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 telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 50 (1972)

Heft: 12

Artikel: Blitzschutz von Senderanlagen

Autor: Meister, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874688

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: 15.01.2026

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

Blitzschutz von Sendeanlagen

Hans MEISTER, Bern

621.316.933:621.39
621.316.98:621.396.7

Zusammenfassung. *Während des vergangenen Jahrzehnts wurde in der Schweiz eine grosse Zahl von Fernseh- und UKW-Sendern gebaut, zu denen sich Richtstrahlanlagen und Sendeanlagen für besondere Zwecke (wie Autoruf) gesellen. Ein grosser Teil dieser Bauten steht an Orten, die sehr gewitterexponiert sind, was anfänglich zu zahlreichen Betriebsstörungen führte. Der Autor geht den Gründen für die Ausfälle nach und zeigt, wie die Betriebssicherheit dieser Anlagen entscheidend verbessert werden kann.*

Protection des émetteurs contre la foudre

Résumé. *Au cours des dix dernières années, on a construit en Suisse de nombreux émetteurs de télévision et OUC auxquels furent associées les installations à faisceaux hertziens et des émetteurs à usage spécial, telles que l'appel des automobiles. Ces constructions se trouvent en grande partie dans des endroits très exposés aux orages, ce qui engendra au début d'innombrables pannes. L'auteur évoque les causes des interruptions et montre comment la fiabilité de ces installations peut être améliorée de manière efficace.*

Protezione degli impianti trasmittenti contro i fulmini

Riassunto. *Nel corso degli ultimi due lustri vennero costruiti in Svizzera un grande numero di trasmittenti televisive e a OUC, alle quali si aggiunsero impianti a ponti radio e trasmittenti per scopi speciali (come chiamata automobili). Molti di questi impianti sono ubicati in luoghi assai esposti alle influenze atmosferiche, ciò che fu inizialmente la causa di innumerevoli perturbazioni d'esercizio. L'autore esamina le ragioni di questi guasti e mostra come sia possibile migliorare notevolmente la sicurezza d'esercizio di questi impianti.*

1. Einschlagswahrscheinlichkeit, Daten der Blitzströme

Den zahlreichen Untersuchungen, bei denen schweizerische Forscher Pionierarbeit geleistet haben [1], entnehmen wir einige wenige Ergebnisse, die wir in vereinfachter Form darstellen.

In der Schweiz muss man mit einigen Einschlägen pro Jahr und km² rechnen. Ein Blitz, der sich aus einer Wolke gegen die Erde bildet, wird durch einen stromschwachen Leitblitz eingeleitet, der in Stufen von einigen 10 m Länge vorwächst. Der Einschlagpunkt ergibt sich grundsätzlich erst, wenn der zu überbrückende Abstand etwa einer Stufenlänge entspricht. Für einen einzelnen Punkt, wie ihn die Spitze eines Mastes darstellt, wäre eigentlich mit einer verhältnismässig kleinen Einschlagswahrscheinlichkeit zu rechnen. Dieser Mechanismus gilt aber nur für Gelände mit verhältnismässig kleinen Bodenerhebungen ohne hohe Bauwerke. Bei einem Turm, besonders wenn er auf einem Berg steht, bildet sich aber ein grosser Teil der Blitzkanäle an der Turmspitze. Die Zahl der Aufwärtsblitze war zum Beispiel am Monte San Salvatore im Mittel der Jahre 1964... 1966 etwa 11mal grösser als die der Abwärtsblitze. Zeitweise bilden sich an einem Turm Fangentladungen, die einem Abwärtsblitz entgegenwachsen und dessen Bahn beeinflussen. Man muss daher an exponierten Türmen mit annähernd 100 Einschlägen in einem Jahr rechnen; immerhin ist diese Zahl örtlich stark unterschiedlich.

Von den «Kenndaten» der Blitze interessieren uns hier hauptsächlich der Stromscheitelwert und die Frontsteilheit. Obwohl in der Schweiz Werte von mehr als 200 kA und ungefähr 80 kA/μs gemessen wurden, wird man im Interesse eines Kompromisses zwischen Technik und Wirtschaftlichkeit den Schutz von durchschnittlichen Anlagen für einen Stromscheitelwert von 70...100 kA und einen Stromgradienten von etwa 30 kA/μs auslegen.

2. Grundsätzlicher Aufbau einer Sendeanlage, Weg des Blitzstromes

Wenn sich die Gebäude einer Sendeanlage in unmittelbarer Nähe eines Turmes befinden, so darf vorausgesetzt werden, dass der Blitz in den Turm einschlagen wird. Ein Einschlag an einer anderen Stelle ist sehr unwahrscheinlich, auf alle Fälle wird es sich dann um einen Blitz mit einer verhältnismässig kleinen Ladung handeln [2], [3]. Der Blitzstrom fliesst in den metallenen Teilen des Turmes (Fachwerk oder Armierungseisen) zum Turmfuss in den dort angeschlossenen Erder. Oft befinden sich die Sendeanlagen in felsigen Gebieten mit sehr niedriger Bodenleitfähigkeit, so dass man sich mit Erderwiderständen von einigen Ohm abfinden muss. Durch einen Blitzeinschlag kann daher die ganze Sendeanlage auf ein Potential von weit über 100 kV angehoben werden. Bei einer guten Potentialsteuerung müsste das nicht unbedingt nachteilig sein. Nun endigen aber praktisch in allen Sendeanlagen Energiezufuhr- und Fernmeldeleitungen. Zwischen diesen und der Sendeanlage tritt dann fast die ganze Erdungsspannung auf, eine Isolation ist für die Fernmeldeleitungen in den meisten Fällen nicht verwirklichbar.

Man kann die Spannung zwischen den Kabeladern und dem Erdungssystem um Grössenordnungen reduzieren, wenn man die Kabelmäntel mit dem Erdungssystem verbindet. Zwischen den Adern und dem Mantel (und damit dem Erdungssystem) wird dann nur der Spannungsabfall wirksam, der durch den Blitzstromanteil längs des Kabelmantels entsteht. Bei Kabeln mit normalem Aufbau kann diese Spannung, besonders in Gebieten mit schlechter Bodenleitfähigkeit, schon bei mässigen Blitzströmen Werte annehmen, die zum Durchschlag des Kabels führen. Mit geeigneten Kabelkonstruktionen oder -kanälen (siehe Abschnitt 7) lässt sich die Spannungsbeanspruchung der Kabel auch bei hohen Blitzströmen in zulässigem Rahmen

halten. Dafür verläuft nun ein beträchtlicher Blitzstromanteil von der Einschlagstelle in die Kabelmäntel. Dieser Strom fliesst über das interne Erdungssystem und erzeugt dort Spannungsabfälle, die unter Umständen die durch Leitungen verbundenen Ausrüstungen gefährden können.

Bei den für die Erdungsleitungen verwendeten Querschnitten kann allerdings der Realteil des Spannungsabfalles vernachlässigt werden, das gilt aber nicht für den induktiven Spannungsabfall. Man kann für ein Erdband mit einer Induktivität von etwa 1 μH/m rechnen, dieser Richtwert ist nur wenig von den Abmessungen des Querschnittes abhängig; er gilt allerdings nur für den Fall, dass sich der Leiter, mit dem der Spannungsabfall abgegriffen wird, in einem gewissen Abstand vom Erdungsleiter befindet. Dann bewirkt ein Strom mit einem zeitlichen Gradienten von 1 kA/μs einen Spannungsabfall von etwa 1 kV/m.

Bei kleinerem Leiterabstand wird diese Kopplungsimpedanz kleiner:

$$L_K \approx 2 \cdot 10^{-7} \ln a/r \quad (H/m) \quad (\text{gültig für } a \geq 2r)$$

worin a Achsabstand Erdungsleiter – gefährdeter Leiter
r Radius des Erdungsleiters

Die Anordnung eines einzelnen Antennenkabels mit einem Aussenleiterdurchmesser von 50 mm mit einem Niederspannungskabel ergibt zum Beispiel bei 50 mm Achsabstand eine Kopplungsimpedanz von 0,14 μH/m. Diese Kopplungsinduktivität verringert sich noch mehr, wenn sich der Strom auf mehrere parallelgeschaltete Leiter verteilt. Da aber mit Längen von über 100 m und mit beträchtlichen Stromsteilheiten gerechnet werden muss, sind auch bei scheinbar günstigen Leiteranordnungen grosse Spannungen zu erwarten.

3. Messresultate

In einigen Sendeanlagen, in denen Schäden an Ausrüstungen bei Blitzeinschlägen aufgetreten waren, untersuchten wir die sehr unübersichtlichen Kopplungsverhältnisse zwischen Blitzstrom und Spannungsabfällen im gebäudeinternen Erdungssystem. Wir speisten dazu aus einem Stossgenerator, der an Hilfserden in wenigstens 100... 150 m Abstand geerdet war, einen Stossstrom in die obere Turmhälfte ein. Es ist natürlich illusorisch, mit dieser Messanordnung Stromamplituden erreichen zu wollen, die auch nur im entferntesten mit den tatsächlich zu erwartenden Blitzströmen vergleichbar sind. Dies ist aber gar nicht nötig, da auch aus Messungen mit kleinen Strömen ohne weiteres linear extrapoliert werden darf. Viel wichtiger als eine vergleichbare Amplitude ist der zeitliche Verlauf des Stossstromes, er muss vor allem einen hohen zeitlichen Stromgradienten (kleine Frontdauer) aufweisen. Wir konnten daher einen kleinen Stossgenerator mit 20 kV Amplitude

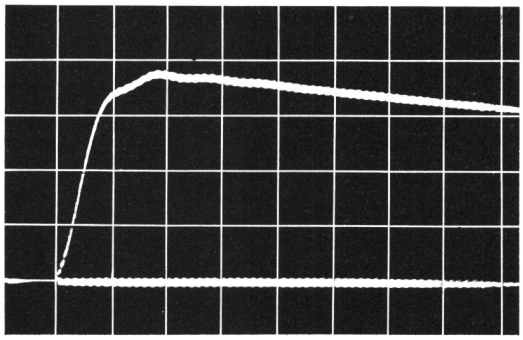

Fig. 1
Zeitlicher Verlauf des in den Turm fliessenden Prüfstromes
Zeitmassstab: 2 μs/Teilstrich
Strommassstab: 5 A/Teilstrich

verwenden, dem wir einen induktionsfreien Widerstand von 500 Ohm in Reihe schalteten, gegenüber dem die Induktivitäten unserer Anschlussleitungen vernachlässigbar waren. So wurde ein Stossstrom von maximal 40 A Amplitude mit einer Frontzeit von etwa 2 μs erzeugt. Mit einem Kathodenstrahloszillographen registrierten wir die uns interessierenden Spannungen; zum Beispiel zwischen der Niederspannungs-Verteiltafel und der Turmbeleuchtung oder den einzelnen Sendern. Spannungen von 250 V/kA zwischen den einzelnen Ausrüstungen im Gebäude und das Mehrfache davon für ungeschützte Turmbeleuchtungskabel können ohne weiteres auftreten. Bei Blitzen von beispielsweise 50 kA sind damit Spannungen von mehr als 10 kV zwischen den einzelnen Teilen des Gebäudes zu erwarten, die nicht nur Steuer- oder Modulationsleitungen, sondern auch Niederspannungsleitungen gefährden können *(Fig. 1 und 2)*.

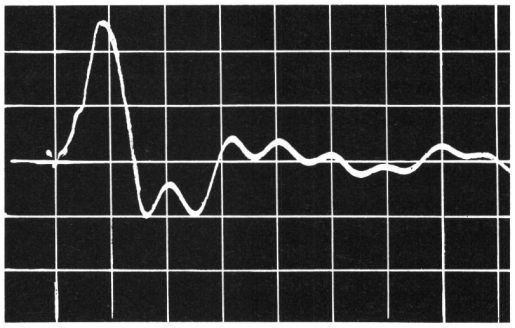

Fig. 2
Zeitlicher Verlauf der Spannung zwischen Turmleuchten und Niederspannungsverteiltafel beim Prüfstrom nach Figur 1
Zeitmassstab: 2 μs/Teilstrich
Spannungsmassstab: 4 V/Teilstrich

Bei einem Stossstrom von 50 kA Amplitude und der angegebenen Zeitfunktion ist in dieser Anlage mit einer Spannung von 25 kV zu rechnen. Ursache der Spannung: Das zur Schirmung der Leitung verwendete Rohr wies an drei Stellen Unterbrüche auf, die mit Leitern von unzulässig hoher Induktivität überbrückt waren. Eine behelfsmässige Verbesserung einer Überbrückung an einer Stelle reduziert die Spannung auf weniger als die Hälfte.

Die Kopplungsinduktivitäten, die an Anlagen mit unbefriedigender Betriebssicherheit gemessen wurden, liegen im allgemeinen zwischen 0,2 und 1 μH, es wurden aber auch grössere Werte festgestellt.

4. Besonders gefährdete Anlageteile

Es ist nicht möglich, alle gefährdeten Stromkreise einer Anlage gegen Spannungen von einigen kV gegen Masse zu isolieren. Man kann Rücküberschläge, und damit Schäden an den Ausrüstungen, nur verhüten, wenn man die Spannungen unterhalb eines bestimmten Grenzwertes hält, der von der Art der betreffenden Ausrüstung abhängt. Eine Niederspannungsanlage ist normalerweise für eine Prüfspannung von 2 kV_{eff} gegen Masse isoliert. Da der Nullleiter in den Sendeanlagen nur an einem Punkt geerdet und in der ganzen übrigen Anlage isoliert geführt ist, darf man ohne Gefährdung der Niederspannungsanlage eine Stossspannung von 3 kV Scheitelwert zwischen beliebigen Punkten des Erdungsnetzes zulassen. Voraussetzung ist allerdings, dass auch alle Verbraucher (Geräte mit Transformatoren, Motoren, usw.) eine Stossspannungsfestigkeit von wenigstens 3 kV zwischen Anschlussklemmen und Masse aufweisen.

Bei höheren Spannungen, wie sie besonders in ungeschützten Kabeln für die Turmbeleuchtung auftreten, ereignen sich Überschläge zwischen Masse und einem der vier Leiter des Dreiphasensystems. Dadurch überlagert sich der Betriebsspannung eine Stossspannung, die in irgendeinem Anlageteil Schäden verursachen kann.

Bedeutend kritischer sind die Verhältnisse für die Gleichstrom-Speisesysteme in modernen Anlagen mit Halbleiterbestückung. Trotz der Tendenz, in den gespeisten Ausrüstungen individuelle Gleichspannungswandler einzubauen, wird man noch während langer Zeit mit mehrfacher Erdung des Plusleiters rechnen müssen. Ein Spannungsabfall im Erdungssystem wird dadurch fast ungeschwächt in das Speisesystem eingekoppelt. Es scheint nicht, dass beim Entwurf aller heute gebräuchlichen Geräte diese Spannungsbeanspruchung an den Speiseklemmen genügend berücksichtigt wurde.

Besonders gefährdet sind die Systeme zur Informationsverarbeitung, wie Steuer- und Messleitungen oder Niederfrequenz-Modulationsleitungen. Würde man zum Beispiel einen Steuerstromkreis zwischen zwei Ausrüstungen über Masse betreiben, so hätte er in einer Sendeanlage herkömmlicher Bauart keine grosse Chance, einen Blitzeinschlag in den Mast zu überleben, wenn beim Entwurf der Baugruppen nicht Rücksicht auf die Spannungsbeanspruchung genommen würde. Die Praxis zeigte aber, dass auch Leitungen, die von halbleiterbestückten Printplatten zu den von Masse isolierten Relaiskontakten einer Fernsteuereinrichtung führen, stark gefährdet sind. Der Spannungsabfall, der bei einem Blitzeinschlag im Erdungsnetz über eine Entfernung von oft nur 10...20 m entsteht, genügt für einen Überschlag der Isolation der Relaiskontakte gegen Masse. Es genügt dann schon eine kleine Energie, um einzelne Halbleiterbauteile zu zerstören, wenn bei der Entwicklung der Baugruppen nicht auf eine bestimmte Überspannungsfestigkeit geachtet wurde.

Die höchste Gefahr besteht für jene Leitungen, die von dem aus dem Tal herführenden Fernmeldekabel in den Sender münden. Werden einzelne Aderpaare ohne Schutzmassnahmen in die Ausrüstung geführt, so überbrücken sie zwischen dem Kabelkopf und dem Endpunkt einen Spannungsabfall, dem die normal ausgeführte Aderisolation des Kabels nicht gewachsen ist. Ein Kabel, das für Mantelströme von 100 kA gebaut ist, wird unter Umständen an zahlreichen Stellen durch eine einzige Überspannung im internen Erdungssystem des Senders zerstört. Um dieser Gefahr zu begegnen, wurden daher schon in den ersten Anlagen Trennübertrager eingebaut, die sich gut bewährt haben. Die vielseitigen Bedürfnisse zur Informationsübertragung brachten es aber mit sich, dass in einigen Fällen die Übertrager ausgebaut wurden, um vorübergehend Leitungen mit Gleichstromübertragung betreiben zu können. Dadurch wird das Fernmeldekabel einer sehr grossen Gefährdung ausgesetzt; in einem dieser Fälle wurde ein Kabel bereits wenige Wochen nach Abschluss der Montagearbeiten schwer beschädigt.

5. Schutzmassnahmen an Neubauten

Man begegnet noch heute zuweilen der Auffassung, dass der Versuch aussichtslos sei, alle komplizierten und empfindlichen Geräte, aus denen sich ein moderner Ultrakurzwellen- oder Fernsehsender zusammensetzt, wirksam gegen direkte Blitze in den Sendeturm zu schützen. Eine nüchterne Analyse der Schadenursache zeigt aber bald, dass ein wirksamer Schutz durchaus mit tragbarem Aufwand zu verwirklichen ist, wenn schon beim Entwurf der Anlage eine physikalisch richtige Disposition gewählt wird.

Es gibt grundsätzlich drei Möglichkeiten, die gefährdeten Spannungsabfälle in internen Erdungssystemen zu vermeiden:

1. Das interne Erdungssystem wird so aufgebaut, dass auch hohe Ströme keine nennenswerten Spannungsabfälle verursachen, seine Impedanz muss in einem Frequenzbereich von 0...1 MHz sehr klein sein. Dazu genügt es nicht, mehrere Erdungsleiter zwischen den kritischen Teilen des Gebäudes zu verlegen; besser ist es schon, die Gebäudearmierung in das Erdungssystem einzubeziehen. Aber auch dann können die Spannungsabfälle bei exponierten Anlagen unzulässig hoch werden. Ideal ist es hingegen, die Anlage mit einem Faradaykäfig zu

umgeben, der bei Betonbauten zum Beispiel aus einer verlorenen Schalung besteht; bei Stahlskelettbauten werden Wandelemente mit wenigstens einseitiger Blechbekleidung verwendet. Wichtig ist, dass diese auf ihrer ganzen Länge in gegenseitigem elektrischem Kontakt stehen. Dazu genügen etwa Schraubverbindungen in einigen dm Abstand; unzulässig ist aber eine Montage mit Gummidichtung und Erdbändern zu deren Überbrückung. Mit dem Schirm werden die metallischen Umhüllungen aller Leitungen an der Eintrittsstelle impedanzarm verbunden.

2. In einem unvollkommenen Erdungssystem werden alle Leitungen mit einem beidseitig impedanzarm an Masse gelegten Schirm umgeben. Dieser kann beispielsweise aus einem metallenen Kabelmantel oder aus impedanzarm durchverbundenen Blechkanälen bestehen.
   Diese Lösung beschränkt die Freiheit in der Gestaltung der Installation oft sehr stark und kommt daher bei Neuanlagen nur für gewisse Anlageteile in Frage (Kabel im Turm, Leitungen zwischen verschiedenen Gebäuden).
3. Man sorgt dafür, dass der Blitzstromanteil im internen Erdungsleiternetz verschwindend klein wird. Dazu ist es nötig, alle Leitungen an einem einzigen Punkt in das Gebäude zu führen und dort impedanzarm miteinander zu verbinden. Dazu gehören alle Leiter, die Blitzstrom zuführen (Antennenkabel, Wellenleiter, Turmbeleuchtungskabel) und die Leitungen, die den Blitzstrom wegführen (Hoch- und Niederspannungskabel, Fernmeldekabel, Wasserleitung, Anschluss an die Erder).

In den meisten Fällen wird die Variante 3 am günstigsten sein. Die Aufgabe, die Leiter impedanzarm zu verbinden, wird am besten so gelöst, dass man alle Leiter durch eine Blechtafel führt und sie mit dieser durch einen möglichst kurzen Leiter (beispielsweise höchstens 100 mm lang) verbindet. Dieses Prinzip sollte immer möglichst kompromisslos angewendet werden, auch wenn dadurch Mehrlängen an Kabeln von zum Beispiel 100 m oder mehr in Kauf genommen werden müssen. Aus übertragungstechnischen Gründen müssen hingegen die Hochfrequenzkabel und Wellenleiter möglichst kurz gehalten werden, sie bestimmen die Stelle der Kabeleinführung.

Es gibt allerdings Fälle, in denen die saubere Durchführung des Prinzips Schwierigkeiten bietet oder dieses sogar unmöglich ist. Trotzdem noch keine Messungen vorliegen, scheint es zulässig, Kabel sowohl in einem Bodenkanal als auch in etwa 2...3 m Höhe direkt übereinander einzuführen, wenn diese mit einem Blech von 1 m Breite und 1...2 mm Dicke (Material Nebensache) verbunden werden.

Unabhängig vom angewendeten Schutzprinzip müssen alle Kabel, die auf den Turm führen, vor einer unzulässigen Spannungsbeanspruchung durch den hohen induktiven Spannungsabfall des Blitzstromes in der Turmkonstruktion geschützt werden. Bei Koaxialkabeln mit grossem Aussenleiterquerschnitt wird allerdings die Längsspannung mit Sicherheit klein im Verhältnis zur Betriebsspannung. Auf alle Fälle müssen aber Niederspannungskabel oder Signal- und Fernmeldekabel durch ein Eisenrohr geschützt werden, das lückenlos über die ganze Länge zu führen ist und impedanzarm verbunden werden muss. Wird über einen Teil der Turmhöhe ein am ganzen Umfang geschlossener Blechkanal geführt, genügt es, das Schirmrohr etwa 1 m weit in den Kanal einzuführen und mit diesem an zwei Punkten (Rohrende und 80 cm vorher) zu verbinden.

Im Erdboden entstehen in Turmnähe bei einem Blitzeinschlag hohe Potentialgradienten, die sich unter bestimmten Umständen fast ungeschwächt auf das Gebäude übertragen können und dort das Personal und die technischen Einrichtungen gefährden. Eine gute Potentialsteuerung lässt sich in armierten Bauten erreichen, wenn man für einen guten Kontakt zwischen den Armierungseisen sorgt. Normalerweise genügt für diesen Zweck die Verbindung der einzelnen Stäbe durch die allgemein üblichen Bindedrähte, wenn schon diese Verbindungen bei angerosteten Stäben nicht gerade ideal sind. Zusätzliche Verbindungen sind aber unbedingt zwischen den einzelnen Feldern von Armierungseisen zur Überbrückung von Dilatationsfugen nötig; gegenseitiger Abstand dieser Verbindungen 1 bis höchstens 2 m. In unarmierte Böden sind leichte Armierungsdrahtnetze einzulegen, die ebenfalls unter sich zu verbinden sind. Die Armierung wird zuverlässig mit den Kabeln an deren Eintrittsstelle in das Gebäude verbunden.

Besondere Probleme entstehen in Anlagen, bei denen der Turm direkt mit dem Gebäude verbunden ist. Es ist dann nicht zu vermeiden, dass der Blitzstrom über die Gebäudekonstruktion fliesst; so dass die Lösungen 1 (Faradaykäfig), oder 2 (geschirmte Leitungen) angewendet werden müssen. Ähnliche Probleme entstehen bei grossen Richtstrahlstationen, die mit einem Stahlgerüst umgeben sind, auf denen die Spiegel stehen.

6. Schutzmassnahmen an bestehenden Bauten

Bedeutend komplizierter ist es, die Widerstandsfähigkeit bestehender Bauten gegen Blitzströme zu verbessern. Es ist oft aussichtslos, mit einem tragbaren Aufwand die zahlreichen Kabel und Erdungsnetzanschlüsse, die aus dem Gebäude einer grösseren Anlage ins Freie führen, so umzulegen, dass sie an einer einzigen Stelle ins Gebäude eingeführt sind. Trotzdem kann die Betriebssicherheit der Anlage oft durch folgende Änderungen stark verbessert werden:

1. Die Mäntel und Aussenleiter aller Antennenkabel und Wellenleiter sind beim Eintritt ins Gebäude, oder wenn ihr gegenseitiger Abstand dort grösser ist als etwa 2 m, im Turmfuss unter sich zu verbinden und mit einem möglichst kurzen Leiter mit dem Erdungssystem oder der

Turmkonstruktion zu verbinden. Man verhindert so, dass der Spannungsabfall des Blitzstromes, der durch die in verschiedenen Höhen endenden Kabel am Turm abgegriffen wird, Ausgleichsströme im internen Erdungsnetz verursacht. Wenn möglich sind auch die Fernmelde- und Energieversorgungskabel mit möglichst kurzen Leitern mit den Antennenkabeln zu verbinden.

2. Eine Kontrolle des internen Erdungsleiternetzes zeigt, ob die Spannungsabfälle im Gebäude durch zusätzliche Erdungsbänder verkleinert werden können. Die Erdungsleiter sind am wirksamsten, wenn sie möglichst nahe bei den Kabelbündeln, die die einzelnen Apparate verbinden, verlegt sind.
3. Kabel zwischen besonders anfälligen Ausrüstungen sind durch geschirmte Kabel zu ersetzen. Der Schirm muss beidseitig impedanzarm mit dem Metallgehäuse («Masse») der Apparate verbunden werden. Der Schirm muss einen Widerstand von höchstens einigen mΩ/m aufweisen; am besten eignen sich geschlossene Schirme (Bleimantel, Cu-Wellmantel, längs eingelegtes Cu- oder Al-Band mit überlappter Fuge); günstig können sich auch Geflechtschirme verhalten, deren Steigung und Oberflächenbedeckung allerdings sorgfältig aufeinander abgestimmt sein müssen [4]. Wesentlich ungünstiger verhalten sich Schirme aus zwei gegenläufigen Cu- oder Al-Bändern, noch schlechter einzelne Bänder oder zwei Bänder mit gleichem Wicklungssinn. Gänzlich wirkungslos sind flexible Metallschläuche aus einem wendelförmig aufgewickelten Band. In jedem Fall sind die auf den Turm führenden Kabel durch einen guten Schirm wirksam gegen Überspannungen zu schützen (s. Abschnitt 5 und *Fig. 3*).
4. Ein metallener Kabelkanal, sogar wenn er oben offen ist, gibt den inliegenden Leitungen einen gewissen Schutz, wenn dafür gesorgt wird, dass der Kanal über den ganzen Querschnitt einigermassen gleichmässig vom Strom durchflossen werden kann.

7. Schutz von Fernmelde- und Energieversorgungskabeln

Ein Kabel, das an eine blitzgefährdete Sendeanlage angeschlossen ist, kann durch Spannungen, die als Folge der Spannungsabfälle im internen Erdungsnetz zwischen den Adern und dem Mantel auftreten (äussere Überspannungen) oder durch hohe Mantelströme, die einen unzulässigen Spannungsabfall auf dem Mantel verursachen (innere Überspannungen), gefährdet werden.

7.1 Schutz der Fernmeldekabel gegen äussere Überspannungen

Die Trennübertrager, mit denen bisher die Kabel gegen Überspannungen aus dem internen Erdungsnetz geschützt wurden, werden neuerdings aus den in Abschnitt 4 genannten Gründen durch Überspannungsableiter ersetzt [5]. Damit können Adern direkt aus dem Kabel an beliebige Punkte der Anlage geführt werden. Ereignet sich nun in der Anlage ein Überschlag zwischen der Ader und der Masse, so wird die im Erdungsnetz abgegriffene Spannung durch den Überspannungsableiter am Kabeleingang auf einen ungefährlichen Wert begrenzt. Man muss sich aber bewusst sein, dass mit dieser Konzeption Enttäuschungen nur dann ausbleiben, wenn zwei Forderungen kompromisslos erfüllt sind:

1. Die Ableiter müssen impedanzarm zwischen Ader und Bleimantel geschaltet werden *(Fig. 4)*, bei exponierten Anlagen kann schon ein kurzes Anschlusskabel, mit dem die Ableiter parallel auf die Kabeladern aufgespleisst werden, eine zu hohe Impedanz haben. Besonders schädlich sind Erdungsleiter zwischen den Ableiterblöcken und dem Bleimantel, in ihnen entstehen hohe induktive Spannungsabfälle. Fliesst der Strom aber über den Bleimantel, so werden die in ihm liegenden Adern nur dem verhältnismässig kleinen ohmschen Spannungsabfall ausgesetzt.
2. Ein einziger defekter Ableiter führt unfehlbar zu einem Kabelfehler. Die Zuverlässigkeit der Ableiter ist zwar heute sehr gross, man muss aber trotzdem mit gelegentlichen Ausfällen rechnen. Die Ableiter müssen daher mindestens zweimal jährlich mit einem Ableiterprüfgerät [6] kontrolliert werden, was, verglichen mit dem Arbeits-

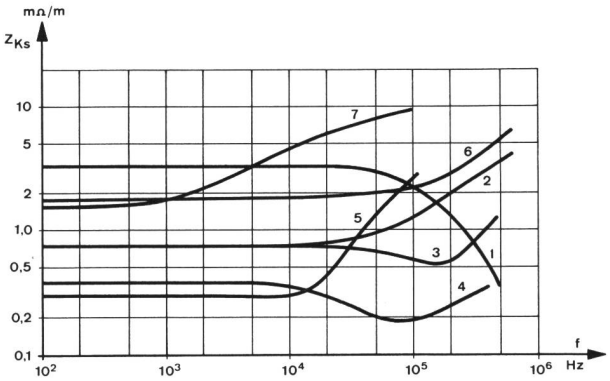

Fig. 3
Kopplungsimpedanz verschiedener Kabelumhüllungen

1 Bleimantel 14 mm Durchmesser, 1,6 mm Dicke
2 Einfachgeflecht mit ungeeignetem Aufbau
3 Einfachgeflecht mit einer auf den Geflechtwinkel abgestimmten Oberflächenbedeckung
4 Doppelgeflecht
5 Ceander: 48 Cu-Drähte von 1,29 mm Durchmesser lückenlos wellenförmig auf dem Umfang angeordnet
6 2 Cu-Bänder 35×0,3 mm gegensinnig
7 2 Cu-Bänder 35× 0,3 mm gleichsinnig

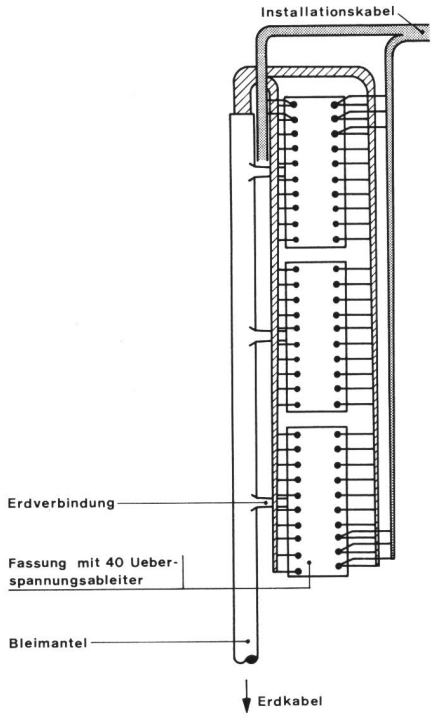

Fig. 4
Anordnung der Ableiter für den optimalen Schutz eines Kabels gegen äussere Überspannungen (Überspannungen aus der Installation)

aufwand für den Unterhalt der Sendeanlage, kaum ins Gewicht fällt. Bei besonders exponierten Anlagen werden zur Sicherheit auf jeder Ader zwei Ableiter parallel geschaltet.

7.2 Schutz der Fernmeldekabel gegen innere Überspannungen

Gegen die Wirkung hoher Mantelströme kann das Kabel geschützt werden, indem man den Spannungsabfall durch einen Mantel sehr kleiner Kopplungsimpedanz, zum Beispiel mit geschichtetem Aufbau [7] unterhalb der Durchschlagspannung des Aderbündels hält. In Gebieten mit verhältnismässig guter Bodenleitfähigkeit kann schon ein Kabel mit Aluminiummantel und doppelter Flachdrahtarmierung genügen, vor allem, wenn man eine Thermoplast-Aderisolation vorsieht.

Einen einwandfreien Schutz erzielt man auch, wenn man ein Kabel mit normalem Aufbau in ein Eisenrohr oder in einen Eisenkanal mit mindestens 3,5 mm Wandstärke legt. Die Spannung, die in diesem Kabel unter dem Einfluss von hohen Stossströmen auftritt, hängt praktisch nur von der Impedanz der Stossverbindungen ab. Diese sind besonders kritisch, wenn ein Kabel verwendet wird, das nicht mit einem Schirm versehen ist, dessen Längswiderstand ungefähr dem eines Bleimantels entspricht.

Damit der Blitzstrom auf einer möglichst kurzen Strecke austreten kann, muss das Kabel (oder der Schutzkanal) auf der ganzen Länge in möglichst gutem Kontakt mit dem Boden stehen.

Die Mindestlänge des Spezialkabels oder des Schutzkanals hängt von der Bodenleitfähigkeit ab. Auch in gutleitendem Boden ist es nötig, die Schutzmassnahmen auf wenigstens 500 m Länge vorzusehen, in sehr schlecht leitendem Boden können einige km (also meistens die ganze Kabellänge bis zur nächsten Vermittlungsstelle) nötig sein. Man muss sich auch bewusst sein, dass man zudem mit direkten Einschlägen in das Kabel rechnen muss; besonders gefährdet sind gegen Westen gerichtete Hänge.

7.3 Schutz von Starkstromkabeln

Niederspannungskabel sind auf die gleiche Art wie Fernmeldekabel gegen äussere und innere Überspannungen zu schützen; an Stelle der Gasableiter werden aber die Überspannungsableiter für Niederspannungsnetze verwendet.

Die Stossspannungsfestigkeit von Hochspannungskabeln reicht in jedem Fall aus zur Beherrschung der innern Überspannungen, wenn ein Kabel mit einem Schirm verwendet wird, der direkt mit dem Boden in Kontakt steht und seine Längsimpedanz etwa 1 Ω/km nicht überschreitet. Trotzdem sind auch Hochspannungskabel durch Blitze ziemlich stark gefährdet, so dass beim Bau der Kabelanlage gewisse Richtlinien beachtet werden müssen.

In vielen Fällen bildet das Kabel die Verlängerung einer Freileitung. Am Kabelmast müssen dann unbedingt Spannungsableiter eingebaut werden, um das Kabel gegen die auf der Freileitung zu erwartenden Überspannungen zu schützen. Die Erdklemme der Ableiter muss mit einem möglichst kurzen Leiter mit dem Kabelmantel oder der Kabelarmierung verbunden werden, damit die Spannung im Kabel wirksam begrenzt wird. Da am Kabelende durch die Reflexionen ebenfalls Überspannungen auftreten können, sind Ableiter auch im Sendegebäude einzubauen.

Die schwache Stelle vieler Hochspannungskabel ist die Korrosionsschutzschicht zwischen Bleimantel und Armierung. Nicht nur eine Bandarmierung, sondern auch eine einlagige Flachdrahtarmierung hat bei hohen Frequenzen, wie sie in der Front des Stossstromes enthalten sind, eine hohe Impedanz. Bei einem Blitzeinschlag in das Kabel tritt eine sehr hohe Spannung zwischen Armierung und Bleimantel auf, der die dazwischenliegende Isolation nicht widersteht. Bei der vielfach üblichen Papier-Jute-Schicht genügt schon der unterschiedliche Spannungsabfall in Armierung und Mantel, den der vom Kabel übernommene Strom verursacht, um in den ersten 50 m nach der Sende-

anlage einen Durchschlag hervorzurufen. Werden nun Armierung und Mantel im Sender nicht impedanzarm verbunden, sondern über einen Draht von beispielsweise 1...2 m Länge, so erhöht sich die Gefahr beträchtlich.

Gegen diese Durchschläge, die zum Schmelzen des Mantels und damit zu einer Beschädigung der Phasenleiterisolation führen, kann man die Hochspannungskabel auf zwei Arten schützen:

1. Ein Bleikabel erhält einen 3 mm dicken Thermoplastmantel über dem Bleimantel und darüber eine doppelte Flachdrahtarmierung mit möglichst grosser Steigung und entgegengesetztem Wicklungssinn. Die Impedanz wird bei hohen Frequenzen am günstigsten, wenn die Steigung der äussern Lage etwas kleiner ist als die der innern, was am besten mit gleichen Drahtzahlen für beide Lagen erreicht wird. Bei einem Thermoplastkabel genügt die doppelte Flachdrahtarmierung.
2. Ein normales Kabel beliebiger Konstruktion wird in einen Eisenkanal nach Abschnitt 7.2 verlegt.

8. Erder

Dem Erder («Erdungsnetz» oder «Erdelektrode») wurde früher entscheidende Bedeutung für die Verhütung der Schäden an Anlageteilen zugemessen. Es mag daher erstaunen, dass er erst im Schlusskapitel dieser Arbeit behandelt wird.

Für die Spannungsabfälle im internen Erdungssystem der Anlage spielt der Erdungswiderstand der Anlage, und damit die Eigenschaften des Erders, nur eine untergeordnete Rolle. Der Erderwiderstand (also der Erdungswiderstand bei abgetrennten Versorgungsleitungen) beeinflusst aber die Stromverteilung zwischen Erder und Zuführungskabeln sehr stark: mit einem kleinen Erderwiderstand kann man zum Beispiel den Mantel des Fernkabels stark vom Blitzstrom entlasten. Da aber meistens ohnehin Kabel verlegt werden, die gegen Stossströme verhältnismässig widerstandsfähig sind, begnügt man sich im Normalfall mit etwa sechs strahlenförmig ausgelegten Bändern von etwa 30 m Länge, die direkt am Turm angeschlossen sind und durch einen Ring von etwa 20 m Durchmesser unter sich verbunden sind. Um Korrosionen durch Elementbildung an den mit dem Erder verbundenen Kabeln zu vermeiden, werden nicht Kupfer-, sondern feuerverzinkte Stahlbänder 3 × 25 mm verwendet.

Bibliographie

[1] *Berger K. und Vogelsanger E.* Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 56 (1965) 15, S. 2...22.

[2] *Schwab F.* Berechnung der Schutzwirkung von Blitzableitern und Türmen. Bull. SEV 56 (1965) 17, S. 678...683.

[3] *Rühling F.* Modelluntersuchungen über den Schutzraum und ihre Bedeutung für Gebäudeblitzableiter. Bull. SEV 63 (1972), 10, S. 522...528.

[4] *Homann E.* Geschirmte Kabel mit optimalen Geflechtschirmen. NTZ – (1968) 3, S. 155...161.

[5] *Brumm G. und Meister H.* Edelgasableiter als Überspannungsschutz in Fernmeldeanlagen. Techn. Mitt. PTT 44 (1966) 9, S. 273...287.

[6] *Häusermann S. und Utz W.* Ableiterprüfgerät 69, Prototyp Techn. Mitt. PTT 47 (1969) 10, S. 446...447.

[7] *Meister H. und Utz W.* Verhalten von Kabeln mit geschichtetem Aufbau. Techn. Mitt. PTT 47 (1969) 1, S. 30...37.