

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 47 (1969)

Heft: 10

Artikel: Überspannungsschutz an oberirdischen Fernmeldeleitungen = Protection des lignes téléphoniques aériennes contre les surtensions

Autor: Meister, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874096>

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: 03.05.2026

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

Überspannungsschutz an oberirdischen Fernmeldeleitungen

Protection des lignes téléphoniques aériennes contre les surtensions

Hans MEISTER, Bern

621.316.93:621.315.1

Zusammenfassung. In dieser auf die praktische Anwendung ausgerichteten Arbeit, werden die Auswirkungen von Blitzen auf oberirdische Fernmeldeleitungen und eine erfolgreiche neue Schutzkonzeption für die angeschlossenen Apparate und Erdkabel besprochen.

Résumé. Le présent article, destiné à l'usage pratique, traite des effets de la foudre sur les lignes téléphoniques aériennes et d'une nouvelle conception de protection efficace des appareils et des câbles souterrains qui leur sont raccordés.

Protezione delle linee aeree delle telecomunicazioni da sovratensioni

Riassunto. Il presente articolo, destinato all'applicazione pratica, discute le manifestazioni delle scariche atmosferiche sulle linee aeree delle telecomunicazioni e l'efficace nuova concezione per proteggere gli apparecchi ed i cavi sotterranei allacciati.

Unter den etwas schwerfälligen Begriff «oberirdische Leitungen» fallen die klassischen, aus blanken Drähten bestehenden Freileitungen und die Luftkabel mit Aderisolation und Mantel aus Thermoplast. Der rasche Ausbau unseres Erdkabelnetzes lässt bisweilen vergessen, dass die Gesamtlänge unseres oberirdischen Netzes ungefähr 80 000 km Leitungen bei 37 000 km Trasseelänge umfasst. Die Ausdehnung des oberirdischen Netzes hat bisher stetig, wenn auch langsam zugenommen. Wenn es auch nur noch einen kleinen Anteil am gesamten Leitungsnetz darstellt, so werden oberirdische Leitungen doch auf lange Zeit hinaus in dünnbesiedelten Gebieten unentbehrlich bleiben.

Diese Leitungen sind oft wegen ihrer topographischen Lage verhältnismässig stark blitzgefährdet. Der Entstörungsdienst an den angeschlossenen Teilnehmereinrichtungen erfordert wegen deren oft schlechten Zugänglichkeit einen unverhältnismässig grossen Aufwand, auch müssen die Teilnehmer zeitweise längere Betriebsunterbrüche als Folge von Gewitterstörungen in Kauf nehmen. Dem Überspannungsschutz oberirdischer Anlagen kommt deshalb grosse Bedeutung zu.

1. Bisherige Schutzeinrichtungen für Freileitungen

Damit wir bei der Diskussion der verschiedenen Einflüsse auf Freileitungen gleich deren betriebliche Auswirkungen überblicken können, ist es zweckmässig, den Aufbau der bis jetzt verwendeten Schutzeinrichtungen zu kennen. *Figur 1* zeigt den grundsätzlichen Aufbau. Der Überspannungsschutz wird im Normalfall durch Kohleüberspannungsableiter («Kohleblitzplatten») übernommen. Diese Ableiter haben eine Stossansprechspannung, die zwischen 1,2 und 1,8 kV liegt. Ihre Konstruktion sichert einen Überschlag durch Luft, so dass auch nach mehrfachem Ansprechen der Isolationswiderstand nicht absinkt. In dieser Beziehung sind unsere Kohleableiter zahlreichen ausländischen Ausführungen, die nach jedem Ansprechen ausgewechselt werden müssen, überlegen. Ihr grosser Nachteil liegt in der Ansprechspannung, die nicht mit der Prüfspannung der Kabel (die zwischen den Adern nur 500 V_{eff} beträgt) koordiniert ist. Die Spekulation, dass die Durchschlagsspannung der Kabel zwischen den Adern in Wirk-

Lorsqu'on parle de «lignes aériennes», on entend naturellement les lignes aériennes classiques en fils nus et les câbles aériens avec isolation des conducteurs et gaine en thermoplaste. Devant l'extension rapide du réseau des câbles souterrains, on a parfois tendance à oublier que le réseau aérien porte sur une longueur totale de quelque 80 000 km de lignes pour un tracé de 37 000 km. Jusqu'ici, il n'a cessé, quoique lentement, de s'agrandir et, même s'il ne tient plus qu'une petite place dans ce vaste édifice, les lignes aériennes resteront encore longtemps indispensables dans les régions à population clairsemée.

Etant donnée leur situation topographique, ces lignes sont souvent exposées plus que de raison aux coups de foudre. Le service de réparation des dérangements affectant les installations d'abonné desservies par ces lignes impose nécessairement, du fait qu'il est souvent difficile de se rendre sur place, des dépenses démesurément élevées; aussi les abonnés doivent-ils parfois supporter de longues interruptions de service provoquées par les orages. C'est pourquoi la protection des installations aériennes revêt une grande importance.

1. Dispositifs de protection actuels des lignes aériennes

Lorsque nous discutons des différentes influences qui s'exercent sur les lignes aériennes, nous devons également être au fait des répercussions que cela entraîne sur l'exploitation. Il est donc indiqué de connaître la construction, dont le principe est reproduit à la *figure 1*, des dispositifs de protection employés jusqu'ici. La protection contre les surtensions est normalement assurée par des parafoudres à charbon dont la tension d'amorçage aux chocs varie entre 1,2 et 1,8 kV. Leur construction assure un claquage dans l'air, de sorte que, même après plusieurs amorçages, la résistance d'isolement ne diminue pas. Sous ce rapport, nos parafoudres à charbon sont supérieurs à de nombreux modèles étrangers qui doivent être échangés après chaque amorçage; mais leur tension d'amorçage n'est pas coordonnée à la tension d'essai des câbles (qui n'est que de 500 V_{eff} entre les conducteurs), ce qui est un grand inconvénient. Il serait aberrant de prétendre que la tension de

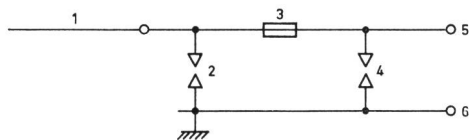


Fig. 1

Bisher verwendete Schutz Einrichtung für Freileitungsanschlüsse (für 1 Draht gezeichnet)

Dispositif de protection employé jusqu'ici pour les raccordements desservis par lignes aériennes (dessiné pour 1 fil)

- 1 Freileitung – Ligne aérienne
- 2 Grobfunkenstrecke – Eclateur à forte intensité
- 3 Sicherung (3 A Grenzstrom) – Coupe-circuit (3 A d'intensité critique)
- 4 Kohlespannungsableiter – Parafoudre à charbon
- 5 Teilnehmerapparat oder Kabelader – Poste d'abonné ou conducteur de câble
- 6 Betriebsberdung der Teilnehmerinstallation (wenn nötig) – Terre de service de l'installation d'abonné (si nécessaire)

lichkeit höher sei als die Prüfspannung, wäre wohl nur für jenen haltbar, der bereit wäre, seinen Optimismus durch eine entsprechende Prüfspannungsvorschrift zu dokumentieren. Da die Aderisolation bei papierisolierten Adern vorwiegend aus Luft besteht, darf auch nicht mit einem nennenswerten Unterschied zwischen der dielektrischen Festigkeit bei 50 Hz und bei Stoss gerechnet werden. Die hohe Ansprechspannung der Ableiter hatte demnach auch zahlreiche Durchschläge der Aderisolation in der Nähe der Kabelüberführungsstangen zur Folge.

Man versuchte schon verhältnismässig früh, bei Leitungen, die besonders den Gewittereinwirkungen ausgesetzt sind, die Kohleableiter durch Edelgasableiter zu ersetzen. Der früher verwendete Typ hatte jedoch eine wesentlich höhere Stossansprechspannung als die Kohleableiter.

Auf der Leitungsseite des Ableiters liegt eine Schmelzsicherung, die bei einem Dauerstrom von 3 A auslöst. Bei kurzzeitiger Belastung schmilzt die Sicherung durch, wenn $\int i^2 dt = 2,75 \text{ A}^2\text{s}$ erreicht.

Ein Scheitelwert von 275 A eines Stosses der Form 1/50 ($1 \mu\text{s}$ Stirnzeit und $50 \mu\text{s}$ Halbwertzeit) genügt für das Durchschmelzen der Sicherung.

Die Sicherung, die kein Löschmittel (zum Beispiel Quarzsand) enthält, kann nur verhältnismässig kleine Ströme ausschalten. Erreicht die Spannung über der unterbrochenen Sicherung mehr als 1000 V oder treten grosse Ströme auf, so bleibt der Lichtbogen mit grosser Wahrscheinlichkeit stehen. Der Lichtbogen wird löschen, wenn die Telephonleitung eine Niederspannungsleitung berührt, aber nicht, wenn ein kräftiger Stossstrom fliesst.

Vor der Sicherung liegt eine Grobfunkenstrecke, die erst bei einigen kV anspricht, und die lediglich die Aufgabe hat,

perforation des câbles entre les conducteurs est réellement plus élevée que la tension d'essai, car il serait indispensable d'étayer cette prétention par des prescriptions appropriées sur la tension d'essai. Etant donné que l'air est le principal isolant des conducteurs isolés au papier, il n'est pas non plus question de compter avec une notable différence entre la rigidité diélectrique à 50 Hz et au choc. De ce fait, la tension d'amorçage élevée des parafoudres a aussi provoqué de nombreuses perforations de l'isolation des conducteurs au voisinage des poteaux de transition aéro-souterraine.

D'assez bonne heure déjà, on a essayé de remplacer les parafoudres à charbon par des parafoudres à gaz rare sur les lignes qui sont particulièrement exposées aux dégâts dus aux orages. Mais le type employé primitivement avait une tension d'amorçage de choc nettement plus élevée que les parafoudres à charbon. Le côté ligne du parafoudre est protégé par un coupe-circuit à fusible qui fonctionne sous un courant permanent de 3 A. Lorsque la charge est de brève durée, le coupe-circuit fond si $\int i^2 dt$ atteint $2,75 \text{ A}^2\text{s}$. Une tension de crête de 275 A d'un choc 1/50 (temps de montée: $1 \mu\text{s}$, durée de mi-amplitude: $50 \mu\text{s}$) suffit à faire fondre le coupe-circuit.

S'il ne contient aucune matière d'extinction (par exemple sable de quartz), le coupe-circuit ne peut arrêter que des courants d'assez faible intensité. Lorsque la tension aux bornes du coupe-circuit interrompu est supérieure à 1000 V ou que des courants de forte intensité apparaissent, il est quasi certain que l'arc subsistera; il s'éteindra si la ligne téléphonique entre en contact avec une ligne à basse tension, mais non si un puissant courant de choc s'écoule.

Le coupe-circuit est précédé d'un éclateur à forte intensité qui n'amorce qu'à quelques kV et a uniquement pour fonction, lorsque le coupe-circuit a fondu, d'empêcher un claquage du câble d'introduction contre terre.

Ce dispositif se trouve chez l'abonné, à un endroit protégé de l'installation (généralement à l'intérieur du bâtiment), et est désigné par «coupe-circuit» ce qui n'est pas très heureux. Au point de transition, les coupe-circuit sont logés dans une armoire placée à hauteur d'appui. Le câble d'introduction est tiré du dernier isolateur de la ligne au coupe-circuit et se compose de deux fils de cuivre de 1 mm de diamètre à isolation en polyéthylène protégés par une gaine commune de même matière. Les parafoudres sont mis à la terre à la gaine du câble sous plomb au point de transition et en général à la conduite d'eau dans l'installation intérieure d'abonné. Ceux qui ont une tension d'amorçage de choc suffisamment petite peuvent préserver les appareils et les câbles de dommages, s'ils sont reliés sans impédance notable en parallèle à l'isolation exposée aux dégâts.

nach dem Abschmelzen der Sicherung einen Durchschlag vom Einführungskabel gegen Erde zu verhindern.

Die beschriebene Einrichtung befindet sich beim Teilnehmer an geschützter Stelle (meistens im Gebäudeinnern) und wird, nicht sehr glücklich, als «Grosicherung» bezeichnet. An der Kabelüberführungsstange sind die Sicherungseinrichtungen in einem Kasten in Brusthöhe angebracht. Vom letzten Isolator bis zu der Sicherungseinrichtung führt das Einführungskabel, das aus zwei Kupferdrähten von 1 mm Durchmesser mit Polyäthylenisolation und einem gemeinsamen Mantel aus dem gleichen Material besteht. Die Ableiter sind bei der Kabelstange am Mantel des Bleikabels und bei der Teilnehmeranlage im allgemeinen an der Wasserleitung geerdet. Ableiter mit ausreichend kleiner Stossansprengung können Schäden in den Apparaten und Kabeln verhüten, falls sie impedanzarm parallel zu der gefährdeten Isolation geschaltet werden.

2. Wirkung von Blitzen auf Freileitungen

Vielfach begegnet man dem Begriff der «statischen Aufladung» einer Freileitung. Ein Objekt kann sich aber nur statisch aufladen, wenn es von Erde isoliert ist, was bei unsern Freileitungen, die nur noch für Teilnehmeranschlüsse dienen, nicht der Fall ist. Zwischen Leitung und Erde sind längerdauernde, nennenswerte Spannungen nicht möglich. Überspannungen und mit diesen verbundene Ströme in Freileitungen und Luftkabeln können unter der Einwirkung von Gewittern nur auftreten bei Blitzen in der Umgebung der Freileitung oder natürlich bei direkten Einschlägen. Die indirekten Einwirkungen von Blitzen können auf die raschen Änderungen des elektromagnetischen Feldes oder auf Spannungsabfälle im Boden bei Erdblitzern zurückgeführt werden.

Es ist nicht das Ziel dieser Arbeit, die verschiedenen Einflüsse theoretisch zu untersuchen, wir beschränken uns auf die Betrachtung der auffallendsten und der häufigsten Ursache von Störungen.

2.1 Direkte Einschläge

Bei direkten Einschlägen treten oft mehr oder weniger grosse örtliche Schäden auf, so können Freileitungsdrähte zerrissen oder abgeschmolzen, Stangen zersplittert und Isolatoren weggerissen werden. Den gleichen Zerstörungen sind Thermoplast-Luftkabel ausgesetzt, ein einzelner Blitz kann die Zerstörung eines Abschnittes von mehreren 100 m Länge bewirken. Es ist sehr schwierig, mit erträglichem Aufwand das Ausmass dieser Schäden wesentlich zu reduzieren. In besonders exponierten Fällen könnten Erdungsdrähte aus verzinktem Eisen von etwa 4 mm Durchmesser, die vom Stangenkopf bis zur Erde geführt sind und von denen

2. Effet des coups de foudre sur des lignes aériennes

Il arrive fréquemment qu'on trouve l'expression «charge statique» d'une ligne aérienne. Un objet ne peut cependant se charger statiquement que s'il est isolé de la terre, ce qui n'est pas le cas des lignes téléphoniques aériennes qui ne desservent plus que des raccordements d'abonné. Il n'est pas possible d'avoir des tensions importantes de longue durée entre la ligne et la terre. Les surtensions et les courants qui en dérivent sur les lignes et câbles aériens ne peuvent se produire, sous l'influence d'orages, que lorsque la foudre tombe à proximité de la ligne aérienne ou, ce qui va de soi, lorsque les coups de foudre sont directs. Les effets indirects de la foudre peuvent se ramener aux modifications rapides du champ électromagnétique ou aux chutes de tension dans le sol.

Il n'est pas dans notre intention de procéder, dans le cadre du présent article, à une analyse théorique des différentes influences; aussi nous bornerons-nous à étudier la cause la plus marquante et la plus fréquente des dérangements.

2.1 Coups de foudre directs

Lorsque les coups de foudre sont directs, il se produit souvent des dommages locaux plus ou moins grands: fils de ligne aérienne arrachés ou fondus, poteaux brisés et isolateurs cassés. Les câbles aériens à enveloppe thermoplastique sont exposés aux mêmes destructions, un seul coup de foudre pouvant anéantir une section de plusieurs centaines de mètres de longueur. Mais il est très difficile de réduire notablement l'ampleur de ces dégâts avec des dépenses supportables. Dans les endroits particulièrement exposés, on pourrait éviter que les poteaux ne se brisent en posant des fils de terre en fer zingué d'environ 4 mm de diamètre du sommet du poteau jusqu'à terre et en introduisant dans le sol un bout de quelque 2 m de long comme électrode de terre.

Etant donné que la tension de claquage entre les fils de ligne aérienne et le conducteur de mise à la terre est relativement petite (tout au plus quelque 200 kV au lieu de plusieurs MV pour un poteau en bois), les dégâts causés aux fils de ligne et aux équipements terminaux seraient sensiblement moins importants. Cette mesure est un peu plus hypothétique pour les câbles aériens que pour les lignes. En effet, le chiffre 2.2 fait ressortir que, le long de la ligne, il peut aussi se produire des claquages en retour lorsque la rigidité diélectrique entre le sol et la ligne est affaiblie par les conducteurs de terre des poteaux. Mais le courant qui s'écoule sur les fils est nettement plus petit que lorsqu'il s'agit d'un coup de foudre direct, de sorte qu'il n'y a pas lieu de

ein etwa 2 m langes, im Boden verlegtes Stück als Erder genügt, das Zersplittern der Stangen verhüten.

Durch die verhältnismässig kleine Überschlagespannung von den Freileitungsdrähten zum Erddraht (höchstens etwa 200 kV statt mehrere MV bei einer Holzstange) würde das Ausmass der Schäden an Leitungsdrähten und Endeinrichtungen wesentlich vermindert. Etwas problematischer als bei Freileitungen ist diese Massnahme bei Luftkabeln. Wie aus Abschnitt 2.2 hervorgeht, sind längs der Leitung auch Rücküberschläge vom Erdboden zur Leitung möglich, wenn die Isolationsfestigkeit zwischen Boden und Leitung durch Erdleiter an den Stangen herabgesetzt wird. Der Strom, der dann durch die Leitungsdrähte fliesst, ist aber wesentlich kleiner als bei einem direkten Einschlag, so dass bei einer Freileitung keine wesentlichen zusätzlichen Gefahren zu erwarten sind. Bei einem Thermoplast-Luftkabel besteht aber eine gewisse Gefahr des Durchschlages der Isolation. Die Erfahrung wird zeigen, ob sich nicht auch die Aufhängepunkte bei gewissen Kabelkonstruktionen als schwache Stellen erweisen könnten.

Bei besonders blitzgefährdeten Freileitungen würden Erddrähte an allen oder wenigstens an einem Teil der Stangen (etwa jeder dritten Stange) eine wesentliche Verringerung der Gefährdung bei direkten Einschlägen darstellen. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung wäre anhand der Störungsstatistik möglich. Eine allgemeine Einführung dieser Erddrähte kommt aber kaum in Frage.

Bei einem direkten Einschlag in die Freileitung in der Nähe eines Leitungsendes ist in der Teilnehmereinrichtung oder im Erdkabel mit sehr grossen Strömen zu rechnen, mit denen eine entsprechende Gefährdung von Apparaten und Kabeln verbunden ist. Bei grösserer Entfernung des Einschlagpunktes vom Leitungsende ist mit einem Überschlag an einer Stange zu rechnen, der allerdings bei Stangen ohne Anker oder ohne andere Elemente, die die Spannungsfestigkeit reduzieren, erst bei einer Spannung von einigen MV zu erwarten ist.

Direkte Einschläge sind aber verhältnismässig selten. Immerhin sind auf 100 km Stranglänge in jeder Gewittersaison durchschnittlich einige direkte Einschläge zu erwarten.

2.2 Spannungsabfälle im Erdboden

Weitaus der grösste Teil der Blitzschäden an unsern Anlagen ist auf die Spannungsabfälle im Boden zurückzuführen, die bei einem Blitzeinschlag auftreten. Das Potential im Abstand r von der Einschlagsstelle ist durch die Beziehung gegeben:

$$P = \frac{\rho I}{2 \pi r}$$

Daraus ergeben sich bei einem Strom von 50 kA folgende Potentiale, wobei $\rho = 100 \Omega\text{m}$ durchschnittlichem Boden

craindre des dangers supplémentaires importants pour la ligne aérienne. En revanche, le câble aérien à enveloppe thermoplastique est exposé à un certain danger de perforation de l'isolation. L'expérience montrera si les mâts de suspension de certaines constructions de câbles n'en seraient pas précisément les points faibles. Des fils de terre fixés à tous les poteaux ou tout au moins à une partie d'entre eux (par exemple un sur trois) feraient nettement diminuer le danger de coups de foudre directs sur les lignes aériennes particulièrement exposées. Il serait possible de calculer l'économie réalisée d'après la statistique des dérangements, mais il ne saurait être question de généraliser la pose de ces fils de terre.

Lorsqu'un coup de foudre direct frappe une ligne aérienne non loin d'une de ses extrémités, il est inévitable que des courants très élevés passent dans l'installation d'abonné ou le câble souterrain, mettant ainsi en danger les appareils et les câbles. Le point d'impact est-il très éloigné de l'extrémité de la ligne, il faut compter avec un claquage qui, sur un poteau non haubané ni pourvu d'autres éléments réduisant la rigidité diélectrique, ne se produira toutefois que sous une tension de quelques MV.

Il est vrai que les coups de foudre directs sont assez rares; néanmoins, il s'en produit en moyenne quelques-uns sur 100 km de longueur de tracé durant chaque saison orageuse.

2.2 Chutes de tension dans le sol

La part de loin la plus grande des dommages causés par la foudre aux installations téléphoniques revient aux chutes de tension dans le sol qui surviennent au moment d'un coup de foudre. Le potentiel à la distance r du point d'impact est donné par la relation:

$$U = \frac{\rho I}{2 \pi r}$$

En admettant un courant de 50 kA, on obtient les potentiels suivants d'après cette formule, dans laquelle $\rho = 100 \Omega\text{m}$ correspond à un sol moyen du Plateau et $\rho = 10\,000 \Omega\text{m}$ à un granite ou à un gneiss mauvais conducteurs.

r	10	30	100	300	1000	3000	m
P	100 Ωm	80	26,7	8	2,67	0,8	0,267 kV
	10 ⁴ Ωm	8000	2670	800	267	80	26,7 kV

On voit par là que, en terrain mauvais conducteur, les tensions atteignent des valeurs presque astronomiques même à de grandes distances du point d'impact [1].

im Mittelland und $\rho = 10\,000\ \Omega$ schlechtleitendem Granit oder Gneis entspricht:

Tabelle I.

r		10	30	100	300	1000	3000	m
P	100 Ω m	80	26,7	8	2,67	0,8	0,267	kV
	10 ⁴ Ω m	8000	2670	800	267	80	26,7	kV

Man sieht aus *Tabelle I*, dass die Spannungen bei schlechtleitendem Boden auch in grossen Entfernungen von der Einschlagsstelle fast astronomische Werte erreichen [1]. Unter dem Einfluss der Spannung zwischen den Endpunkten der Leitung sprechen die Überspannungsableiter an, es fliesst ein Strom durch die Leitung, der die knapp dimensionierten Sicherungen (Abschmelzstrom 3 A) zum Ansprechen bringt. Wie gross die Zahl der Betriebsstörungen ist, die auf Sicherungsunterbrüche zurückzuführen ist, geht daraus hervor, dass im Mittel der letzten drei Jahre durchschnittlich über 400 000 Sicherungen verbraucht wurden. Die Schmelzsicherungen tragen aber wegen ihres schlechten Lösungsverhaltens praktisch nichts zum Schutz der Anlagen (und besonders der Ableiter gegen Stossströme) bei; den zahlreichen Betriebsunterbrüchen steht demnach kein Aktivposten gegenüber.

3. Berührung der Telefonfreileitung mit einer Niederspannungsleitung

Kreuzungen zwischen Telefonfreileitungen und Niederspannungsleitungen lassen sich nur schwer vermeiden. Bei besondern Witterungsverhältnissen (beispielsweise Nassschneefall) kann durch Drahttrisse eine Berührung der beiden Netze eintreten. Diese Gefahr wird durch die zahlreichen Gemeinschaftsleitungen (Telephonleitungen auf den Stangen von Niederspannungsleitungen) wesentlich erhöht.

Fällt nun ein Phasenleiter einer Niederspannungsleitung auf eine Telefonfreileitung, so gerät diese unter eine Wechselspannung von 220 V (Effektivwert). Die Kohleableiter sprechen bei dieser Spannung nicht an. In einer einfachen Teilnehmerinstallation, deren Apparate keine Betriebserdung benötigen, treten dabei nicht unbedingt Schäden auf, da die Isolationsfestigkeit der Apparate beträchtlich über der Netzspannung liegt. Kritisch wird die Situation erst, wenn ein Teilnehmer versucht, seine gestörte Anlage durch Auswechseln von Sicherungen selbst wieder in Gang zu bringen. Er kann dabei nach Entfernen des Isolierstoffdeckels ohne weiteres mit dem Körper die Spannung zwischen der Teilnehmerleitung und dem Erdleiter überbrücken und setzt sich daher einer unmittelbaren Gefahr aus.

Les parasurtensions fonctionnent sous l'influence de la tension entre les extrémités de la ligne qui est parcourue par un courant amorçant les coupe-circuit aux dimensions insuffisantes (intensité de fusion de 3 A). La fusion des éléments de coupe-circuit provoque un nombre élevé de dérangements d'exploitation, ce que prouve la consommation moyenne de plus de 400 000 coupe-circuit de ces trois dernières années. Mais, du fait de leur capacité de déionisation insuffisante, les coupe-circuit à fusibles ne contribuent pratiquement pas à protéger les installations (en particulier les parasurtensions contre les courants de choc), mais provoquent de nombreuses interruptions du service.

3. Contact de la ligne téléphonique aérienne avec une ligne à basse tension

Il est extrêmement difficile d'éviter tous les croisements entre lignes téléphoniques aériennes et à basse tension. Lors de conditions atmosphériques particulières (par exemple chute de neige mouillée), des ruptures de fils peuvent provoquer des contacts entre les deux réseaux; les nombreuses lignes communes (lignes téléphoniques posées sur les poteaux des lignes à basse tension) augmentent encore sensiblement de danger.

Une ligne téléphonique aérienne, sur laquelle tombe un conducteur de phase d'une ligne à basse tension, est mise sous une tension alternative de 220 V (valeur effective), car les parafoudres à charbon ne fonctionnent pas à cette tension. Toutefois, cela ne produira pas nécessairement des dégâts à l'installation téléphonique simple d'abonné, dont les appareils sont exploités sans terre de service, vu que la rigidité diélectrique des appareils est bien supérieure à la tension du réseau. La situation ne devient critique que lorsque l'abonné tente de remettre lui-même son installation dérangée en service, en échangeant les fusibles. Ce faisant, il peut très bien avec son corps relier la tension de la ligne d'abonné au conducteur de terre et s'exposer ainsi à un danger immédiat.

Au central, le relais de ligne (en général 600 Ω) est soumis à la tension de phase complète. Etant donnée la part inductive de l'impédance du relais, le courant n'atteint pas la valeur qui est nécessaire au répartiteur principal pour déclencher le «coupe-circuit à fil thermique» (coupe-circuit à soudure fusible ayant un courant de déclenchement limite de 0,35 A). Le coupe-circuit n'interrompt le circuit que lorsque le relais est complètement brûlé et que, grâce aux nombreuses spires en court-circuit, la résistance est tombée bien au-dessous de la valeur initiale. Il n'est malheureusement pas possible de fabriquer des coupe-circuit à soudure

In der Zentrale wird das Linienrelais (im allgemeinen 600Ω) der vollen Phasenspannung ausgesetzt. Wegen des induktiven Anteils der Relaisimpedanz erreicht der Strom nicht den Wert, der zum Auslösen der «Hitzdrahtsicherung» (einer Schmelzlotsicherung mit einem Grenzauslösestrom von $0,35 \text{ A}$) im Hauptverteiler nötig ist. Die Sicherung unterbricht den Kreis erst, wenn das Relais vollständig verbrannt und dank der zahlreichen Kurzschlusswindungen der Widerstand auf einen Bruchteil des ursprünglichen Wertes gesunken ist; Schmelzlotsicherungen für kleinere Ströme lassen sich mit erträglichen Widerständen leider nicht herstellen, flinke Sicherungen aber verursachen zahlreiche Betriebsunterbrüche bei Gewittern, ohne dass sie Durchschläge oder Überschläge in der Zentrale verhüten könnten. Man hat daher beim neuen Hauptverteiler mit Recht auf den Einbau von Sicherungen verzichtet, dafür ist die Möglichkeit des Einbaus von Ableitern in besondern Fällen im Hauptverteiler vorgesehen, ausserdem wird der Schutz bei der Kabelführungsstange verbessert (s. Kapitel 6).

Die bisherigen Schutzeinrichtungen bieten also gegenüber einer Berührung zwischen einer Niederspannungsleitung und einer Telephonleitung keinerlei Schutz.

4. Berührung der Telephonfreileitung mit einer Hochspannungsleitung

Fällt ein zerrissener Phasenleiter einer Hochspannungsleitung auf eine Telephonfreileitung, so sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Bei einem Hochspannungsnetz mit starrer Sternpunktterdung (150 kV oder höher) tritt bei einem Erdschluss ein Erdschlussstrom auf, der im allgemeinen mindestens einige kA erreichen wird. Für diese Ströme sind die Schutzmassnahmen an den Telephonfreileitungen nicht bemessen. Personenschäden sind trotz der grossen Spannung kaum zu erwarten, wenn die verschiedenen geerdeten Objekte im Gebäude (Wasserleitung, Nulleiter, Gebäudeblitzschutzanlage, Telephonschutzerdung) unter sich verbunden sind oder wenn bei fehlenden Verbindungen wenigstens genügende Abstände eingehalten werden. Man muss sich bewusst sein, dass in starr geerdeten Netzen die Kurzschlussdauer durch hochwertige Schutzeinrichtungen in der Grössenordnung von $0,1 \text{ s}$ gehalten wird und dass durch den herunterfallenden Leiter die Telephonleitung zerrissen wird und höchstens ein Teilstrom in das Gebäude oder zur Kabelüberführungsstange fliesst.

In einem Hochspannungsnetz ohne starr geerdeten Sternpunkt (meistens Mittelspannungsverteilnetze mit begrenzter Ausdehnung) sind die Erdschlussströme meistens kleiner als 100 A . Erschwerend ist hier allerdings, dass ein Erdschluss während langer Zeit bestehen kann, ohne dass

fusible pour petits courants avec résistances tolérables et les coupe-circuit à action rapide provoquent de nombreuses interruptions de service pendant les orages, sans éviter des perforations d'isolant ou des claquages au central. C'est pourquoi on a renoncé, à juste titre, à monter des coupe-circuit dans le nouveau répartiteur principal, mais en revanche on a prévu la possibilité d'y installer des parasurtensions dans des cas particuliers; en outre, la protection est améliorée au poteau de transition aéro-souterraine (voir chiffre 6).

Les dispositifs de protection actuels n'assurent donc pas une protection efficace contre les contacts entre ligne à basse tension et ligne téléphonique.

4. Contact de la ligne téléphonique aérienne avec une ligne à haute tension

Lorsqu'un conducteur d'une ligne à haute tension se brise et tombe sur une ligne téléphonique aérienne, il convient de distinguer deux cas:

Dans un réseau à haute tension avec mise à la terre rigide du point neutre (150 kV ou plus), une fuite de terre produit un courant de court-circuit à la terre qui atteindra en général au moins quelques kA . Les mesures de protection des lignes téléphoniques aériennes ne sont pas dimensionnées pour ces courants. Malgré la tension élevée, il n'y a pas lieu de craindre spécialement des accidents de personnes si les différents objets mis à la terre dans le bâtiment (conduite d'eau, conducteur neutre, installation de protection du bâtiment contre la foudre, terre de protection du téléphone) sont reliés entre eux ou si des distances suffisantes sont tout au moins observées lorsque ces connexions font défaut. On doit savoir que, dans les réseaux mis à la terre de façon rigide, des coupe-circuit efficaces limitent la durée des courts-circuits à $0,1 \text{ s}$, que le conducteur qui tombe rompt la ligne téléphonique et qu'un courant partiel s'écoule tout au plus dans le bâtiment ou vers le poteau de transition aéro-souterraine.

Dans un réseau à haute tension sans mise à la terre rigide du point neutre (il s'agit principalement de réseaux de distribution à moyenne tension dont l'extension est limitée), les courants de courts-circuits à la terre sont généralement inférieurs à 100 A . Ce qui est toutefois plus grave dans le cas présent c'est qu'un court-circuit à la terre peut subsister pendant un certain temps sans que la ligne soit interrompue. Des prescriptions de montage appropriées pour le coupe-circuit permettent d'exclure dans une certaine mesure le danger d'incendie. Etant donné que la section relativement petite du câble d'introduction (1 mm de diamètre) et son isolation en polyéthylène sont les points

die Leitung ausgeschaltet wird. Durch entsprechende Montagevorschriften für die «Grobsicherung» wird die Brandgefahr nach Möglichkeit ausgeschaltet. Da der verhältnismässig kleine Querschnitt des Einführungskabels (1 mm Drahtdurchmesser) in Verbindung mit der Polyäthylenisolation eine kritische Stelle in der Installation darstellt, kommt der Vorschrift, dass die «Grobsicherung» möglichst nahe bei der Einführung montiert werden muss, aus brandtechnischen Gründen besondere Bedeutung zu.

Durch passive Schutzmassnahmen an den Fernmeldeleitungen können die Gefahren aber nicht vollständig ausgeschaltet werden. Es besteht eine ähnliche Situation, wie sie – in vermehrtem Mass – bei einem Staudamm auftritt. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Gefahr eines Phasenleiter- oder Isolatorbruches verschwindend klein ist. Bei Leitungen für sehr hohe Spannungen (starr geerdete Netze) ist die Sicherheit ausserordentlich gross. Eher grösser ist die Gefahr bei den weitverzweigten Mittelspannungsnetzen, bei denen auch die Schutztechnik noch in einem etwas steinzeitlichen Stadium steckt.

5. Induzierte Spannungen

Erdschlüsse auf Hochspannungsleitungen können in benachbarten Fernmeldeleitungen beträchtliche Spannungen induzieren. Die normalen Schutzmassnahmen gegen Überspannungen eignen sich nur teilweise gegen diese, nur in verhältnismässig wenigen Anlagen auftretende Beeinflussung. (Die Betrachtung dieser Sonderfälle sei einer spätern Arbeit vorbehalten.)

6. Neue Schutzkonzeption

Die ungenügende Betriebssicherheit unserer Freileitungsanschlüsse in Gegenden mit hoher Gewitterhäufigkeit und schlechter Bodenleitfähigkeit konnte nur verbessert werden, indem die Schutzeinrichtungen ohne Rücksicht auf Traditionen neu überdacht wurden. Voraussetzung für eine einwandfreie Lösung ist ein Ableiter mit kleiner Stossansprechspannung, ausreichender Belastbarkeit und zeitlicher Konstanz der Eigenschaften [2]. Gegen Gewittereinwirkung genügt der Schutz mit einem guten Ableiter, irgendwelche weitere Massnahmen, wie Sicherungen, sind nicht erforderlich. Unser gebräuchlicher Ableiter Typ UA 12 hat eine Stossansprechung von etwa 700 V und schützt daher Kabel und Apparate, falls er richtig eingebaut wird. Ein Ableiter muss immer zwischen jene Punkte geschaltet werden, zwischen denen man die Spannungsbeanspruchung klein halten will. Das bedingt, dass er beim Übergang von der Freileitung auf das Kabel direkt zwischen die Adern und den Bleimantel geschaltet wird. Würde eine unabhängige

critiques de l'installation, il est spécialement important que le coupe-circuit soit monté aussi près que possible de l'introduction en vue de la lutte contre le feu.

Mais les mesures de protection passives des lignes téléphoniques ne peuvent pas éliminer complètement les dangers. La situation est analogue à celle d'un barrage, quoique dans une mesure accrue. Il faut veiller à ce que le danger de rupture du conducteur de phase ou de bris d'isolateurs soit minime. Si la sécurité est extraordinairement grande pour les lignes à très hautes tensions (réseaux mis à la terre de façon rigide), en revanche le danger est sensiblement plus grand pour les réseaux à moyenne tension largement ramifiés, où la technique de protection en est encore à un stade quelque peu archaïque.

5. Tensions induites

Les défauts à la terre sur les lignes à haute tension peuvent induire des tensions considérables sur les lignes téléphoniques voisines. Les mesures de protection ordinaires contre les surtensions ne permettent que de lutter partiellement contre cette influence affectant, il est vrai, un nombre assez restreint d'installations. (Un article ultérieur sera consacré à l'examen de ces cas spéciaux.)

6. Conception nouvelle de la protection

La sécurité d'exploitation des raccordements téléphoniques par ligne aérienne étant insuffisante dans les régions où la fréquence des orages est élevée et la conductibilité du sol mauvaise, elle n'a pu être améliorée que par une nouvelle conception des dispositifs de protection, au mépris des traditions. La solution idéale est donnée par un parasurtension ayant une petite tension d'amorçage de choc, une capacité de charge suffisante et des caractéristiques durablement constantes [2]. Un bon parasurtension protège efficacement contre les effets des orages et il n'est pas nécessaire d'avoir recours à d'autres mesures, par exemple à des coupe-circuit. Le type UA 12 usuel a une tension d'amorçage de choc d'environ 700 V et protège, par conséquent, câbles et appareils lorsqu'il est monté correctement. On doit toujours connecter un parasurtension entre les points où les tensions ne doivent pas atteindre des valeurs dangereuses, ce qui implique que, au passage de la ligne aérienne au câble, on le reliera directement entre les conducteurs et la gaine de plomb. Si on utilisait une terre indépendante, on rendrait les parasurtensions absolument inopérants; même un fil de 10 cm de longueur seule-

Erdung verwendet, so wären die Ableiter absolut wirkungslos; sogar ein Draht von nur 10 cm Länge zwischen Ableiter und Kabelmantel verringert die Wirksamkeit der Ableiter bereits merklich. Bei Unterhaltsarbeiten an unsern bisherigen Sicherungskasten der Kabelüberführungsstangen kommt der Kontrolle des einwandfreien Kontaktes zwischen Kabel und Kasten eine wesentlich grössere Bedeutung für die Betriebssicherheit zu als ein neuer Anstrich des Kastens. Die etwas unsichere Verbindung über Bleiring und Stopfbüchse wird bei einer Neukonstruktion nicht mehr übernommen werden. Treten Durchschläge am Kabel innerhalb der ersten 100 m Kabellänge von der Kabelüberführungsstange an auf, so liegt der Fehler immer an der Qualität oder an der Montage der Ableiter.

Schäden in grösserem Abstand von der Kabelüberführungsstange sind durch einen grossen Spannungsabfall des Blitzstromes im Kabelmantel bedingt. Sie können durch Ableiter nicht verhütet werden [1] [3].

Moderne Ableiter sind so robust, dass sie höchstens durch einen verhältnismässig starken Blitz in die Freileitung in unmittelbarer Nähe der Kabelüberführungsstange beschädigt werden können [2]. Sicherungen wären daher nicht mehr erforderlich, wenn man nur auf die Gewittereinwirkungen Rücksicht nehmen müsste. Die Besonderheit unseres Netzes mit den zahlreichen Kreuzungen und Gemeinschaftsleitungen mit Niederspannungsleitungen birgt aber eine weitere Gefahr: Berührt eine Niederspannungsleitung eine Telephonleitung, so sprechen die Ableiter an, und die Spannung zwischen der Leitung und Erde (oder wenigstens dem Erdleiter) wird auf die Lichtbogenspannung von etwa 15 V begrenzt. Der dann fliessende Strom wird praktisch nur durch den Widerstand des Freileitungsdrahtes zwischen Berührungsstelle und Einbauort des Ableiters und dem Erdungswiderstand des Ableiters begrenzt. Die im Ableiter umgesetzte Leistung, die mehrere 100 W erreichen kann, bewirkt eine sehr rasche Temperatursteigerung des Ableiters, so dass er nach verhältnismässig kurzer Zeit zerstört wird. Die Art dieser Zerstörung ist nun ein wesentliches Qualitätsmerkmal für einen Ableiter. Ein schlechter Ableiter wird durch einen Glasriss unbrauchbar werden. Dieser Defekt wird nicht unbedingt bemerkt, da die Leitung auch mit einem defekten Ableiter betriebsfähig bleibt. Seine Ansprechspannung steigt aber unter Umständen auf mehrere kV an, und bei der nächsten Überspannung werden Schäden an den Apparaten oder Kabeln auftreten. Ein guter Ableiter wird in einem weiten Strombereich durch einen Kurzschluss zwischen den Elektroden unbrauchbar werden und so seinen Schaden anzeigen. Durch diesen Kurzschluss wird also die Teilnehmerleitung dauernd geerdet, und dadurch werden die Apparate vor Schäden geschützt.

Verwendet man keine Schmelzsicherungen, so wird bei einem Kontakt mit einem Niederspannungsnetz in kleinem

ment entre parasurtensions et gaine du câble affaiblit déjà notablement leur efficacité. Lors de l'entretien des anciennes armoires à protections des poteaux de transition, il est beaucoup plus important pour la sécurité de l'exploitation de contrôler que le contact soit parfait entre le câble et l'armoire que de repeindre l'armoire. La liaison à travers la bague de plomb et le presse-étoupe, qui n'offre pas toute garantie, ne sera plus acceptée dans une nouvelle construction. Lorsque des perforations du câble se produisent à l'intérieur des 100 premiers mètres à compter à partir du poteau de transition, la faute est toujours imputable à la qualité ou au montage des parasurtensions.

Les dégâts causés à une grande distance du poteau de transition sont le fait d'une grande chute de tension du courant d'éclair dans la gaine du câble; des parasurtensions ne peuvent pas les empêcher [1] [3].

Les parasurtensions modernes sont si robustes qu'ils peuvent tout au plus être endommagés par un coup de foudre assez violent sur la ligne aérienne, au voisinage immédiat du poteau de transition [2]. Il ne serait donc plus nécessaire de monter des coupe-circuit, si on ne devait tenir compte que des effets dus aux orages. Mais le réseau téléphonique, dont les croisements et trajets communs avec des lignes à basse tension sont nombreux, est exposé à un autre danger: une ligne à basse tension entre-t-elle en contact avec une ligne téléphonique, les parasurtensions amorcent et la tension entre la ligne et la terre (ou au moins le conducteur de terre) est limitée à la tension d'arc d'environ 15 V. Le courant qui s'écoule alors n'est pratiquement limité que par la résistance du fil de la ligne aérienne entre le point de contact et l'endroit où est monté le parasurtension et sa résistance de mise à la terre. La puissance qui peut atteindre plusieurs centaines de watts fait très rapidement augmenter la température dans le parasurtension, qui est détruit en assez peu de temps. La nature de cette destruction caractérise la qualité d'un parasurtension. Un mauvais parasurtension sera rendu inutilisable par la formation de fissures dans le verre, défaut qui ne se remarquera pas nécessairement du fait que la ligne reste en service même avec parasurtension défectueux dont la tension d'amorçage passe à plusieurs kV, ce qui provoquera des dégâts aux appareils ou aux câbles lors de la prochaine surtension. Un bon parasurtension sera mis hors d'usage dans une vaste plage de courant par un court-circuit entre les électrodes et annoncera ainsi son défaut. Ce court-circuit mettra la ligne d'abonné en permanence à la terre et les appareils seront protégés de tout dommage.

Lorsqu'on n'emploie pas de coupe-circuit à fusibles, un très fort courant s'écoulera en permanence lors d'un contact à faible distance avec un réseau à basse tension. Si le courant est supérieur à 50 A dans les deux fils du câble d'intro-

Abstand dauernd ein sehr starker Strom fliessen. Überschreitet der Strom in beiden Drähten des Einführungskabels je 50 A (was nur in Ausnahmefällen zu erwarten ist), so muss mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eines Brandes des F-Kabels gerechnet werden; wenn nur ein Draht vom Strom durchflossen wird, liegt der kritische Wert höher. Ein Brand des F-Kabels muss nun auf alle Fälle verhindert werden, da er mit seinen herunterfallenden brennenden Polyäthylentropfen für ein Holzhaus eine sehr hohe Gefahr darstellt. Auch ein Übergang zu einer andern Konstruktion des Einführungskabels würde die zahlreichen Gefahrenherde bei den bisherigen Teilnehmeranlagen nicht beseitigen.

Die Gefahr ist allerdings in Wirklichkeit bei weitem nicht so gross, wie es scheinen könnte. Aus der Zerstörungskennlinie des Ableiters UA 12 (Fig. 2) ist ersichtlich, dass der Kurzschluss im Ableiter bei Überlastung in einem Strombereich von 3...50 A auftritt. Bei grössern Strömen als 60 A schmelzen die Durchführungen der Ableiter durch. Dann wird der Strom unterbrochen, die Leitung und die Installation bleibt wie bei den bisher verwendeten Kohleableiter unter Spannung, aber die Brandgefahr ist gebannt. Ein Brand ist theoretisch also nur in einem ganz kleinen Strombereich von etwa 55...60 A denkbar. Im Laboratorium gelang es allerdings nicht, mit vorhandenen Ableitern einen Brand der F-Kabel zu erzeugen.

Trotz der sehr kleinen Wahrscheinlichkeit eines Brandes ist diese Lösung undiskutierbar. Wir haben daher für den Schutz der Teilnehmereinrichtung wieder eine Sicherung vor dem Ableiter vorgesehen. Diese Sicherung muss bei einem Strom von mehr als 40 A durchschmelzen, soll aber eine möglichst hohe Stossbelastung aushalten, da sie für den Schutz der Anlagen bei Gewitterbeeinflussung nicht nötig ist. Sie besteht aus einem Cu-Draht von 0,55 mm Durchmesser. Schon der Vergleich mit dem Drahtdurchmesser der F-Kabel (1,0 mm) zeigt, dass man mit einer starken Belastung dieser Kabel rechnet. Die Sicherung schmilzt mit 40 A nach etwa 1½ min durch, bei 80 A in 1 s. Dadurch wird nicht nur ein Brand des F-Kabels, sondern sogar ein Austreten der Adern aus der Polyäthylenisolation mit Sicherheit verhindert.

Ein Stossstrom von der Form 15/50 (15 µs Stirndauer und 50 µs Halbwertzeit) von 10 kA reicht gerade zum Durchschmelzen der Sicherung. Dieser Wert liegt knapp unter der Zerstörungsgrenze der Ableiter. Ein Durchschmelzen der Sicherung ist also ein Indiz dafür, dass der Ableiter (der wie alle anderen Typen bei Stossbelastung keinen Kurzschluss bilden kann) geprüft werden muss.

Wir verzichten nicht in erster Linie wegen des hohen Silberpreises auf das klassische Material für Schmelzsicherungen, sondern aus technischen Gründen: von einer

duction (ce qui ne se produira qu'exceptionnellement), il y a un certain risque que le câble F brûle; si seul un fil est parcouru par le courant, la valeur critique est plus élevée. Il faut dans tous les cas éviter que le câble F brûle, du fait que les gouttes de polyéthylène qui tombent en flammes constituent un danger très élevé pour une maison en bois. En construisant différemment le câble d'introduction, on n'éliminerait pas pour autant les nombreux dangers auxquels sont exposées les installations d'abonné actuelles.

En réalité, le danger n'est de loin pas aussi grand qu'il pourrait y paraître. La courbe de destruction du parasurtension UA 12 (fig. 2) montre que le court-circuit se produit dans le parasurtension à une surcharge de courant de 3...50 A. Lorsque les courants sont supérieurs à 60 A, les entrées des parasurtensions fondent; il s'ensuit que le courant est interrompu, que la ligne et l'installation restent sous tension comme avec les parafoudres à charbon utilisés jusqu'ici, mais que le danger d'incendie est écarté. Il n'existe théoriquement un risque d'incendie que pour un courant de l'ordre de 55 à 60 A. En laboratoire, on n'a toutefois pas réussi à provoquer d'incendie des câbles F avec les parasurtensions actuels.

Bien que la probabilité d'incendie soit minime, cette éventualité ne doit pas être écartée. C'est pourquoi nous avons d'office prévu un coupe-circuit avant le parasurtension pour protéger l'installation d'abonné. Ce coupe-circuit doit, lorsque le courant est supérieur à 40 A, fondre mais supporter une charge de choc aussi élevée que possible, du fait qu'il n'est pas nécessaire pour protéger les installations contre les influences dues aux orages. Il se compose d'un fil de cuivre de 0,55 mm de diamètre et la comparaison avec le diamètre des conducteurs des câbles F (1,0 mm) montre que ces derniers doivent résister à une forte charge. Le coupe-circuit fond à 40 A au bout d'environ 1½ minute et à 80 A en 1 seconde; cela empêche à coup sûr non seulement que le câble F brûle, mais même que les conducteurs émergent de l'isolation en polyéthylène.

Un courant de choc de la forme 15/50 (15 µs de durée de montée et 50 µs de durée de mi-amplitude) de 10 kA suffit à faire fondre le coupe-circuit. Cette valeur est à peine au-dessous de la limite de destruction des parasurtensions. La fusion du coupe-circuit est donc un indice que le parasurtension (qui, comme tous les autres types, ne peut pas former de court-circuit en cas de choc) doit être vérifié.

Ce n'est pas le prix élevé de l'argent qui nous a incités avant tout à renoncer au matériel classique pour les coupe-circuit fusibles, mais au contraire des motifs techniques: on exige en général d'un coupe-circuit qu'il résiste pendant un temps illimité à un courant qui n'est que de peu au-

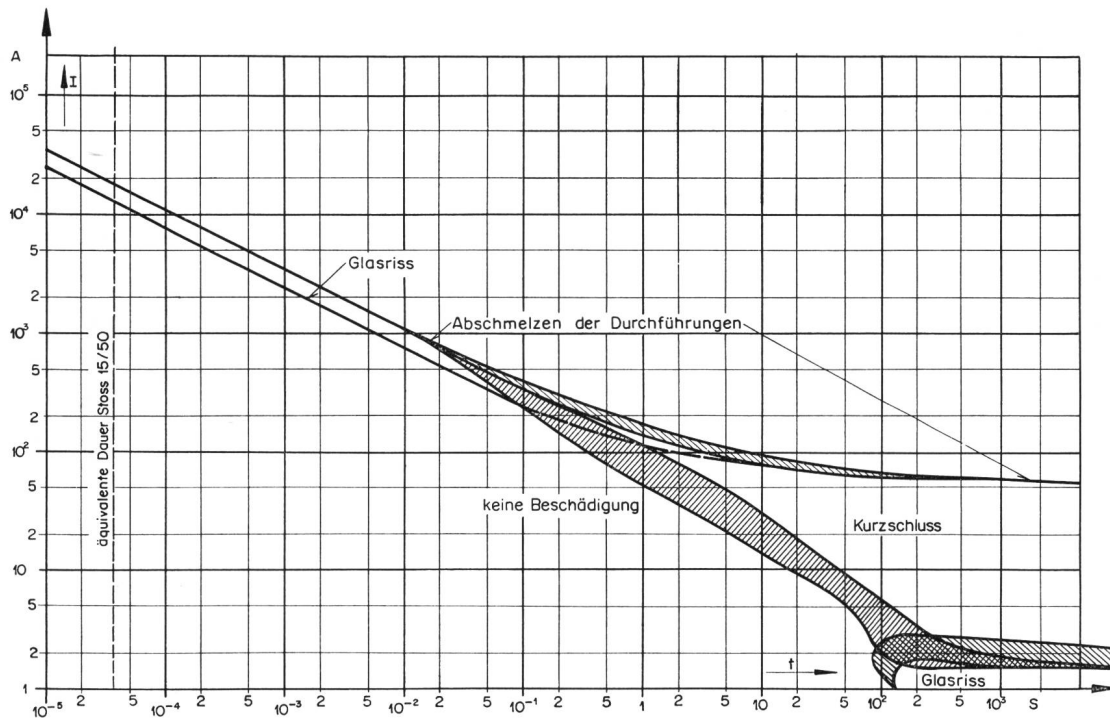


Fig. 2
Zerstörungskennlinie des Edelgasableiters UA 12
 Ströme zwischen 3 und 50 A (Berührung mit Niederspannungsnetz) führen bei Überlastung zu Kurzschluss. Eine Zerstörung des Ableiters durch Gewittereinflüsse ist nur in äusserst seltenen Fällen bei direkten Einschlägen mit hohen Blitzströmen möglich. Der Ausfall wird durch Ansprechen der 40-A-Sicherung beim Teilnehmer angezeigt

Courbe caractéristique de destruction du parasurtension UA 12
 Les courants entre 3 et 50 A (contact avec réseau à basse tension) provoquent un court-circuit en cas de surcharge. Une destruction du parasurtension par les effets de l'orage n'est possible que dans des cas extrêmement rares lors de coups de foudre directs avec courants d'éclair élevés. La panne est indiquée par l'amorçage du coupe-circuit de 40 A chez l'abonné

Spannungsableiter UA 12 = Parasurtension UA 12	Abschmelzen der Durchführungen = Fusion des entrées	äquivalente Dauer Stoss 15/50 = Durée équivalente du choc 15/50
Zerstörungsgrenzen = Limites de destruction	Keine Beschädigung = Aucun endommagement	
Glasriss = Fissure du verre	Kurzschluss = Court-circuit	

Sicherung verlangt man im allgemeinen, dass sie einen Strom, der nur wenig unter dem Abschmelzstrom liegt, während unbegrenzter Zeit aushält. Dafür eignet sich das bei höherer Temperatur rasch verzundernde Kupfer nur schlecht. Diese im allgemeinen nachteilige Eigenschaft ist aber für unsern Anwendungszweck ideal: der Betriebsstrom liegt bei 50 mA; bei einem stärkern Strom darf die Sicherung abschmelzen, falls die hohe Stossfestigkeit trotzdem erreicht werden kann. Das günstige Verhältnis zwischen Stoss- und Dauerschmelzstrom wird durch das Verzundern des glühenden Drahtes bei Strömen von mehr als 30...35 A erreicht.

Die Schutzeinrichtung beim Teilnehmer enthält also grundsätzlich die gleichen Elemente wie früher; der Kohleableiter wird aber durch einen hochwertigen Edelgasableiter mit einer niedrigen Stossansprechspannung ersetzt und eine Sicherung gewählt, die nur noch bei ganz extremen

dessous de l'intensité de fusion. Il faut bien reconnaître que le cuivre s'oxydant rapidement aux températures élevées ne possède pas les qualités requises, mais que cet inconvénient en soi devient un grand avantage pour nos applications; le courant de service est de 50 mA et le coupe-circuit pourra fondre sous un courant plus intense si la résistance aux chocs élevée peut néanmoins être atteinte. La relation propice entre le courant de choc et l'intensité permanente de fusion sera obtenue par l'oxydation du fil incandescent aux courants de plus de 30...35 A.

Chez l'abonné, le dispositif de protection comprend en principe les mêmes éléments qu'auparavant; on a toutefois remplacé le parafoudre à charbon par un parasurtension à gaz rare efficace ayant une faible tension d'amorçage de choc et choisi un coupe-circuit qui n'amorce qu'aux charges extrêmes. Dans l'armoire à parasurtensions du poteau de transition, on a renoncé à monter un coupe-circuit à fusible

Belastungen anspricht. Im Ableiterkasten der Kabelüberführungsstange wird auf eine Schmelzsicherung verzichtet. Man geht hier aus wirtschaftlichen Gründen bewusst das Risiko ein, bei dem äusserst seltenen Fall einer Niederspannungsberührung mit hohen Strömen die F-Kabel auszuwechseln zu müssen.

Der einwandfreie Schutz bei Niederspannungsberührungen ist nur gesichert, wenn die Erdungswiderstände der Ableiter ausreichend klein sind. Bei der Teilnehmerinstallation wird das am besten erreicht durch Erdung der Ableiter an der Wasserleitung, an die auch der Nulleiter angeschlossen werden muss. Die Erdung der Kabelüberführungsstange wird besonders bei der Einführung von Kunststoffkabeln spezielle Massnahmen erfordern. Vorzuziehen wäre zweifellos eine Lösung, die einen Kontakt zwischen den beiden Systemen überhaupt ausschliesst (beispielsweise isolierte Leiter an den Gefahrenstellen).

7. Erfahrungen in einem Grossversuch

Seit dem Jahr 1960 wurden im Gebiet der KTD Bellinzona (das ungefähr den Kanton Tessin umfasst) systematisch alle oberirdischen Teilnehmeranschlüsse auf das neue Schutzprinzip mit Edelgasableitern umgestellt. Die 3-A-Sicherungen wurden überbrückt, man verzichtete also auf den Einbau von 40-A-Sicherungen, was sich übrigens nicht nachteilig auswirkte. Der Kanton Tessin eignet sich für Versuche mit Blitzschutzmassnahmen besonders gut wegen der grossen Gewitterhäufigkeit und des hohen spezifischen Widerstandes des Bodens (in manchen Gebieten mehr als 10 000 Ωm).

Im Jahre 1960 umfasste das Versuchsgebiet insgesamt 43 800 Teilnehmer (diese Zahl schliesst auch die Teilnehmer mit Kabelanschlüssen ein). Davon wurden durch Gewittereinwirkung 14 644 unterbrochen. Im besonders gewitterreichen Jahr 1967 wurden auf 63 000 Teilnehmeranschlüsse 1125 unterbrochen. Dabei ist zu beachten, dass erst etwa 90% der oberirdischen Anschlüsse auf die neue Schutztechnik umgestellt waren. Der Erfolg der Umstellung lässt sich am besten durch folgenden Vergleich erkennen:

1960: 42 Störungen auf 100 Anschlüsse
1967: 1,8 Störungen auf 100 Anschlüsse

Die Zahl der Gewitterstörungen liess sich also mit dem neuen Schutzprinzip auf 4,3%, also auf 1/23 reduzieren. Von den restlichen Störungen entfällt $\frac{1}{4}$ auf Widerstände in den Linienstromkreisen der Zentrale, die schon vor 15 Jahren als absolut ungenügend (Stossspannungsfestigkeit < 1 kV) erkannt wurden, von denen aber noch ziemlich viele im Betrieb stehen. Weitere 25% entfallen auf flinke Sicherungen (Abschmelzstrom 0,5 A) die früher unnötigerweise in die Hauptverteiler gewisser Zentralen eingebaut wurden. 10% der Störungen werden durch eine veraltete

en courant sciemment le risque, pour des motifs économiques, de devoir remplacer les câbles F dans le cas extrêmement rare d'un contact avec la basse tension à courants élevés.

Lors de contacts avec la basse tension, la protection parfaite n'est assurée que si les résistances de terre des parasurtensions sont suffisamment petites, ce qui se réalise le mieux dans une installation d'abonné par la mise à la terre des parasurtensions à la conduite d'eau, à laquelle doit également être relié le conducteur neutre. La mise à la terre du poteau de transition exigera des mesures particulières, spécialement lors de l'introduction de câbles à gaine en matière plastique. Il serait évidemment préférable de trouver une solution excluant tout contact entre les deux systèmes (par exemple conducteurs isolés aux endroits dangereux).

7. Expériences recueillies dans un essai à grande échelle

Depuis 1960, on a pourvu systématiquement tous les raccordements aériens d'abonnés de l'arrondissement des téléphones de Bellinzona (qui s'étend grosso modo sur le canton du Tessin) de nouveaux parasurtensions à gaz rare. On a ponté les coupe-circuit de 3 A en renonçant à monter des coupe-circuit de 40 A, ce qui n'a du reste eu aucun effet néfaste. Le canton du Tessin convient tout spécialement à des essais de mesures de protection contre la foudre, étant donné que les orages y sont très fréquents et que la résistance spécifique du sol y est élevée (plus de 10 000 Ωm dans maintes régions).

Si, en 1960, 14 644 raccordements d'abonnés sur les 34 800 que comptait la région soumise à l'essai (ce chiffre porte également sur les raccordements desservis par câbles) étaient interrompus à la suite d'orages, il n'y en avait que 1125 sur 63 000 en 1967, année où les orages furent spécialement nombreux. Il convient de relever qu'environ 90% seulement des raccordements aériens avaient été adaptés à la nouvelle technique de protection. La comparaison suivante prouve de façon éclatante le succès de cette transformation:

1960: 42 dérangements sur 100 raccordements,
1967: 1,8 dérangement sur 100 raccordements.

Ce nouveau mode de protection a permis de ramener à 4,3%, soit à 1/23, le nombre des dérangements dus aux orages. Du reste des dérangements, il y a lieu d'en attribuer $\frac{1}{4}$ aux résistances dans les circuits de lignes du central, qui ont été reconnues absolument insuffisantes (résistance à la tension de choc inférieure à 1 kV) il y a 15 ans déjà et dont un nombre assez important est encore en service; 25 autres pour cent sont dus à des coupe-circuit à action

Konstruktion von Relais für Gemeinschaftsanschlüsse verursacht, bei denen die drei in Serie geschalteten Selenzellen zwischen den Anschlussklemmen auch durch einen hochwertigen Spannungsableiter mit kleiner Stossansprechspannung nicht geschützt werden können.

Noch bessere Ergebnisse liegen für das Jahr 1968 vor: In zwei der vier Netzgruppen (Bellinzona und Faido) traten 128 Störungen durch Gewittereinflüsse auf, von denen 42 auf die Widerstände in den Linienstromkreisen entfielen. Der auf das Gebiet von fünf weiteren Kreistelephondirektionen ausgedehnte Versuche mit 14 376 umgestellten Teilnehmeranschlüssen brachte 70 durch Gewitter unterbrochene Teilnehmer, also 0,5%. Dass diese kleine Störungsrate nicht einem besonders gewitterarmen Sommer zu verdanken ist, zeigt sich daran, dass im Juli 1968 in zwei Ortsnetzen (Wolhusen und Buttisholz LU) 100 Teilnehmeranschlüsse ausfielen, im unmittelbar benachbarten Ruswil, das mit Gasableitern ausgerüstet ist, wurde dagegen kein einziger Anschluss unterbrochen.

Von den 57 000 in den neuen Versuchsbezirken eingesetzten Ableitern mussten vier wegen Glasrissen bei direkten Einschlägen ausgewechselt werden, ihr Defekt wurde durch die unterbrochene 40-A-Sicherung gemeldet. Bei 11 lag die Ansprechspannung nicht mehr im tolerierten Bereich, 9 davon behielten aber ihre Schutzfunktion noch, über die restlichen zwei liegen keine nähern Angaben vor.

Die kleine Ausfallrate der Ableiter und ihre in den letzten Jahren stark verbesserte Zuverlässigkeit ermöglicht die Vorschrift, dass die Ableiter nur beim Durchschmelzen der 40-A-Sicherungen und anlässlich der alle 6...10 Jahre stattfindenden Kontrollen der Teilnehmerinstallationen und Kabelüberführungsstangen geprüft werden müssen. Hierzu wurde ein einfaches Prüfgerät entwickelt, das im nachfolgenden Artikel beschrieben wird.

8. Künftige Entwicklung

Die eindeutigen Erfolge mit der neuen Schutzkonzeption führten zum Entscheid der allgemeinen Einführung. Der Bedarf an Ableitern für Neuanlagen und für andere Zwecke. (zum Beispiel Schutz von bestehenden Kabelanlagen gegen induzierte Spannungen) erlaubt aber nur einen allmählichen Umbau bestehender Anlagen. Diese sind jedoch, bedingt durch topographische Lage, Bodenleitfähigkeit und Überbauungsgrad, durch den Blitz sehr unterschiedlich gefährdet. Den Kreistelephondirektionen wird jährlich eine bestimmte Zahl von Ableitern und 40-A-Sicherungen zugeteilt werden, mit der sie die den Gewittereinwirkungen am stärksten ausgesetzten Ortsnetze umbauen können. Auf diese Weise wird es möglich sein, bereits mit einer bescheidenen Zahl von eingebauten Ableitern eine beträchtliche

rapide (courant de fusion de 0,5 A) qui ont été inutilement montés autrefois dans les répartiteurs principaux de certains centraux; 10% des dérangements sont provoqués par une construction surannée de relais pour raccordements collectifs, dans lesquels les trois cellules au sélénium connectées en série entre les bornes de raccordement ne peuvent pas être protégées par un parasurtension efficace ayant une petite tension d'amorçage de choc.

Les résultats de l'année 1968 sont encore meilleurs. Dans deux des quatre groupes de réseaux (Bellinzona et Faido), 128 dérangements se sont produits sous l'influence d'orages, dont 42 provenaient de résistances dans les circuits de lignes. L'essai a été étendu à cinq autres arrondissements des téléphones comptant 14 376 raccordements d'abonnés transformés. Les orages ont interrompu 70 raccordements ou 0,5%. Il serait aisé de prétendre que ce faible taux de dérangements est dû au fait que l'été a été très peu orageux et pourtant 100 raccordements d'abonnés ont été coupés en juillet 1968 dans deux réseaux locaux (Wolhusen et Buttisholz LU), alors qu'aucun raccordement n'était interrompu dans le réseau voisin de Ruswil, où des parasurtensions à gaz rare avaient été installés.

Des 57 000 parasurtensions montés dans les nouvelles circonscriptions d'essai, quatre ont dû être échangés pour cause de fissures dans le verre à la suite de coups de foudre directs; leur défektivité a été signalée par le coupe-circuit de 40 A interrompu. La tension d'amorçage de 11 parasurtensions ne se trouvait plus dans les limites tolérées: 9 d'entre eux conservaient encore leur pouvoir de protection alors qu'aucune indication précise n'était donnée pour les deux derniers.

Le taux d'interruptions des parasurtensions étant faible et leur sûreté de fonctionnement ayant été nettement améliorée au cours de ces dernières années, il est possible de prescrire que les parasurtensions ne soient plus vérifiés que lors de la fusion des coupe-circuit de 40 A ainsi qu'à l'occasion des contrôles des installations d'abonnés et des poteaux de transition qui ont lieu tous les 6...10 ans. Un appareil d'essai simple a été mis au point à cet effet et sa description fera l'objet d'un article ultérieur.

8. Evolution future

A la suite des succès marquants obtenus avec les parasurtensions, il a été décidé d'introduire d'une façon générale cette nouvelle conception de protection des installations. Toutefois, les parasurtensions nécessaires aux nouvelles installations et à d'autres fins (par exemple protection d'installations de câbles en service contre des tensions induites) ne permettent de transformer que progressivement les installations existantes qui, suivant la situation

Verbesserung der Betriebssicherheit der Anlagen zu erzielen. Die lange Dauer der Umbauperiode wird sich daher nicht so nachteilig auswirken, wie es anfänglich scheinen mag.

Literaturverzeichnis

- [1] *Meister H.* Blitzschutz an Telephonanlagen. Techn. Mitt. PTT 36 (1958), Nr. 1, S. 13...52.
- [2] *Brumm, G. und Meister, H.* Edelgasableiter als Überspannungsschutz in Fernmeldeanlagen. Bull. SEV 56 (1965), S. 885...891.
- [3] *Meister H. und Utz W.* Verhalten von Kabeln mit geschichtetem Aufbau bei Stossströmen. Techn. Mitt. PTT 47 (1969) Nr. 1, S. 30...37.

topographique, la conductibilité du sol et le développement de la construction, sont très différemment mises en danger par la foudre. Chaque année, les directions d'arrondissement des téléphones reçoivent un certain nombre de parasurtensions et de coupe-circuit de 40 A, ce qui leur permet de transformer les réseaux locaux les plus exposés aux effets des orages. De cette façon, il sera possible d'améliorer considérablement la sécurité d'exploitation des installations, même avec un nombre modeste de parasurtensions montés. La longue durée de la période de transformation ne sera donc pas aussi préjudiciable au service que cela pouvait le paraître au début.

Hinweis auf eingegangene Bücher

Sutener H. **Einkreis-Empfänger mit Röhren und Transistoren** = Radio-Praktiker-Bücherei Nr. 74. 6., überarbeitete Auflage. München, Franzis-Verlag, 1969. 68 S., 72 Abb., 3 Tabellen. Preis Fr. 3.50.

Für die Einführung in die Grundsaltungen und das Sammeln erster praktischer Erfahrungen eignen sich Röhrenschaltungen noch immer besonders gut; deshalb stützen sich die einführenden Kapitel auf Röhren. Ihnen folgt eine Zusammenstellung der einst weit verbreiteten Einkreis-schaltungen mit Röhren. Das geschieht vor allem aus Studiengründen, aber auch, weil diese Unterlagen immer wieder neu gebraucht werden. In der Literatur sind sie sowieso kaum zusammenfassend zu finden. Für den fortgeschrittenen Selbstbau stehen heute

die Schaltungen mit Transistoren im Vordergrund, so dass der zweite Teil des Buches deshalb die Bauanleitungen für fünf verschiedene bewährte Transistor-Einkreis-Empfänger (mit Schaltungen und Bauzeichnungen) enthält. R.

Koch H. **Transistorsender.** Entwurf, Berechnung und Bau von Sendern mit Transistoren. München, Franzis-Verlag, 1969. 208 S., 151 Abb., 8 Tabellen. Preis Fr. 28.65.

Man kann heute Sender kleinster Abmessungen und geringsten Stromverbrauches bauen, die einschliesslich der End-

stufe mit Transistoren bestückt sind und die sogar im UKW-Bereich noch absolut zuverlässig arbeiten. Über deren Entwurf, Berechnung und Bau gibt es noch kaum Spezialliteratur. Der Verfasser hat hier ein praxisnahes Buch geschaffen, das die unerlässlichen Berechnungen auf Fachschulrechnen beschränkt, und das sieben narrensichere Bauanleitungen enthält. Besondere Abschnitte befassen sich mit der Frequenzvervielfachung, mit Oberwellenfiltern für Endstufen; sehr eingehend werden Modulationsarten und Modulatoren erörtert, ausführliche Abschnitte setzen sich mit den Fragen der Stromversorgung und den zu erwartenden Reichweiten auseinander. Die Richtlinien der Deutschen Bundespost lassen genau erkennen, was in Deutschland erlaubt ist und was nicht. R.