsspannung der Elemente des Stromkreises gerechnet werden muss.

Die Spannung am Kabeleingang beträgt demnach bei Kohlenspannungsableitern maximal etwa 1,6 kV und bei neuen Edelgasableitern 800 V. Bei alten Edelgasableitern und steilen Stößen kann sie die Isolationsfestigkeit des Kabels, die für Stoss bei 2...5 kV liegt, erreichen.

Mit Spannungen bis zu 5 kV muss auch am Eingang der Zentrale gerechnet werden, weil unter ungünstigen Verhältnissen das Ansprechen des Ableiters am Überführungspunkt das Kabel nicht auf die ganze Länge schützt. Die maximale Amplitude des Stoßstromes am Zentraleneingang beträgt deshalb bei einem Wellenwiderstand der Kabelader von 100Ω (bei Rückleitung durch die Erde) 50 A.

Die Behandlung der Ausbreitung von Stößen in Kabeln ist einer späteren Arbeit vorbehalten.

4. Verhalten von Schmelzsicherungen bei grossen Strömen

Die Berechnung der Abschmelzzeit eines Schmelzdrahtes von bekanntem Durchmesser und Material lässt sich einfach mit genügender Genauigkeit durchführen, wenn die Abschmelzzeit höchstens 100 ms beträgt. Bei längeren Zeiten hängt die Sicherungskennlinie weitgehend von der Konstruktion der Sicherung ab, so dass eine Berechnung nicht mehr ohne weiteres möglich ist.

Die zur Berechnung erforderlichen Daten für Silberdraht (Mittelwerte zwischen 20° und Schmelzpunkt) sind:

c :	Spezifische Wärme	0,068 cal/g°
$\Delta\vartheta$:	Temperaturdifferenz bis Schmelzpunkt	940°
Q :	Schmelzwärme	25 cal/g
d :	Drahtdurchmesser in mm	
γ :	Spezifisches Gewicht	10,5 g/cm³
ϱ :	Spezifischer Widerstand	0,046 Ω mm²/m
I :	Strom in A	
t :	Schmelzzeit in s	

Daraus berechnet sich die Sicherungskonstante zu

$$K = I^2 t = \frac{(c \Delta \vartheta + Q) \pi^2 \gamma}{16 \cdot 0,239 \cdot \varrho} d^4 \quad (1)$$

Für Silber wird

$$K = I^2 t = 5,24 \cdot 10^4 d^4 \quad (2)$$

Aus (2) lässt sich für einen bekannten Drahtdurchmesser die Abschmelzzeit bei hohen Strömen berechnen. Für die Sicherung der Kabelüberführungspunkte (Ansprechstrom 3 A, $d = 0,085$ mm) wird $K = 2,75 \text{ A}^2 \text{ s}$. Die Sicherung schmilzt demnach bei 10 A in 27,5 ms, bei 100 A in 0,275 ms und bei 1000 A

3. Tensions et courants dans les câbles

Au passage de la ligne aérienne au câble souterrain, une certaine chute de tension apparaît par suite du centre de réflexion. Mais la tension résiduelle est dans la plupart des cas encore si élevée qu'il faut compter avec la tension d'amorçage des éléments du circuit.

La tension à l'entrée du câble est, par conséquent, au maximum de 1,6 kV environ pour les parafoudres à charbon et de 800 volts pour les parafoudres à gaz rare. Lorsqu'il s'agit d'anciens parafoudres à gaz rare et de chocs raides, elle peut atteindre la rigidité diélectrique du câble qui pour des chocs varie entre 2 et 5 kV.

Il faut également compter avec des tensions allant jusqu'à 5 kV à l'entrée du central, parce que, dans des conditions défavorables, le fonctionnement du parafoudre au point de transition aéro-souterrain ne protège pas le câble sur toute sa longueur. C'est pourquoi l'amplitude maximum du courant de choc à l'entrée du central est de 50 A pour une impédance caractéristique des conducteurs du câble de 100 ohms (le retour se faisant par la terre).

Une étude ultérieure traitera de la propagation des chocs dans les câbles.

4. Comportement des fusibles sous des courants élevés

On peut calculer avec une précision suffisante le temps de fusion d'un fil fusible dont on connaît le diamètre et la matière, lorsque le temps de fusion est de 100 ms au maximum. Quand les temps sont plus élevés, la caractéristique du fusible dépend dans une large mesure de la construction du coupe-circuit, de sorte qu'il n'est plus possible de faire un calcul sans autre.

Les caractéristiques pour le fil d'argent nécessaires à l'établissement du calcul (valeurs moyennes entre 20 degrés et le point de fusion) sont:

c :	chaleur spécifique	0,068 cal/g°
$\Delta\vartheta$:	différence de température	
	jusqu'au point de fusion	940 degrés
Q :	chaleur de fusion	25 cal/g
d :	diamètre du fil en mm	
γ :	poids spécifique	105 g/cm³
ϱ :	résistance spécifique	0,046 Ω mm²/m
I :	courant en A	
t :	tension de fusion s	

D'où on obtient la constante du fusible de

$$K = I^2 t = \frac{(c \Delta \vartheta + Q) \pi^2 \gamma}{16 \cdot 0,239 \cdot \varrho} d^4 \quad (1)$$

Pour l'argent, on aura

$$K = I^2 t = 5,24 \cdot 10^4 d^4 \quad (2)$$

La formule (2) permet de calculer le temps de fusion sous des courants élevés pour un diamètre de fil connu. Pour les fusibles des points de transition aéro-souterrains (courant de fonctionnement 3 A,

in $2,75 \mu\text{s}$ durch. Der für 1 s berechnete Strom entspricht ziemlich genau dem Grenzwert des Ansprechstromes. Als Annäherung kann deshalb das Verhalten von Sicherungen mit unbekanntem Drahtdurchmesser bei hohen Strömen berechnet werden, indem man K bestimmt aus dem Ansprechstrom und 1 s Ansprechzeit zugrundelegt. Die so erhaltenen Werte streuen natürlich und gelten nicht für Sonderkonstruktionen (flinke und träge Sicherungen).

5. Beanspruchung der Sicherungen durch die Stoßströme

Für die Beanspruchung der Sicherungen durch Stoßströme ist der Energieinhalt der Stöße massgebend. Wir können daher ohne weiteres die Frontdauer von $1 \mu\text{s}$ vernachlässigen und rechnen zur Vereinfachung mit einem Stoss 0/50, der folgender Funktion entspricht:

$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

für eine Halbwertsdauer von $50 \mu\text{s}$ ($\tau = 72 \mu\text{s}$) also:

$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{72 \cdot 10^6}}$$

Daraus berechnet sich

$$K = \int_0^\infty i^2 dt = I^2 \cdot \frac{\tau}{2} = I^2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-5}$$

Eine Sicherung mit einem Abschmelzstrom von 3 A (Kabelüberführung) wird deshalb bei einem einzelnen Stoss von 275 A Amplitude durchschmelzen. Berücksichtigt man jedoch die Tatsache, dass ein Blitz aus einer grösseren Anzahl von Stössen bestehen kann, und rechnet man mit 10 Stössen, deren Energie sich in der Sicherung addiert, so genügt eine Amplitude von 88 A je Stoss zum Auslösen der Sicherung. Es zeigt sich demnach, dass die Sicherung einer Kabelüberführung schon bei induzierten Spannungen auslösen kann.

Das An sprechen des Ableiters in einem Überführungspunkt bedingt jedoch nicht, dass auch die Sicherung durchschmilzt.

Für die Betrachtung der Verhältnisse an den Zentralenklemmen legen wir die grösstmögliche Spannung zugrunde. Sie beträgt, entsprechend der Durchschlagsspannung der Kabel, bei Stoss etwa 5 kV. Diese Spannung, die der Zentrale über den asymmetrischen Wellenwiderstand des Kabels von 100Ω zugeführt wird, hat in der Hauptverteilersicherung einen Strom zur Folge, der stark von der Impedanz der Zentrale abhängt.

6. Ruhestellung einer Teilnehmerausrüstung

Die Sprechleiter sind, je nach Zentralentyp, über Widerstände oder Relais von wenigstens 500Ω an Erde (Batterie) gelegt. Da die Impedanz der Linienrelais im interessierenden Bereich ($2 \dots 250 \text{ kHz}$) grösser ist als $5 \text{ k}\Omega$, so genügt es, den Strom im Widerstand zu berechnen.

$d = 0,085 \text{ mm}$), on aura $K = 2,75 \text{ A}^2 \text{ s}$. Par conséquent, le fusible fond en $27,5 \text{ ms}$ sous 10 A , en $0,275 \text{ ms}$ sous 100 A et en $2,75 \mu\text{s}$ sous 1000 A . Le courant calculé pour 1 s correspond assez exactement à la valeur limite du courant de fonctionnement. C'est pourquoi, par approximation, on peut calculer le comportement de fusibles à diamètre de fil inconnu sous des courants élevés, en prenant pour base K déterminé d'après le courant de fonctionnement, et 1 s de temps de fonctionnement. Les valeurs ainsi obtenues divergent naturellement et ne font pas règle pour des constructions spéciales (fusibles rapides et à fusion retardée).

5. Charge des fusibles par les courants de chocs

Le contenu d'énergie des chocs détermine la charge des fusibles par des courants de chocs. C'est pourquoi nous pouvons sans autre négliger la durée frontale de $1 \mu\text{s}$; pour simplifier, nous calculons donc avec un choc de 0/50 qui correspond à la fonction suivante:

$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

pour une durée de demi-valeur de $50 \mu\text{s}$ ($\tau = 72 \mu\text{s}$), soit:

$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{72 \cdot 10^6}}$$

D'où on obtient

$$K = \int_0^\infty i^2 dt = I^2 \cdot \frac{\tau}{2} = I^2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-5}$$

Donc un fusible à courant de fusion de 3 A (point de transition aéro-souterrain) fondera sous un seul choc de 275 A d'amplitude. Mais si l'on considère le fait qu'un éclair peut se composer d'un grand nombre de chocs, et que l'on compte avec 10 chocs dont l'énergie s'additionne dans le fusible, une amplitude de 88 A par choc suffit pour déclencher le fusible. On voit par là que le fusible d'un point de transition aéro-souterrain peut déjà se déclencher sous des tensions induites.

Le fonctionnement du parafoudre dans un point de transition aéro-souterrain n'implique pas nécessairement le fait que le fusible fonde aussi.

Pour examiner les conditions aux bornes du central, nous nous basons sur la tension la plus grande possible. Elle est, selon la tension d'amorçage des câbles, de 5 kV environ sous le choc. Cette tension, qui est amenée au central par l'intermédiaire de l'impédance caractéristique asymétrique du câble de 100 ohms, provoque au coupe-circuit du distributeur principal un courant qui dépend grandement de l'impédance du central.

6. Position de repos d'un dispositif d'abonné

Les conducteurs de conversation sont, suivant le type de central, mis à la terre (batterie) à travers des résistances ou des relais de 500 ohms au moins.

Bei 5 kV Scheitelwert beträgt die Amplitude des Stromes in einem Widerstand von 500 Ω = 8,33 A.

$$K = \int_0^\infty i^2 dt = I^2 \cdot \frac{\tau}{2} = 0,0025 \text{ A}^2 \text{ s}$$

Eine Sicherung mit normaler Kennlinie und einem Ansprechstrom von 150 mA erträgt deshalb etwa 10 Stöße mit der maximal möglichen Spannung. Unter dem Einfluss der Stoßströme ist demnach ein Abschmelzen einer Sicherung höchst unwahrscheinlich (siehe auch Fig. 3).

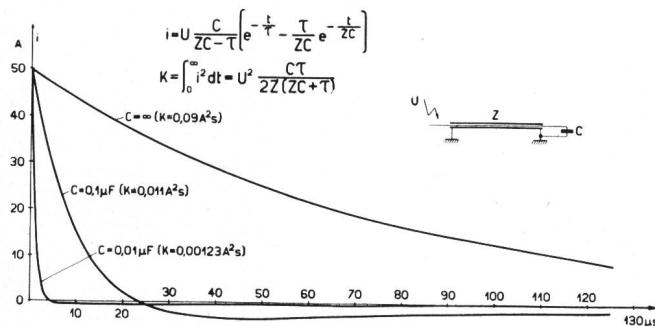


Fig. 3. Zeitlicher Verlauf des Stromes am Ende eines langen Kabels, das mit einer Kapazität abgeschlossen ist.

Spannung: Stoss 0/50 von 5 kV Scheitelwert.
Wellenwiderstand des Kabels: 100 Ohm.

Die Rechnung zeigt, dass der Ladestrom der konzentriert angenommenen Multipelkapazität einer Zentrale ($< 0,01 \mu\text{F}$) nicht zum Ansprechen einer Sicherung führen kann

Courbe du courant à l'extrémité d'un long câble terminé par une capacité.

Tension: choc de 0/50 de 5 kV de valeur de pointe.

Impédance caractéristique du câble: 100 ohms.

Le calcul montre que le courant de charge de la capacité d'un central ($< 0,01 \mu\text{F}$) n'est pas suffisant pour provoquer le fonctionnement d'un fusible

Die Erfahrung mit Schmelzsicherungen in den alten Hauptverteilern zeigte jedoch, dass bei Gewittern die Sicherungen oft in grösserer Zahl auslösten. Diese Auslösungen können zwei verschiedene Ursachen haben:

- Der Auslösung muss ein Überschlag in der Zentrale vorausgegangen sein, so dass der Strom nur durch den Wellenwiderstand des Kabels begrenzt wird.
- Die Auslösungen können durch den sogenannten Dauerstrom des Blitzes ausgelöst worden sein.

Es liegen keine Messungen vor, die einen Schluss auf die Häufigkeit der einen oder andern Ursache ermöglichen. Wir beschäftigen uns jedoch in dieser Arbeit nur mit Stoßströmen und beschränken uns daher auf die Möglichkeit a.

Ein Durchschlag in der Zentrale ergibt eine maximale Stromspitze von 50 A und somit

$$K = 0,09 \text{ A}^2 \text{ s}$$

L'impédance des relais de ligne dans le cas qui nous intéresse (2 à 250 kHz) étant supérieure à 5 k Ω , il suffit de calculer le courant dans la résistance.

Pour 5 kV de valeur de pointe, l'amplitude du courant dans une résistance est de 500 ohms = 8,33 A.

$$K = \int_0^\infty i^2 dt = I^2 \cdot \frac{\tau}{2} = 0,0025 \text{ A}^2 \text{ s}$$

Un fusible à caractéristique normale et à courant de fonctionnement de 150 mA supporte donc environ 10 chocs de la tension la plus grande possible. Il est par conséquent tout à fait invraisemblable qu'un fusible fonde sous l'influence des courants de chocs (voir aussi fig. 3).

L'expérience faite avec les fusibles dans les anciens distributeurs principaux a toutefois montré que, pendant les orages, les fusibles fondent souvent en grand nombre. Ces déclenchements peuvent avoir deux causes différentes:

- La fusion doit être précédée d'une décharge dans le central, de sorte que le courant n'est limité que par l'impédance caractéristique du câble.
- Les fusions peuvent être déclenchées par le courant dit constant de l'éclair.

Il n'existe aucune mesure qui permette de conclure qu'une cause est plus fréquente que l'autre. Mais, dans cette étude, nous ne nous occupons que des courants de chocs et nous limitons, par conséquent, à la première possibilité.

Une charge disruptive dans le central produit une pointe de courant maximum de 50 A et ainsi

$$K = 0,09 \text{ A}^2 \text{ s}$$

Un fusible à courant de fusion de 0,15 A fond déjà sous un choc de 2,5 kV de valeur de pointe, de sorte qu'il est plausible que les fusibles fondent sans autre lors de chaque orage, la rigidité diélectrique de l'équipement du central permettant des décharges pour des tensions de cet ordre de grandeur.

7. Influence d'inductances séries

Un courant de choc de courte durée peut être amorti par des inductances, ce qui rend plus petite la «valeur effective» du courant.

Examinons l'influence d'une inductance sur un courant de choc qui s'écoule sous l'influence d'un courant normal de 5 kV de valeur de pointe par un circuit équivalent qui est formé de l'impédance caractéristique du câble (100 ohms) et d'inductances de différentes grandeurs.

De l'équation fondamentale

$$iZ + L \frac{di}{dt} = U e^{-\frac{t}{\tau}}$$

on obtient

$$i = U \frac{\tau}{\tau Z - L} \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{Z}{L}t} \right)$$

Eine Sicherung mit einem Abschmelzstrom von 0,15 A schmilzt schon bei einem Stoß von 2,5 kV Scheitelwert, so dass die Wahrscheinlichkeit eines Sicherungsabbrandes bei jedem Gewitter ohne weiteres gegeben ist, da die Isolationsfestigkeit der Zentralenausrüstung Überschläge bei Spannungen dieser Größenordnung zulässt.

7. Einfluss von Längsinduktivitäten

Ein Stoßstrom von kurzer Dauer kann durch Induktivitäten abgeflacht werden, wodurch der «Effektivwert» des Stromes kleiner wird.

Den Einfluss einer Induktivität untersuchen wir an einem Stoßstrom, der unter dem Einfluss eines Normalstosses von 5 kV Scheitelwert durch eine Ersatzschaltung fliesst, die aus dem Wellenwiderstand des Kabels (100Ω) und Induktivitäten verschiedener Größe gebildet ist.

Aus der Grundgleichung

$$iZ + L \frac{di}{dt} = U e^{-\frac{t}{\tau}}$$

erhält man

$$i = U \frac{\tau}{\tau Z - L} \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{Z}{L} t} \right)$$

Die Wirkung einer Induktivität auf den zeitlichen Verlauf des Stromes ist in Figur 4 ersichtlich. Figur 4b zeigt die Oszillogramme für 0, 3, 10 und 100 mH, die mit den errechneten Werten gut übereinstimmen.

Schon aus dem Stromverlauf ist ersichtlich, dass zur Verflachung des Stosses erhebliche Induktivitäten nötig sind.

Das für das Ansprechen der Sicherung massgebende K beträgt

$$K = \int_0^\infty i^2 dt = U^2 \frac{\tau^2}{2Z(L + Z\tau)}$$

Daraus berechnet man folgende Werte für einen Stoß von 5 kV Scheitelwert und einen Wellenwiderstand des Kabels von 100Ω :

L	0	3	10	30	100	mH
K	0,09	0,064	0,038	0,0175	0,00606	$A^2 s$
K	100	71	42,2	19,5	6,7	%

Daraus folgt, dass Induktivitäten von etwa 100 mH je Draht eingeschaltet werden müssten, um eine ausreichende Reduktion der Ströme zu erzielen. Um die damit verbundene Dämpfung von etwa 1,3N bei 3,4 kHz zu vermeiden, müssten die Induktivitäten eines Aderpaars mit möglichst kleiner Streuung auf einen Kern gewickelt werden. Dabei müssen die Induktivitäten so dimensioniert werden, dass ihre Kerne durch die grossen auftretenden Ströme nicht gesättigt werden.

La figure 4 montre l'effet d'une inductance sur la courbe du courant et la figure 4b les oscillosogrammes pour 0,3, 10 et 100 mH qui concordent exactement avec les valeurs obtenues.

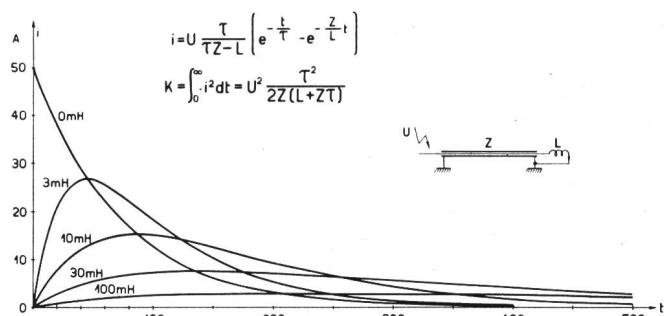


Fig. 4. Zeitlicher Verlauf des Stromes am Ende eines langen Kabels, das mit einer Induktivität abgeschlossen wird.

- a) gerechnet für Stoß 0/50 von 5 kV Scheitelwert.
- Courbe du courant à l'extrémité d'un long câble terminé par une inductance.
- a) calculée pour un choc de 0/50 dont la valeur de crête est de 5 kV.

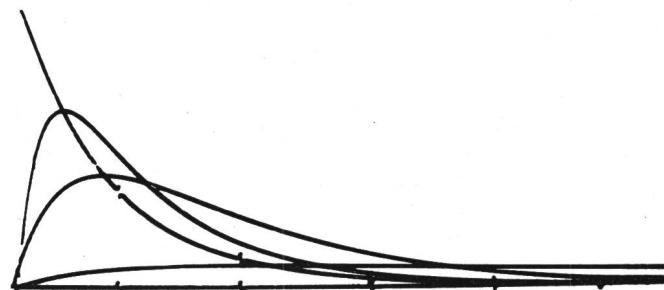


Fig. 4a, b) gemessen für Stoß 1/50 für $L = 0, 3, 10, 100 \text{ mH}$. Zeitmarken $100 \mu\text{s}$.

- b) mesurée pour un choc de 1/50 pour $L = 0, 3, 10, 100 \text{ mH}$. La base du temps est donnée par des impulsions de $100 \mu\text{s}$.

La courbe du courant indique déjà que des inductances élevées sont nécessaires pour amortir le choc.

La valeur K déterminante pour le fonctionnement du fusible est de

$$K = \int_0^\infty i^2 dt = U^2 \frac{\tau^2}{2Z(L + Z\tau)}$$

Cette formule permet de calculer les valeurs suivantes pour un choc de 5 kV de valeur de pointe et une impédance caractéristique de 100 ohms:

L	0	3	10	30	100	mH
K	0,09	0,064	0,038	0,0175	0,00606	$A^2 s$
K	100	71	42,2	19,5	6,7	%

Il s'ensuit que des inductances de 100 mH environ par fil devraient être intercalées pour qu'une réduction suffisante des courants soit obtenue. Pour que l'affaiblissement de 1,3 N environ pour 3,4 kHz qui en résulte ne se produise pas, les inductances d'une paire de conducteurs devraient être enroulées sur un noyau à dispersion aussi faible que possible. Les inductances doivent avoir des dimensions telles que

Es zeigt sich, dass die Einschaltung von Induktivitäten offenbar wirtschaftlich nicht tragbar ist.

Schaltet man zwischen die Grobfunkentstrecke und die Schmelzsicherung eines Kabelüberführungspunktes eine Induktivität, so entsteht nach Ansprechen des Ableiters infolge der steilen Stromfront eine grosse Spannung an der Induktivität, wodurch die Grobfunkentstrecke ansprechen kann und die Schmelzsicherung entlastet ist. Eine Induktivität von etwa $40 \mu\text{H}$ wirkt bei Steilheiten von mehr als $100 \text{ A}/\mu\text{s}$, wenn die Grobfunkentstrecke auf 4 kV eingestellt ist.

Diese Massnahme erfordert eine Änderung der Sicherungskästen und ist praktisch noch nicht erprobt.

leurs noyaux ne soient pas saturés par les grands courants qui surviennent.

On voit que l'adjonction d'inductances n'est pas avantageuse, économiquement parlant.

En intercalant entre l'éclateur du coupe-circuit et le fusible d'un point de transition aéro-souterrain une inductance, on obtient une tension élevée à l'inductance par suite du front raide du courant après le fonctionnement du parafoudre, ce qui permet à l'éclateur du coupe-circuit de fonctionner sans que le fusible soit détérioré. Une inductance de $40 \mu\text{H}$ environ réagit pour des pentes de plus de $100 \text{ A}/\mu\text{s}$, lorsque l'éclateur du coupe-circuit est réglé à 4 kV.

Cette mesure exige une modification des armoires de protection, et n'a pas encore été essayée pratiquement.

Stand der Entwicklung und Verarbeitung von Kunststoffen *)

Von G. Suhner, Herisau

679.5

Die Kunststoffe und das Wissen um deren Eigenschaften und Verarbeitung sind heute so verbreitet, dass es nicht einfach ist, Fachleuten der Elektrobranche in einem Kurzreferat über dieses weite Gebiet zu berichten, ohne dass einfach Bekanntes wiederholt wird oder dass man sich in technischen Einzelheiten verliert, die nur wenige interessieren. Das Referat setzt daher das Grundlegende als bekannt voraus und beschränkt sich auf die folgenden Punkte: Eine übersichtliche Darstellung der Entwicklung und der Produktion, eine praktisch bewährte Systematik, Behandlung der wichtigsten Kunststoffe und Verarbeitungsmethoden. Dabei sollen besonders die in der Elektrotechnik gebräuchlichen Materialien hervorgehoben werden und chemische Zusammenhänge unberücksichtigt bleiben.

Die Kunststoffe sind, trotz ihres Namens, längst keine Ersatzstoffe mehr. Diese Tatsache ist zu einem Teil das Verdienst der erfahrenen, seriösen Verarbeiter, die – nur scheinbar gegen ihre eigenen Interessen – in der stürmischen Entwicklung immer wieder bremsen und die Verarbeiter davon abhalten mussten, Kunststoffe dort einzusetzen, wo sie sich nicht eigneten. Der materialgerechte Einsatz ist auch heute noch von grösster Bedeutung. Er wird sogar um so wichtiger, je rascher die Entwicklung fortschreitet und je lauter von allen möglichen Seiten das Hohelied der Kunststoffe gesungen wird, weil dadurch die Übersicht allzu leicht verlorengeht. Trotz dieses Vorbehaltens dürfen wir heute ohne Übertreibung vom Zeitalter der Kunststoffe sprechen.

Ein Blick auf Figur 1 soll dies bestätigen. Die hyperbolische Kurve stellt die Welterzeugung an Kunststoffen, exklusive Kautschuk, in den letzten 50 Jahren dar, ferner die Hauptträger der Entwicklung, welche die Kurve progressiv nach oben gesteuert

haben, und zwar von etwa 0,02 Millionen Tonnen im Jahre 1900 auf 1,6 Millionen Tonnen, also das nahezu 100fache, im Jahre 1953.

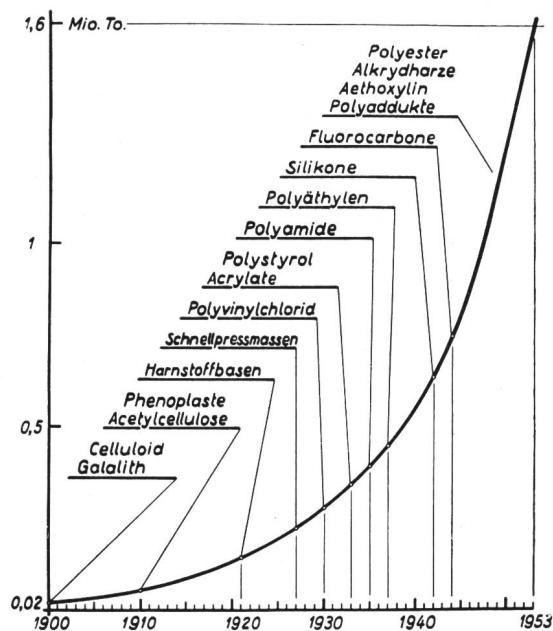


Fig. 1. Welterzeugung von Kunststoffen

Bis 1910 waren im wesentlichen nur Zelloid- und Kaseinkunststoffe bekannt; dann traten die Phenolpressmassen auf und das Zelluloseazetat als Spritzguss-, Film- und Plattenmaterial. Ein weiterer Schritt waren 1921 die Harnstoffharze, während die für die Technik wichtigeren Melaminharze erst seit 15 Jahren bekannt sind. Ein bedeutendes Ereignis war 1927 die Einführung der Schnellpressmassen, welche erst die bisher üblichen Hartgummi- und Asphaltpressmassen zu verdrängen vermochten und die Begriffe Kunstarz und Kunststoff richtig populär machten. Die weitere Entwicklung verlagerte sich nun mehr

*) Vortrag, gehalten an der 13. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik in St. Gallen, am 18. Juni 1954.