

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: 56 (1978)

Heft: 5

Artikel: Einige Überspannungsschutzprobleme aus der Praxis = Problèmes pratiques de protection contre les surtensions

Autor: Montandon, Eric

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875204>

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: 30.04.2026

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

Zusammenfassung. *Da die digitale Technologie störungs- und zerstörung-anfällig ist als die bisherige, stösst der Begriff elektromagnetische Verträglichkeit (EMC) mehr und mehr auf offene Ohren. Er ist jedoch im umfassenden Sinn so alt wie die Elektrizität selbst. Das Verhältnis zwischen Widerstandskraft und Störeinflüssen entscheidet, ob ein elektrisches System «gesund» oder «krank» ist. Vereinfachend können generell Überspannungen als «Krankheitserreger» eines elektrischen Systems bezeichnet werden. Ziel dieses Artikels ist es, auf das Grundsätzliche der Entstehung von Überspannungen und auf Möglichkeiten ihrer Bekämpfung hinzuweisen.*

Résumé. *Vu que les équipements en technique numérique sont plus sensibles aux dérangements et aux détériorations que la technique classique, la notion de compatibilité électromagnétique (EMC) retient de plus en plus l'attention. Dans son sens le plus général, cette notion est toutefois aussi ancienne que l'électricité elle-même. Le fait de savoir dans quelle mesure un système est réfractaire aux influences perturbatrices permet de déterminer son «état général». En simplifiant, on peut même considérer les surtensions comme les «agents pathogènes» pour un système électrique. Le but de cet article est de montrer les principales causes des surtensions et d'indiquer les moyens de les combattre.*

Alcuni problemi di protezione da sovratensioni, risultanti dalla pratica

Riassunto. *Dato che la tecnologia digitale è più soggetta a guasti e a distruzione di quella ordinaria, al problema della compatibilità elettromagnetica (EMC) si presta sempre maggiore attenzione. In un senso generale, la compatibilità elettromagnetica c'è da quando esiste l'elettricità. Il rapporto tra forza resistente e influssi perturbatori determina se un sistema elettrico è «sano» o «ammalato». Per semplificare, si può dire che in generale le sovratensioni possono essere caratterizzate quali «agenti patogeni» di un sistema elettrico. L'obiettivo del presente articolo è di mettere in rilievo i principi della formazione di sovratensioni e le possibilità di combatterle.*

1 Einleitung

Da man in der Praxis meistens zuerst mit den Folgen einer Überspannung konfrontiert wird, bevor man sich um deren Entstehung kümmert, werden auch hier zuerst die Folgen behandelt.

Grob gesehen, lassen sich die Überspannungen nach ihren Auswirkungen in zwei Kategorien aufteilen, nämlich in

- Überspannung in offenen Stromkreisen
- Überspannung in geschlossenen Stromkreisen

Zu den Auswirkungen der ersten Kategorie gehören Isolationsbeanspruchungen, die zu Über- oder Durchschlägen führen können.

Bei der zweiten Kategorie wird das Energieabsorptionsvermögen eines oder mehrerer Verbraucher des betroffenen Stromkreises beansprucht, indem die Überspannung einen bestimmten Überstrom verursacht. Das Produkt Überspannung \times Überstrom \times Zeit entspricht einer zusätzlichen Energie. Diese kann im betroffenen Stromkreis zu Fehlfunktionen oder auch zu Zerstörungen führen. Verbrannte Widerstände, Spulen, defekte Halbleiter, geschmolzene Sicherungen, Drähte und Leiterbahnen usw. sind die Folge.

Nimmt man diese grobe Klassierung unter die Lupe, stellt man bald fest, dass auch ein offener Stromkreis, wegen der Kapazität, welche die Isolation besitzt, für Spannungsänderungen kein wirklich offener Kreis ist. Dies führt zur Übertragung von Überspannungen auf die Elemente mit geringer Kapazität, so dass Überschläge und Durchschläge sich oft an Orten ereignen, wo man sie nicht erwartet. Selbstverständlich treten beide Überspannungsfolgen nur sehr selten für sich allein auf. Meistens entsteht eine Kettenreaktion, nach deren Ablauf die verbleibenden Trümmer die Abklärung des Störungsherganges erschweren. Hier kommt das Experiment zu Hilfe, mit dem es bei geschicktem Aufbau möglich ist, Ursachen und Folgen zu analysieren.

1 Introduction

Vu qu'en pratique on se voit d'abord confronté avec les conséquences d'une surtension, avant d'avoir à s'occuper de sa formation, il sera ici en premier lieu question des suites possibles. Dans les grandes lignes, on peut classer les surtensions d'après les effets qu'elles produisent, à savoir

- les surtensions dans les circuits ouverts
- les surtensions dans les circuits fermés

Parmi les effets de la première catégorie, il y a lieu de citer les sollicitations auxquelles est soumise l'isolation, qui peuvent provoquer des amorçages d'arcs ainsi que des claquages.

Dans la deuxième catégorie, la sollicitation s'applique au pouvoir d'absorption d'énergie d'un ou de plusieurs consommateurs du circuit considéré, en ce sens que la surtension engendre une certaine surintensité. Le produit de la surtension multipliée par la surintensité et le temps correspond à une énergie supplémentaire qui, dans le circuit considéré, peut conduire à un mauvais fonctionnement ou même à la destruction des équipements. Il en résulte souvent des résistances et des bobines brûlées, des semi-conducteurs défectueux, des fusibles, des fils et conducteurs fondus, etc.

En examinant ce classement sommaire de plus près, on s'aperçoit que la capacité de l'isolation d'un circuit ouvert se traduit par le fait que celui-ci n'est en réalité pas un circuit ouvert à l'égard des variations de tension. Les surtensions sont ainsi transmises aux éléments de faible capacité, si bien que des amorçages d'arcs et des claquages se produisent souvent à des points où l'on ne s'y attend pas. Il est bien entendu très rare que ces deux effets des surtensions se produisent isolément. On observe en général une réaction en chaîne, et les éléments détériorés qui subsistent permettent difficilement d'éclaircir l'origine du phénomène. A l'aide d'expériences et de dispositifs d'essai bien choisis, on parvient pourtant à en analyser les causes et les conséquences.

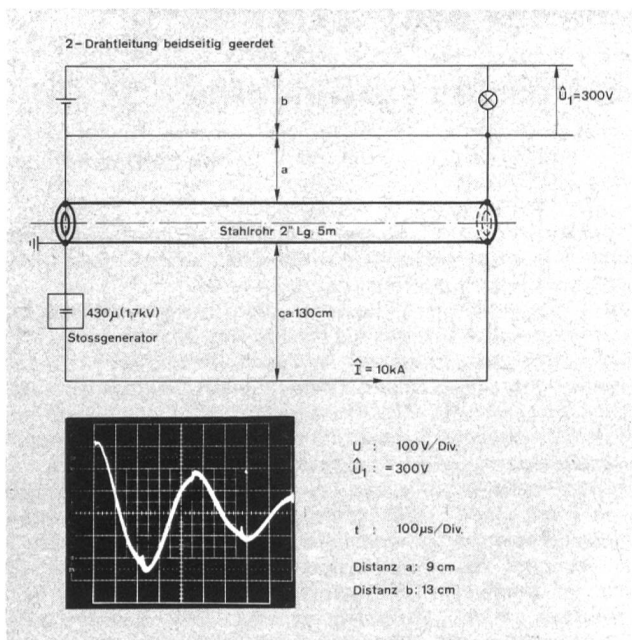


Fig. 1...6 Einfluss verschiedener Installationsarten auf die Grösse der induzierten Spannung entlang eines stromdurchflossenen Leiters; Stromverlauf (Stoss) — Influence qu'exercent les divers genres d'installation sur la grandeur de la tension induite dans un conducteur parcouru par un courant; allure du courant (choc)

Fig. 1
2-Draht-Leitung beidseitig geerdet — Ligne bifilaire mise à la terre des deux côtés
Stahlrohr 2'', Länge 5 m — Tuyau d'acier de 2'', longueur 5 m
Stossgenerator — Générateur de choc
Distanz — Distance

Wenn wir uns nun dem Entstehen der Überspannung zuwenden, so soll dabei das Experiment als Demonstrationmittel dienen.

2 Entstehen der Überspannung

Figuren 1...6 mit dem zugehörigen Oszillogramm sollen veranschaulichen, wo und mit welcher Intensität eine Überspannung in einem offenen oder geschlossenen Stromkreis von bestimmter Anordnung auftritt. Als beeinflusster Stromkreis dient jener einer Taschenlampenbatterie, die über eine von Fall zu Fall verschiedene Zweidrahtleitung ein 6-V-Lämpchen speist. Störquelle ist ein Stossgenerator, der in jedem Fall einen Störstrom in Form einer gedämpften Schwingung mit etwa 2,2 kHz Eigenfrequenz und einer maximalen Amplitude von 10 kA durch ein Stahlrohr fliessen lässt. Das Stahlrohr veranschaulicht ein Teilstück eines Erdleiters inner- oder ausserhalb eines Gebäudes. Der gestörte Stromkreis befindet sich in seiner Nähe und ist mit dem Erdleiterstück von Fall zu Fall unterschiedlich verbunden. Dieses Modell ist stellvertretend für viele in der Praxis auftretende Anordnungen, wie Stark- und Schwachstrom-Speisungen, Signalleitungen aller Art usw.

Figur 1 zeigt die Überspannung, die bei *beidseitiger* Erdung des einen Leiters des Lampenstromkreises am Lämpchen entsteht.

In Figur 2 ist der Lampenstromkreis nur *einseitig* geerdet. Man beachte aber die Spannung U_2 , die Figur 3 zeigt.

Wird nun bei *einseitiger* Erdung des Lampenstromkreises die Zweidrahtleitung verdreht, so entsteht am Lämpchen praktisch *keine* Überspannung mehr (Fig. 4).

La meilleure méthode d'examiner comment les surtensions prennent naissance est de recourir aux essais, en tant que moyen d'analyse.

2 Production d'une surtension

Les figures 1...6 et les oscillogrammes qui s'y rapportent montrent où et à quelle intensité une surtension se produit dans un circuit ouvert ou fermé d'une configuration donnée. Le circuit soumis à une influence est celui que forme une batterie de lampe de poche reliée par diverses lignes bifilaires à une lampe de 6 V. La source perturbatrice est un générateur de choc qui envoie dans chaque cas un courant perturbateur au travers d'un tube d'acier. Ce courant a la forme d'une oscillation amortie; sa fréquence propre est d'environ 2,2 kHz et son amplitude maximale de 10 kA. Le tube d'acier représente une section d'un conducteur de terre situé à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment. Le circuit perturbé se trouve à proximité et il est relié au conducteur de terre d'une manière différente dans chaque cas particulier. Ce modèle est caractéristique pour de nombreuses dispositions qui se présentent en pratique, telles que les alimentations en courant fort ou en courant faible, les lignes de signalisation de tout genre, etc.

La figure 1 montre la surtension qui se produit à la lampe en cas de mise à la terre *des deux côtés* d'un conducteur.

A la figure 2, on voit que le circuit de la lampe n'est mis à la terre que *d'un seul côté*. On remarquera cependant la forme intéressante de la tension U_2 de la figure 3.

Si, dans le cas de la mise à terre *d'un seul côté* du circuit de la lampe, la ligne à deux fils est torsadée, *aucune* surtension n'apparaît aux bornes de la lampe (fig. 4).

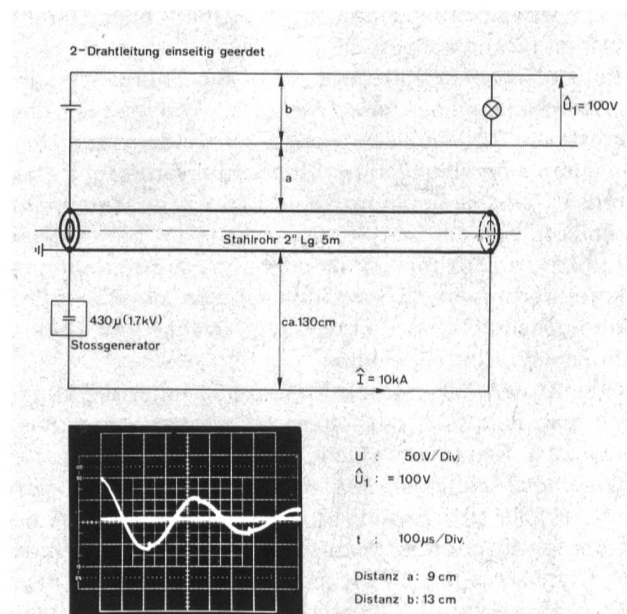


Fig. 2
2-Draht-Leitung einseitig geerdet — Ligne bifilaire mise à la terre d'un côté
Stahlrohr 2'', Länge 5 m — Tuyau d'acier de 2'', longueur 5 m
Stossgenerator — Générateur de choc
Distanz — Distance

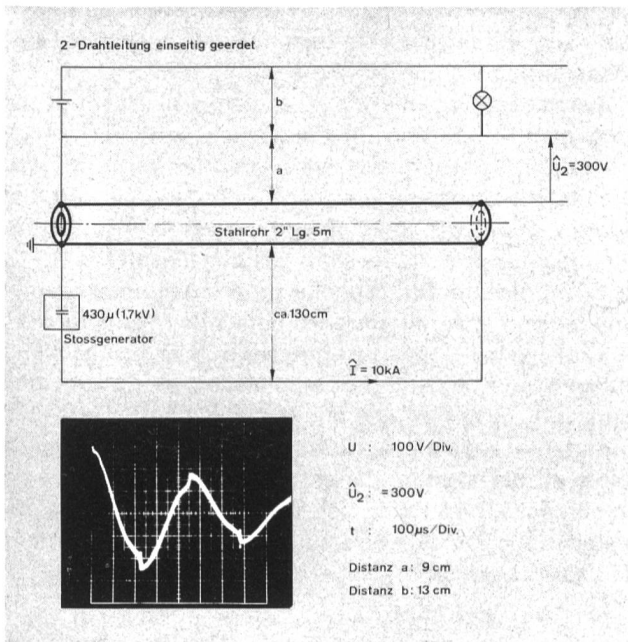


Fig. 3
2-Draht-Leitung einseitig geerdet — Ligne bifilaire mise à la terre d'un côté
Stahlrohr 2", Länge 5 m — Tuyau d'acier de 2", longueur 5 m
Stossgenerator — Générateur de choc
Distanz — Distance

Sobald jedoch selbst bei verdrehter Leitung eine Ader beidseitig geerdet wird, entsteht wiederum eine beachtliche Überspannung (Fig. 5).

Klein wird die Überspannung auch bei beidseitiger Erdung, wenn die Zweidrahtleitung durch das Stahlrohr hindurch verlegt ist (Fig. 6).

Diese Beispiele zeigen die wesentlichsten Bedingungen, die für das Entstehen mehr oder weniger grosser Überspannungen verantwortlich sind.

Unter Voraussetzung eines stromdurchflossenen Erdleiters — wie dies bei Blitzschlägen, Erdschlüssen, aber

Cependant, même dans le cas d'une ligne torsadée, si un conducteur est mis à la terre des deux côtés, on observe à nouveau une surtension importante (fig. 5).

En revanche, la surtension reste faible, même quand la ligne bifilaire est mise à la terre des deux côtés, lorsqu'elle traverse le tube d'acier (fig. 6).

Ces exemples montrent les conditions essentielles qui sont responsables de la production de surtensions plus ou moins importantes.

Dans tous les cas où le conducteur de terre est parcouru par un courant (décharges atmosphériques, mise à la terre d'un conducteur isolé, mais aussi en cas d'utilisation de la terre comme conducteur d'exploitation), on relève des surtensions dans tous les circuits exposés à l'influence du champ magnétique du conducteur de terre. Ce champ magnétique n'est absent qu'à l'intérieur du tube d'acier.

Dans tous les genres d'installations posées dans le rayon d'influence magnétique d'un conducteur de terre, la mise à la terre en plusieurs points du circuit d'exploitation a des conséquences néfastes, vu que la surtension se superpose à la tension d'exploitation.

Si le conducteur est mis à la terre en un point, la surtension se manifeste surtout en tant que tension d'isolation contre la terre.

Toutes les surtensions dont il a été question sont induites. Les exemples des circuits de démonstration prouvent clairement que de telles surtensions ne proviennent pas seulement de variations de courant dans les conducteurs de terre, mais aussi de variations de courant dans les circuits d'exploitation. Le tube d'acier ne doit, de plus, pas être considéré comme une partie du conducteur de terre, mais comme une partie quelconque d'un circuit d'exploitation. On réalise, ainsi, tout l'éventail des problèmes qui peuvent se présenter dans le domaine des influences réciproques lorsque des bou-

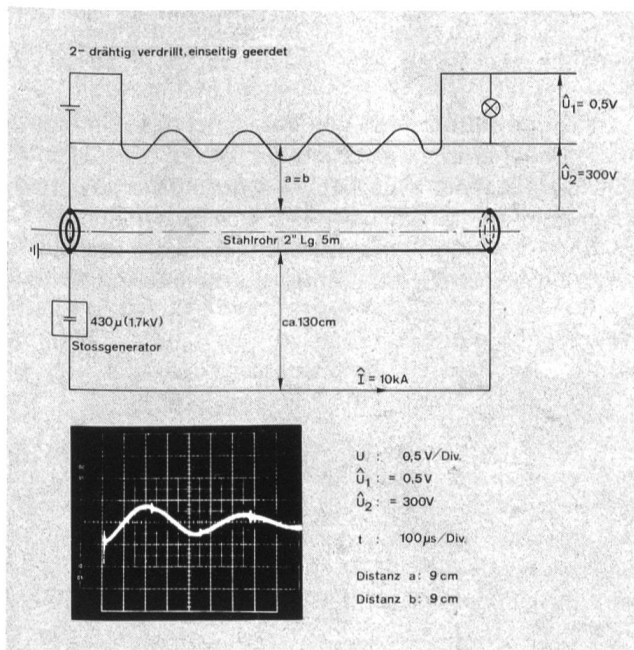


Fig. 4
2-drahtig verdreht, einseitig geerdet — Ligne bifilaire torsadée, mise à la terre d'un côté
Stahlrohr 2", Länge 5 m — Tuyau d'acier de 2", longueur 5 m
Stossgenerator — Générateur de choc
Distanz — Distance

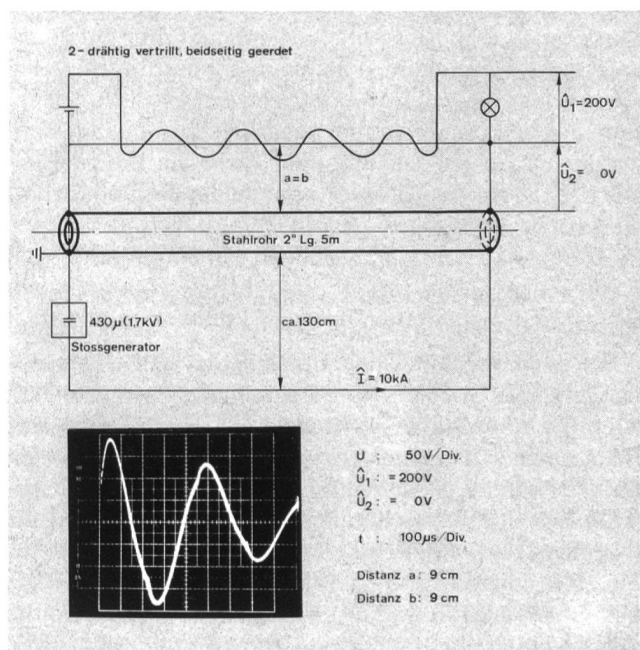


Fig. 5
2-drahtig verdreht, beidseitig geerdet — Ligne bifilaire torsadée, mise à la terre des deux côtés
Stahlrohr 2", Länge 5 m — Tuyau d'acier de 2", longueur 5 m
Stossgenerator — Générateur de choc
Distanz — Distance

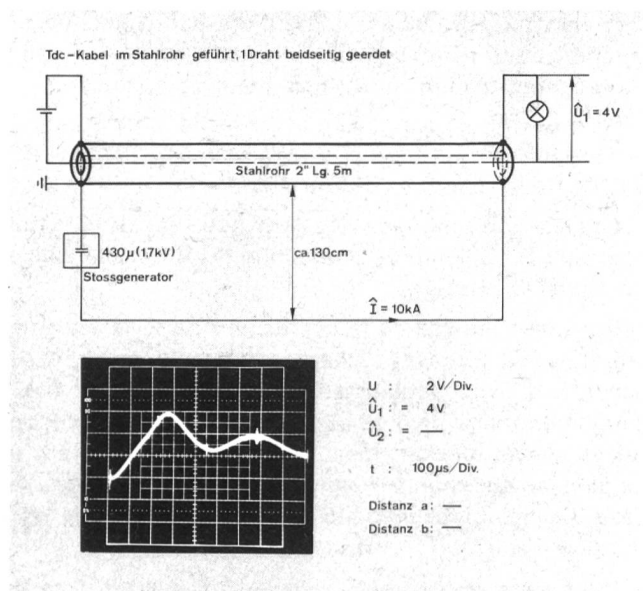


Fig. 6
Tdc-Kabel im Stahlrohr geführt, ein Draht beidseitig geerdet — Câble Tdc passant dans un tuyau d'acier, un fil mis à la terre des deux côtés
Stahlrohr 2", Länge 5 m — Tuyau d'acier de 2", longueur 5 m
Stossgenerator — Générateur de choc
Distanz — Distance

auch bei Verwendung der Erde zur Führung von Betriebsströmen stets der Fall ist – entstehen Überspannungen in allen Stromkreisen, die sich im Magnetfeld des Erdleiters befinden. Einzig im *Innern* des Stahlrohres ist dieses Magnetfeld nicht vorhanden.

Bei allen Installationsarten innerhalb des Magnetfeldes eines Erdleiters wirkt sich die Mehrfacherdung des Betriebsstromkreises ungünstig aus, weil die *Überspannung* der *Betriebsspannung* überlagert wird.

Bei der Einfacherdung tritt die Überspannung in erster Linie als *Isolationsspannung* gegen Erde auf.

In allen diesen Fällen handelt es sich um *induzierte* Überspannungen. Dass solche nicht nur durch Stromänderungen in Erdleitern entstehen, sondern auch durch *Stromänderungen in Betriebsstromkreisen* auftreten, kann aus den Demonstrationsbeispielen leicht abgeleitet werden. Dazu ist das Stahlrohr nicht als Erdleiterteilstück, sondern als Teilstück irgendeines Betriebsstromkreises zu betrachten. Damit öffnet sich der ganze Problemkreis der gegenseitigen Beeinflussung von Stromkreisen, die durch ungünstige Anordnungen Schleifen in Schalttafeln oder auf Printplatten bilden.

Bei der Entstehung und Übertragung von Überspannungen spielen nicht nur die Induktivitäten, sondern auch die Kapazitäten der beteiligten Stromkreise eine Rolle. Dies wird in *Figur 7* dargestellt. Sie zeigt eine häufig angewandte Gleichrichterschaltung mit Spannungsregelung. Die Kondensatoren C_1 , C_2 und C_3 stellen die Eigenkapazitäten der entsprechenden Bauelemente dar. Entsteht nun zwischen den Erdungspunkten E_1 und E_2 eine Spannung, so wird diese umgekehrt proportional zu den Kapazitätswerten über den drei Kapazitäten aufgeteilt, das heisst die grösste Teilspannung entsteht an der kleinsten Kapazität und gefährdet somit in erster Linie die Spannungsfestigkeit des entsprechenden Bauelementes. Spannungsfestigkeit und Kapazitätswert sollten deshalb in solchen Fällen koordiniert sein.

cles sont, par exemple, disposées de manière peu favorable sur des tableaux de commutation ou sur des circuits imprimés.

Quand des surtensions prennent naissance et se propagent, ce ne sont pas seulement les inductances (selfs) qui jouent un rôle, mais aussi les capacités des circuits entrant en considération, comme on le voit à la *figure 7*. Elle montre un montage redresseur très courant avec régulation de la tension. Les condensateurs C_1 , C_2 et C_3 représentent la capacité propre des composants. Une tension apparaît entre les points de mise à terre E_1 et E_2 et se trouve répartie entre les trois capacités d'une manière inversement proportionnelle aux valeurs des capacités, ce qui signifie que la tension partielle la plus importante apparaît aux bornes de la capacité la plus faible et met ainsi en danger la rigidité diélectrique de ce composant. La rigidité diélectrique et la capacité devraient donc toujours être adaptées l'une à l'autre dans de pareils cas.

3 Cas pratiques concrets

Vu qu'il est impossible d'entrer dans tous les détails des deux exemples qui suivent, le lecteur voudra bien se référer à la bibliographie qui figure à la fin de l'article.

Après un violent orage, on trouva dans une installation à usages multiples un équipement électronique très coûteux entièrement carbonisé. La première idée qui vint à l'esprit fut qu'une décharge atmosphérique amenée par la descente d'antenne avait traversé l'appareil et rejoint la terre. L'examen plus approfondi révéla pourtant un phénomène moins spectaculaire: Dans le circuit d'alimentation à courant continu (fig. 7), le transistor de puissance avait été détruit par une surtension due à une décharge atmosphérique (court-circuit). La tension continue non régulée qui en résulta grilla littéralement plusieurs résistances sur plusieurs circuits imprimés, jusqu'à ce que le dommage devînt si important que le fusible d'entrée fondit. Bien que le dégât initial, à savoir la destruction du transistor fût extrêmement minime, les coûts de remise en état atteignirent près de 10 000 francs [1].

Dans une autre station non desservie, des différences de potentiel entre deux points de mise à terre à l'intérieur de la station, consécutives à des décharges atmosphériques et transmises par capacité comme on l'a montré à la figure 7, détruisirent à plusieurs reprises la partie mise à la terre d'un montage redresseur bialter-

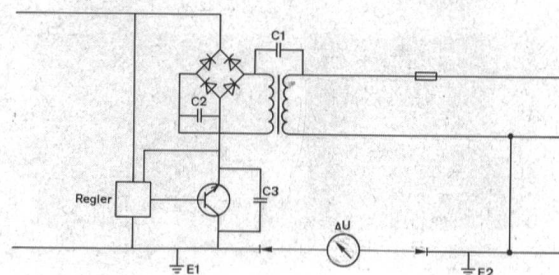


Fig. 7
Gleichrichterschaltung mit Spannungsregelung — Redresseur avec circuit de régulation de la tension
Regler — Régulateur

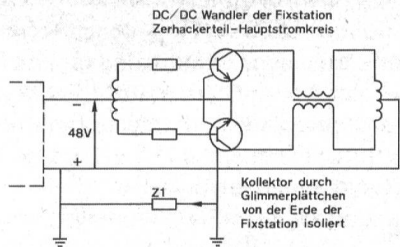


Fig. 8
Hauptstromkreis des Zerschalteteils eines DC/DC-Wandlers — Circuit principal de la partie «hacheur» d'un convertisseur DC/DC
DC/DC-Wandler der Fixstation; Zerschalteteil-Hauptstromkreis — Convertisseur DC/DC de la station fixe; circuit principal du hacheur
Kollektor durch Glimmerplättchen von der Erde der Fixstation isoliert — Collecteur isolé de la terre de la station fixe par une lame de mica

3 Einige konkrete Fälle aus der Praxis

Da bei den nachstehend erwähnten Störungsfällen nicht alle Einzelheiten erläutert werden können, wird in der Bibliografie auf den entsprechenden Bericht verwiesen.

In einer Mehrzweckanlage wurde nach einem Gewitter ein verkohltes, teures elektronisches Gerät gefunden. Man war leicht versucht, anzunehmen, ein Blitzstrom habe seinen Weg über das an einer Antenne angeschlossene Gerät zur Erde gefunden. Die Untersuchung ergab jedoch einen weniger spektakulären Ablauf: In der Gleichstrom-Versorgungsschaltung, gemäß Figur 7, wurde der Leistungstransistor durch eine Blitzschlag-Überspannung zerstört (Kurzschluss). Die nun anstehende unregelmäßige, zu hohe Gleichspannung grillierte buchstäblich mehrere Widerstände auf den verschiedensten gedruckten Schaltungen, bis der Schaden endlich so gross war, dass die vorgeschaltete Primärsicherung des Gerätes schmolz. Obwohl der ursächliche Schaden — der zerstörte Transistor — äusserst gering war, entstanden Folgeschäden im Ausmass von einigen zehntausend Franken [1].

In einer andern unbedienten Station führten blitzstrombedingte Potentialdifferenzen zwischen zwei Erdungspunkten innerhalb der Anlage durch kapazitive Spannungsübertragung ähnlich Figur 7 zur wiederholten Zerstörung der an Erde liegenden Hälfte einer 3-Phasen-Zweiweg-Gleichrichterschaltung. Wegen einer automatischen Umschaltung auf eine Reserveeinrichtung wurde der Schaden nie sofort festgestellt, so dass die Vermutung, es habe sich um blitzstrombedingte Schäden gehandelt, erst durch eine geeignete Simulationsschaltung im Labor erhärtet werden konnte [2].

Figur 8 zeigt den Zerschalteteil einer bekannten Wechselrichterschaltung. Die Kollektoren der beiden Zerschaltetransistoren sind durch Glimmerplättchen vom Kühlblech isoliert. Das Kühlblech liegt wiederum an einem andern Erdungspunkt als der Plus-Leiter der speisenden Gleichspannung. Ein Stossstrom durch die Erdungsimpedanz verursachte hier einen Überschlag (kein Durchschlag) zwischen dem Kühlblech und den Transistorgehäusen, was die augenblickliche Zerstörung des Zerschalters bewirkte [3].

Bei abgelegenen unbedienten Fernsehumsetzern traten hin und wieder Programmausfälle auf, wobei der

nances pour courant triphasé. En raison de la commutation automatique sur un équipement de réserve, le dégât ne fut jamais constaté sur-le-champ, si bien qu'on supposa qu'il s'agissait d'un dommage dû à la foudre, hypothèse qui ne put être confirmée qu'en laboratoire à l'aide d'un montage de simulation [2].

La figure 8 montre le hacheur d'un montage convertisseur continu/continu connu. Les collecteurs des deux transistors hacheurs sont isolés du radiateur par des lames de mica. Le radiateur est lui-même mis à la terre en un autre endroit, en tant que conducteur positif de la tension d'alimentation. Un courant de choc à travers l'impédance de mise à terre produisit un arc (pas de claquage) entre le radiateur et les boîtiers des transistors, ce qui détruisit instantanément le hacheur [3].

Dans les réémetteurs de télévision non desservis et sis à l'écart, on observait de temps en temps des interruptions de programme dues à la coupure d'un fusible réseau qu'il fallait alors remplacer. La raison de ces pannes fâcheuses semblait de prime abord mystérieuse. Bien qu'on sût que les appareils déconnectés possédaient un dispositif de protection contre les surtensions à effet très rapide, c'est-à-dire un montage à thyristor, la raison de l'amorçage de ce thyristor était peu claire. Le montage de la figure 9, réalisé en laboratoire, permet de provoquer la panne et de déterminer par des mesures la cause du dérangement. Ce dispositif de simulation permet de superposer à la tension d'exploitation un choc de surtension (environ 100 Ws) engendré entre le conducteur du neutre et le conducteur de phase. Une surtension produisait un choc de courant au travers du condensateur de lissage et des conducteurs correspondants. Ce choc induisait à son tour une surtension sur le conducteur trop long de la gâchette du thyristor, ce qui l'amorçait et faisait fondre le fusible réseau. Détail intéressant, la tension continue *régulée* ne subissait aucune impulsion de surtension, qui aurait pu amorcer le thyristor [4].

Les exemples cités montrent la multiplicité des problèmes qu'on rencontre dans le domaine des surtensions. Il est souvent possible de supprimer des dérangements sans qu'on ait reconnu leur cause véritable et sans qu'on ait pris de mesures palliatives suffisantes, ce qui revient à combattre les symptômes d'un «mal» inconnu.

4 Lutte contre les surtensions

Pour lutter efficacement contre les surtensions, il faut connaître les règles qui en sont à l'origine. La meilleure méthode consiste à empêcher l'apparition de surtensions, ce qu'on peut réaliser en prenant des mesures adéquates sur le plan de la construction et sur celui des installations.

Lorsqu'il est impossible de prévenir les surtensions gênantes, soit parce qu'on a oublié de prendre des mesures préventives ou qu'on y a renoncé pour des raisons de coûts, il faut veiller à ce que les surtensions apparaissent à un endroit déterminé où leurs effets peuvent être ramenés à quelque chose d'admissible. On peut y arriver en prenant des mesures appropriées au niveau des appareils, ce qui entraîne évidemment des frais. Il y a par conséquent lieu de tenir compte du problème de la lutte contre les surtensions déjà au stade de la planification d'une nouvelle installation.

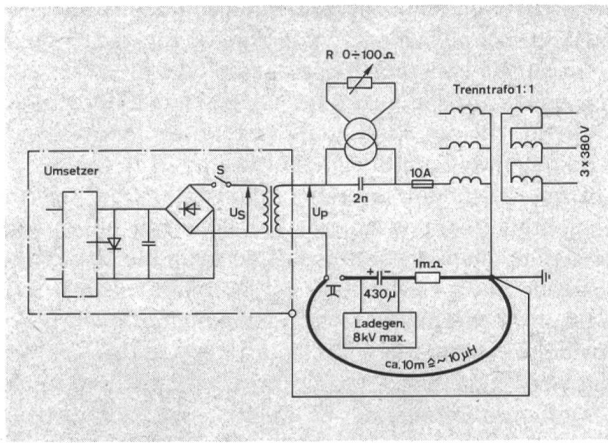


Fig. 9
Schaltung zur Erzeugung netzüberlagerter symmetrischer Störschwingungen mit Frequenzen bis zu einigen Kilohertz – Circuit pour la production d'oscillations perturbatrices superposées au réseau jusqu'à une fréquence de quelques kilohertz
Umsetzer – Réémetteur
Trenntrafo – Transformateur de séparation
Ladegen – Générateur de charge

Ausfall lediglich durch den Ersatz einer defekten netzseitigen Feinsicherung behoben werden konnte. Der Grund für diese sehr unangenehmen Ausfälle schien vorerst mysteriös. Obwohl bekannt war, dass die jeweils abgeschalteten Geräte einen äusserst schnellen Überspannungsschutz mit einem Thyristor besaßen, war der Grund des Zündens dieses Thyristors unklar. Im Labor gelang es, mit Hilfe der in *Figur 9* gezeigten Schaltung, den Geräteausfall zu provozieren und die Störungsursache messtechnisch zu ermitteln. Mit dieser Schaltung kann bei anstehender Betriebsspannung ein energiereicher Überspannungsschoss (etwa 100 Ws) zwischen Null- und Phasenleiter erzeugt werden. Eine Überspannung verursacht einen Stromstoss durch den Glättungskondensator und die entsprechenden Zuleitungen. Dieser Stromstoss induziert seinerseits eine Überspannung auf der zu langen Gate-Leitung des Thyristors, wobei dieser gezündet und die Netzsicherung ausgelöst wurde. Beachtenswert ist die Tatsache, dass die *geregelte* Gleichspannung keinen Überspannungsimpuls erhielt, der das Zünden des Thyristors gerechtfertigt hätte [4].

Die aufgeführten Beispiele lassen erkennen, dass die Problematik der Überspannungen vielfältig ist. Oft werden Störungen behoben, ohne dass die wirkliche Störungsursache erkannt worden wäre und wirksame Abhilfe geschaffen werden konnte. So bekämpft man oft nur die Symptome einer unbekannteren «Krankheit».

4 Bekämpfung der Überspannungen

Überspannungen können erst dann wirksam bekämpft werden, wenn man die Regeln ihrer Entstehung kennt. Die beste Bekämpfung einer Überspannung besteht darin, dass man sie nicht entstehen lässt. Dies kann weitgehend mit *baulichen* und *installationstechnischen* Massnahmen erreicht werden.

Wo sich störende Überspannungen nicht mehr vermeiden lassen, sei es, weil die präventiven Massnahmen vergessen worden sind oder aus Kostengründen darauf verzichtet wurde, ist dafür zu sorgen, dass die Überspannungen an einem definierten Ort auftreten, wo ihre

Au lieu de se perdre en travaux correctifs perfectionnistes, on pourrait évidemment considérer les conséquences des surtensions comme une fatalité inéluctable et supporter patiemment les pannes jusqu'à leur suppression, ce qui procure, en fin de compte, du travail. Il ne s'agit ici pas seulement d'une affaire de frais, mais d'une manière de voir les choses.

41 Mesures sur le plan de la construction et sur celui des installations

Au vu des figures 1...6, il est facile de se représenter les mesures que l'on peut prendre sur le plan de la construction et sur celui des installations. La mise à la terre en plusieurs points d'un circuit d'exploitation est toujours un élément critique, lorsqu'un courant perturbateur peut s'écouler entre deux ou plusieurs points de mise à terre.

La *figure 10* montre une mesure très importante, dans le domaine de la construction, susceptible d'empêcher la circulation de courants de terre dans le conducteur de mise à terre du bâtiment, courants provenant de sources externes (foudre, EMP, mise à la terre d'un conducteur isolé d'installations à courant fort), comme cela serait le cas dans le montage de la *figure 10 b*. Pour qu'il soit plus facile, en pratique, d'introduire dans un bâtiment en un seul point *toutes* les lignes d'amenée externes, on utilisera dans les nouveaux ouvrages pour réémetteurs une construction préfabriquée en acier avec raccordement soudé de toutes les amenées (*fig. 11*). (Par cette méthode, les trois premiers des quatre dommages cités auraient pu être évités.)

Aux endroits où l'introduction en un point n'est pas réalisable (dans les bâtiments élevés avec superstructure d'antenne ou dans des aménagements reliés par des galeries), il faut veiller à ce que le système de mise à terre du bâtiment ou de la galerie constitue un complexe fermé ayant si possible la forme d'un tuyau. A l'heure actuelle, la Division des recherches et du développement procède à des essais de mesures à l'aide d'une méthode qu'elle a spécialement mise au point à cet effet. Cette méthode permettra de déterminer la chute de tension produite par les courants de décharges atmosphériques à l'intérieur de bâtiments en béton armé avec ou sans revêtement métallique.

Lorsque ces mesures du domaine de la construction reviennent trop cher, on peut examiner s'il ne serait pas meilleur marché d'utiliser pour la pose des câbles des canalisations d'acier fermées ou des tuyaux à parois d'au moins 3 mm (effet de refoulement et effet de saturation).

En règle générale, il vaut mieux torsader les lignes d'amenée qui ne peuvent pas être posées en canalisations ou, si leur section l'interdit, les croiser à intervalles réguliers. (Cette mesure n'est cependant rationnelle que si le conducteur n'est pas mis à la terre en plusieurs points; voir *fig. 4* et *5*.) Les circuits formant des boucles dans les tableaux de commutation des appareils ou sur des plaques de circuits imprimés doivent être évités. On séparera soigneusement les conducteurs véhiculant des surtensions ou des courants perturbateurs des lignes de signalisation où les conditions électriques sont irréprochables.

Bien que ces principes ne soient pas nouveaux, on s'aperçoit régulièrement qu'on ne leur accorde pas

Auswirkungen auf ein annehmbares Mass reduziert werden können. Dies lässt sich mit *apparativen* Massnahmen erzielen, die allerdings auch nicht ohne Kosten sind. Es ist deshalb sinnvoll, einen wirtschaftlichen Kompromiss zwischen den baulichen, installationstechnischen und apparativen Massnahmen zu treffen. Deshalb muss dem Problem der Überspannungsbekämpfung bereits bei der Projektierung einer neuen Anlage Rechnung getragen werden.

Eine Alternative zu den perfektionistischen Bemühungen ist das gelassene Hinnehmen der Überspannungsfolgen als höhere Gewalt und das geduldige Ertragen der verursachten Betriebsausfälle bis zum Abschluss der arbeitsbeschaffenden Störungsbehebung. Dies ist aber wiederum nicht nur eine Kosten-, sondern auch eine Mentalitätsfrage.

41 Bauliche und installationstechnische Massnahmen

Bauliche und installationstechnische Massnahmen lassen sich aus den Figuren 1...6 leicht ableiten. Die Mehrfacherdung eines Betriebsstromkreises ist immer dann kritisch, wenn zwischen zwei oder mehreren Erdungspunkten ein Störstrom fließen kann.

Figur 10 zeigt eine äusserst wichtige bauliche Massnahme, die verhindert, dass Erdströme externer Quellen (Blitz, EMP, Starkstrom-Erdschlüsse) die Gebäudeerde traversieren, wie dies bei Anordnung laut Figur 10b der Fall wäre. Um die Anwendung dieser punktförmigen Gebäudeeinführung *sämtlicher* externer Zuführungen in der Praxis zu erleichtern, wird für die neuesten Umsetzer-Gebäude eine vorgefabrizierte Stahlkonstruktion mit den eingeschweissten Anschlüssen für sämtliche Zuführungen, wie in Figur 11, verwendet. (Die ersten drei der vier erwähnten Störungen hätten sich bei Beachten dieser Massnahme vermeiden lassen.)

Wo die punktförmige Einführung nicht durchführbar ist (bei hohen Gebäuden mit aufgesetztem Antennenmast und bei durch Stollen verbundenen Gebäudekomplexen), muss dafür gesorgt werden, dass das Erdungssystem des Gebäudes oder des Stollens ein möglichst rohrförmig geschlossenes System bildet. Zurzeit sind bei der Abteilung Forschung und Entwicklung messtechnische Untersuchungen mit Hilfe einer eigenen Messmethode im Gange, mit der der gebäudeinterne, blitzstrombedingte Spannungsabfall von Stahlbetonbauten mit und ohne metallische Verkleidung, ermittelt werden soll.

Wenn die baulichen Massnahmen sehr teuer zu stehen kommen, ist zu prüfen, ob eine Lösung mit installationstechnischen Mitteln, wie die Benützung geschlossener Stahlkanäle oder von Rohren von mindestens 3 mm Wandstärke (Stromverdrängungs- und Sättigungseffekte) zur Verlegung der Kabel, billiger ist.

Ganz allgemein ist es ratsam, Zuleitungen, die nicht in einem Rohr verlegt werden können, zu verdrillen oder — falls dies querschnittsmässig undurchführbar ist — in regelmässigen Abständen zu kreuzen. (Diese Massnahme ist aber nur dann sinnvoll, wenn keine Mehrfacherdung des einen Leiters besteht; siehe Fig. 4 und 5.) Schleifen bildende Stromkreise in Schalttafeln, Apparaten und auf Printplatten sind zu vermeiden. «Verschmutzte», das heisst mit Überspannung und Störströmen behaftete Leiter sind von «sauberen» Signalleitungen zu trennen.

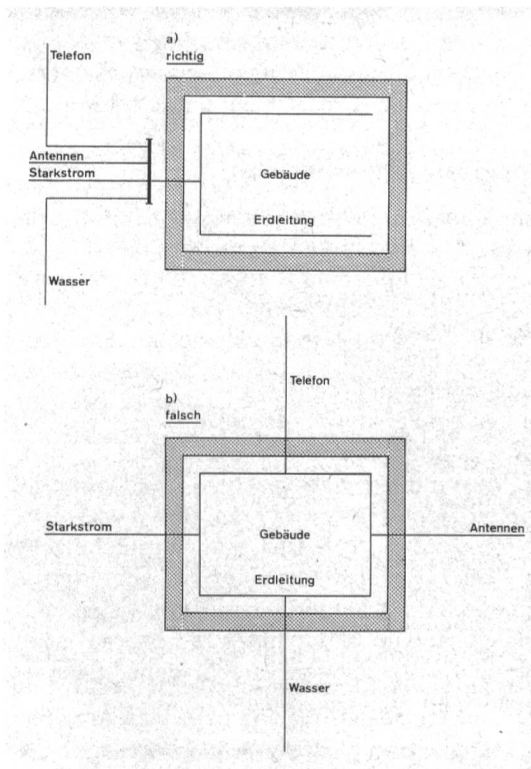


Fig. 10
Leitungseinführung in ein blitzgefährdetes Gebäude — Introduction des lignes dans un bâtiment soumis aux dangers de la foudre
Telefon — Téléphone
Wasser — Eau
Antennen — Antennes
Starkstrom — Courant fort
Richtig — Correct
Falsch — Faux
Gebäude — Bâtiment
Erdleitung — Ligne de mise à terre

toute l'attention voulue. Le quatrième accident évoqué sous le point 3 ne serait sans doute pas arrivé si on l'avait fait.

42 Mesures à prendre au niveau des appareils

Par ces mesures on entend notamment

- les conditions de mise à terre des circuits d'exploitation, à savoir
 - isolation par rapport à la terre
 - mise à la terre à haute résistance

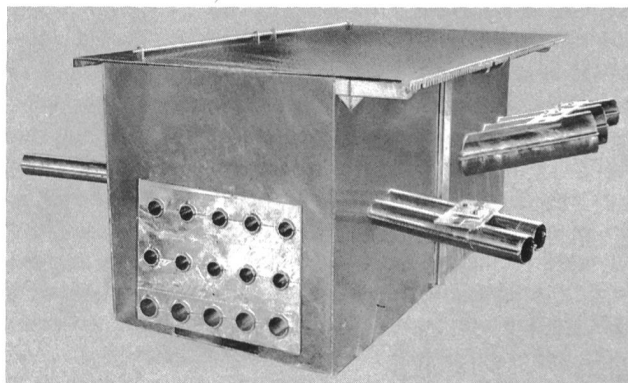


Fig. 11
Vorgefabrizierte Stahlkonstruktion für punktförmige Gebäudeeinführung — Construction préfabriquée en acier pour l'introduction en un point dans le bâtiment

Obwohl diese Erkenntnisse keineswegs neu sind, muss immer wieder festgestellt werden, dass ihnen zu wenig Beachtung geschenkt wird; die vierte unter 3 erwähnte Störung wäre sonst nicht aufgetreten.

42 Apparative Massnahmen

Zu den apparativen Massnahmen gehören hauptsächlich

- die Erdungsbedingungen der Betriebsstromkreise, so beispielsweise
 - von der Erde isoliert
 - hochohmig an Erde gelegt
 - an *einem* Punkt an Erde gelegt
 - an *mehreren* Punkten an Erde gelegt
- die Verwendung galvanischer Trennungen (Optokoppler, Trenntransformatoren, Relais und anderem)
- die Verwendung von Überspannungsschutzelementen, wie Funkenstrecken offen oder gasgefüllt, Zenerdioden, Transzorbioden, RC-Glieder, spannungsabhängige Widerstände (Varistoren) und koordinierte Kombinationen verschiedener Elemente zu eigentlichen Schutzvierpolen

Sorgenkinder bezüglich der Erdungsbedingungen sind jene Elektronikkreise, bei denen die Schränke und Gestelle ähnlich einer Automobilkarosserie als «Masse» benützt werden. Im Gegensatz zum Automobil sind diese Schränke und Gestelle jedoch nicht auf isolierenden Pneu montiert, sondern fest mit dem Gebäude verbunden und liegen somit einzeln an einem andern Punkt an Erde.

Gegenstück dazu ist die Starkstromtechnik, bei der heute kein Gerät mehr akzeptiert wird, bei dem der Null-Leiter direkt mit dem Apparategehäuse verbunden ist. Auch bei den Hausinstallationen wird immer mehr das Nullungsschema I angewendet, bei dem im Gebäudeinnern der Null-Leiter nur zur Führung des Betriebsstromes benützt wird. Umgekehrt heisst dies, dass ausser im Erdschlussfall kein Betriebsstromanteil über die Erde fliesst. Seit einigen Jahren wird bei den PTT nur noch gemäss Nullungsschema I installiert. Wo sich der Ort der Einpunkterdung befindet, ist wiederum nicht gleichgültig.

Ein Blick auf Figur 3 soll nun darauf aufmerksam machen, dass man sich über die Spannungsfestigkeit der Isolation gegen Erde Gedanken machen muss. Es genügt nicht, wenn diese nur den bei Normalbetrieb auftretenden Spannungen standhält, wie dies auch das Beispiel des zerstörten Zerhackerteils gezeigt hat, bei dem sich der Überschlag an den Glimmerplättchenrändern bereits zwischen 400 V und 600 V ereignete. Würden in diesem Falle anstelle der Glimmerplättchen zwei voneinander und gegen Erde isolierte Kühlkörper verwendet, bedürfte es keines besondern Aufwandes, um ohne weiteres eine Spannungsfestigkeit von einigen Kilovolt gegen Erde zu erreichen.

Wo der Signalaustausch zweier an je einem andern Ort geerdeter Systeme über Trennglieder (Optokoppler, Trenntransformatoren, Relais usw.) geschieht, müssen diese Trennglieder über eine entsprechende Spannungsfestigkeit verfügen. Zudem muss die Kapazität zwischen den zu trennenden Systemen möglichst klein (bis einige 10 pF) sein. Wenn möglich soll ein statischer Schirm angebracht werden. Schliesslich ist jeder Isola-

- mise à la terre en *un seul* point
- mise à la terre en *plusieurs* points

- l'utilisation de séparations galvaniques (coupleurs opto-électroniques, transformateurs de séparation, relais et autres dispositifs semblables)
- l'utilisation d'éléments contre les surtensions tels que les éclateurs ouverts ou à gaz, les diodes de Zener, les diodes «Transzorb» (diodes supprimeuses de surtensions transitoires), les cellules RC, les résistances dont la valeur dépend de la tension (varistors) et les combinaisons coordonnées de divers éléments dans les quadripôles de protection

Ce qui provoque toujours des difficultés au point de vue de la mise à la terre sont les circuits électroniques tels que les armoires et les bâtis utilisés comme «masse» à la manière des carrosseries d'automobiles. A l'encontre des automobiles, ces armoires et ces bâtis ne sont pas montés sur des pneus isolants, mais reliés au bâtiment, c'est-à-dire mis à la terre en des points différents.

A l'opposé, dans la technique du courant fort, on n'accepte aujourd'hui plus aucun appareil dont le conducteur du neutre est directement relié au boîtier. Dans les installations intérieures également, on applique de plus en plus souvent la mise au neutre selon le schéma I, ce qui consiste à n'utiliser le conducteur du neutre à l'intérieur du bâtiment que pour la conduction du courant d'exploitation. Vu sous un autre angle, cela signifie qu'aucune composante du courant d'exploitation ne s'écoule par la terre en cas de mise à la terre d'un conducteur isolé. Depuis quelques années, les PTT n'installent plus que la mise au neutre selon le schéma I. Ici également, l'emplacement de la mise à terre en un seul point n'est pas sans importance.

En examinant la figure 3, on s'aperçoit qu'il faut considérer très soigneusement la question de la rigidité diélectrique contre terre de l'isolation. Il ne suffit pas qu'elle résiste aux tensions qui se produisent en service normal, ce qu'illustre l'exemple du hacheur détruit, où l'arc s'est déjà amorcé au bord des lamelles de mica à une tension de 400 à 600 V. Si, dans ce cas, on avait substitué aux lamelles de mica des éléments de refroidissement isolés l'un par rapport à l'autre et par rapport à la terre, il aurait été possible d'atteindre sans plus une rigidité diélectrique par rapport à la terre de quelques kilovolts.

Lorsque l'échange de signaux s'effectue entre deux systèmes mis chacun à la terre en un point différent par l'intermédiaire d'éléments de séparation (coupleurs optoélectroniques, transformateurs de séparation, relais, etc.), ces éléments doivent posséder une rigidité diélectrique correspondante. La capacité entre les systèmes à séparer doit être d'autre part faible (quelque 10 pF au plus), et il y a lieu de placer si possible un écran statique. Finalement, il ne faut pas oublier que chaque isolation va jusqu'aux limites fixées par ses spécifications. Pour protéger les systèmes contre la destruction, on peut utiliser des parasurtensions, dans la mesure où leur emploi est coordonné, tant avec les rigidités diélectriques existantes qu'avec les tensions transversales maximales admissibles, de même qu'avec les conditions et exigences de l'exploitation.

Bien qu'on trouve d'amples renseignements sur tous les éléments de protection contre les surtensions précé-

tion die für sie gewählte Grenze gesetzt. Um sie vor Zerstörung zu schützen, können Überspannungsschutz-elemente dienen, sofern ihr Einsatz koordiniert wird, und zwar sowohl mit den vorhandenen Spannungsfestigkeiten als auch mit den maximal zulässigen Querspannungen und den betrieblichen Gegebenheiten und Anforderungen.

Obwohl in der Literatur über alle aufgeführten Überspannungsschutz-elemente ausgiebige Informationen zu finden sind und es auch an Zusammenfassungen nicht fehlt, soll der Vollständigkeit halber auch an dieser Stelle auf einige Aspekte eingegangen werden.

Schutz-elemente auf der Basis einer Funkenstrecke ohne Strombegrenzungswiderstand eignen sich vorzüglich zur Ableitung hoher Stossströme. (Bezüglich Ansprech- und Langzeitverhalten, Toleranzen usw. gibt es wesentliche Unterschiede zwischen einzelnen Typen und Fabrikaten.) Allen eigen ist die niedrige Brennspannung (einige Volt bis einige 10 Volt). Dies wirkt sich insofern nachteilig aus, als die Ableiter so lange nicht löschen, als noch ein gewisser Strom fliesst (Folgestrom). Dabei spielt die Stromart (Wechsel- oder Gleichstrom) keine wesentliche Rolle. Um den Ableiter vor Zerstörung zu bewahren, muss nun dafür gesorgt werden, dass entweder der Ableiter mit Hilfe eines vorgeschalteten Widerstandes bei anstehender Betriebsspannung selbst erlöscht oder, dass der durch die Betriebsspannung erzeugte Folgestrom durch eine Sicherung rechtzeitig unterbrochen wird. Wo die Eigenimpedanz des geschützten Stromkreises zur Löschung nicht genügt, wird in Serie zur Funkenstrecke meist ein spannungsabhängiger Widerstand (Varistor) geschaltet. Um den Austausch und die Kontrolle von Überspannungsableitern für 220-V-Anwendungen zu vereinfachen, haben die PTT den Bau von steckbaren Überspannungsableitern mit Funkenstrecke und Defektanzeige angeregt, die sich zum Beispiel bei Kabelüberführungsstangen einsetzen liessen.

Nebst den üblichen Silizium-Karbid-Varistoren sind heute Zinkoxid-Varistoren erhältlich, von denen Typen mit einem ausserordentlich hohen Energieabsorptionsvermögen von 680 Ws geliefert werden. Sie erlauben, dank ihrer vorzüglichen U-I-Charakteristik, den direkten Einsatz auf 220-V-Speisungen. Bei Überlastung bersten auch diese Elemente. Sie sind deshalb in einen geschlossenen Kasten einzubauen oder entsprechend zu sichern.

Von Vorteil bei den Varistoren ist ihr schnelleres Reaktionsvermögen im Vergleich zu Ableitern mit Funkenstrecke, die je nach Geschwindigkeit des Spannungsanstieges beachtliche Zündspannungen erreichen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei unkoordinierten Parallelschaltungen von Varistor und Überspannungsableiter die Zündung des Ableiters durch den Varistor verhindert wird. Besonders kritisch sind in diesen Fällen nicht die schnellen, sondern die langsamen und entsprechend energiereichen Überspannungen.

Vielfach wird auch die Tatsache zu wenig beachtet, dass nach dem Ansprechen eines Ableiters andere Erdungsbedingungen entstehen, was zu Querspannungen führen kann. Dies sind Spannungen zwischen einzelnen — mit Ableitern gegen Erde geschützten — Leitern. Sie treten durch unterschiedliche Ansprechspannungen der Ableiter auf. Ihre Grösse kann bis zur doppelten dynami-

tés dans les ouvrages spécialisés, et qu'on dispose de résumés à ce sujet, il n'est peut-être pas inutile d'apporter ici quelques compléments d'information.

Les éléments de protection fondés sur le principe de l'éclateur, sans résistance de limitation de courant, conviennent particulièrement bien à la dérivation de courants de choc élevés. (Entre les divers types et marques de fabrique, on remarque des différences sensibles quant aux caractéristiques d'amorçage, au comportement à long terme, aux tolérances, etc.) Une caractéristique commune à tous les parasurtensions est la faible tension en régime d'arc stable (quelques volts à quelques dizaines de volts). L'inconvénient qui en résulte est que le parasurtension ne se désamorce pas aussi longtemps qu'un certain courant circule encore (courant de suite). Qu'il s'agisse en l'occurrence de courant alternatif ou de courant continu ne joue pas un rôle essentiel. Pour que le parasurtension ne soit pas détruit, il faut veiller à ce qu'il se désamorce de lui-même, par mise en place d'une résistance série, ou qu'il soit coupé à temps du circuit par fusion d'un fusible provoquée par le courant de suite de la tension d'exploitation. Lorsque l'impédance propre du circuit ne suffit pas au désamorçage, on branche généralement une résistance dépendant de la tension (varistor) en série avec l'éclateur. Pour faciliter l'échange et le contrôle des parasurtensions de la gamme de 220 V, les PTT ont suggéré la construction de parasurtensions enfichables avec éclateur et indicateur de défaut, qu'on pourrait, par exemple, utiliser pour les poteaux de transition de câbles.

En plus des varistors classiques au carbure de silicium, on dispose aujourd'hui de varistors à l'oxyde de zinc, dont certains types livrables possèdent un pouvoir d'absorption d'énergie très élevé (680 Ws). Grâce à leur caractéristique U-I remarquable, ils peuvent être directement utilisés dans les alimentations à 220 V. Vu que ces éléments explosent aussi en cas de surcharge, il y a lieu de les monter dans un coffret fermé ou de les protéger en conséquence.

Un avantage des varistors réside dans leur réaction rapide comparée à celle des parasurtensions à éclateur; suivant la pente du front de la tension, les tensions d'amorçage pour ces derniers sont en effet considérables. Il est important de souligner que le montage en parallèle non coordonné de varistors et de parasurtensions peut conduire au fait que l'amorçage du parasurtension est empêché par le varistor. Dans de tels cas, ce ne sont pas les surtensions à front raide qui posent des problèmes, mais les surtensions à croissance lente et fort potentiel énergétique.

On accorde aussi souvent trop peu d'attention au fait que l'amorçage d'un parasurtension crée d'autres conditions de mise à terre, ce qui donne naissance à des tensions transversales entre les divers conducteurs protégés par des parasurtensions et la terre. Elles apparaissent en raison des différentes tensions d'amorçage des parasurtensions et leur valeur peut atteindre le double de la tension d'amorçage dynamique d'un parasurtension. La durée de la tension transversale dépend de la vitesse de croissance de la tension (pente du front), de la grandeur de la tension transversale, de la précision du seuil d'amorçage du parasurtension et de l'impédance du circuit touché. Plus la pente du front est raide, plus la

schen Ansprechspannung eines Ableiters ansteigen. Die Dauer der Querspannung ist von der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit, der Grösse der Querspannung, der Ableiteransprechgenauigkeit und der Impedanz des betroffenen Stromkreises abhängig. Je grösser die Anstiegsgeschwindigkeit, desto grösser ist die Querspannung und desto kürzer wird ihre Dauer für eine bestimmte Ableiterqualität. Erreicht die Querspannung nicht den statischen Ansprechwert, so werden übrige Ableiter nicht mehr gezündet, und die Querspannung dauert bis zum Abklingen der Überspannung. Querspannungsbegrenzende Elemente, wie Varistoren, Zenerdioden usw., können somit bewirken, dass Ableiter nicht mehr gezündet werden. Sie sind dadurch der Gefahr ausgesetzt, selbst zerstört zu werden.

Besondere Vorsicht ist beim Einsatz von Ableitern in eigensicheren Stromkreisen geboten, da die Eigensicherheit — eine Explosionsschutzmassnahme — durch die Entstehung einer Querspannung aufgehoben werden kann. Es ist deshalb ratsam, Überspannungsableiter im nicht eigensicheren Teil des Stromkreises einzusetzen und die eigensichere Seite durch einwandfreie Schirmung gegen Überspannungen zu schützen [5].

Ein einfaches und wirksames Schutzelement für gewisse Anwendungen in Elektronikkreisen sind die Transzorbioden. Diese haben eine zenerdiodenähnliche Charakteristik, allerdings mit einer gewissen «Schalthysterese», die bei der Typenwahl berücksichtigt werden muss. Sie zeichnet sich durch eine extrem kurze Reaktionszeit und durch ein verhältnismässig hohes Energieabsorptionsvermögen von 1,5 kWms aus. Das Energieabsorptionsvermögen wird jedoch grösser, wenn die Diode bei kleinen, aber länger dauernden Überspannungen die entstehende Wärme abgeben kann, was je nach Anwendung von Vorteil oder von Nachteil sein kann. Wird das Absorptionsvermögen überschritten, verursacht die Diode in der Regel Kurzschluss.

Für HF-Anwendungen sind unter Umständen besondere Massnahmen zu treffen, da die Eigenkapazität von Halbleiterschutzelementen zwischen einigen 100 pF und einigen 10 nF beträgt.

Besondere Beachtung muss den Anschlüssen von Überspannungsschutzelementen geschenkt werden. Ihre Anschlüsse sind so kurz als möglich auszuführen, wenn man erreichen will, dass bei Beginn des Fließens des Ableitstromes an den Induktivitäten der Ableiteranschlüsse keine zusätzlichen Spannungen auftreten. Vorbildlich trägt diesem Punkt die «Vierpolausführung» eines Überspannungsableiters einer auf diesem Gebiet führenden Schweizer Firma Rechnung (Fig. 12). Dem gleichen Punkt dient die von den PTT angestrebte steckbare Ausführung von Varistoren.

5 Schlussbetrachtungen

So leicht verständlich jeder einzelne Aspekt der Überspannungserzeugung ist, so schwierig wird die Beherrschung der Auswirkungen, wenn diese Aspekte gesamtlich in einem System auftreten. Unbefriedigend ist die heute weit verbreitete Tatsache, dass dort, wo die verwendete Technik niedrige Störpegel verlangt, entsprechende Anforderungen mit gezielten *für das betreffende System günstigen Massnahmen* zu erreichen versucht

tension transversale est forte et plus sa durée est brève pour une qualité de parasurtension déterminée. Si la tension transversale n'atteint pas le seuil d'amorçage statique, les autres parasurtensions ne sont plus amorcées et la tension transversale subsiste jusqu'à la disparition de la surtension. Des éléments limiteurs de tension, tels que les varistors, les diodes de Zener, etc., peuvent donc empêcher l'amorçage des parasurtensions. Ils sont de ce fait exposés au danger d'autodestruction.

Il faut donc être particulièrement prudent lors de l'emploi de parasurtensions dans des circuits à sécurité intrinsèque, vu que cette dernière — une mesure de protection contre les explosions — peut être supprimée par l'apparition d'une tension transversale. Il est par conséquent recommandable d'utiliser les parasurtensions dans la partie du circuit sans sécurité intrinsèque et de protéger celle qui en est pourvue par un écran efficace contre les surtensions [5].

Les diodes «Transzorb» sont un moyen de protection efficace que l'on peut appliquer à certains circuits électroniques. Leur caractéristique ressemble à celle des diodes de Zener, à l'exception d'une certaine «hystérésis de commutation», dont il faut tenir compte lors du choix du type. La diode «Transzorb» se distingue par un temps de réaction extrêmement bref et par un pouvoir d'absorption d'énergie relativement élevé de 1,5 kWms. Or, ce pouvoir d'absorption d'énergie s'accroît lorsque la diode peut dissiper la chaleur provenant de l'exposition à des surtensions faibles mais de longue durée, ce qui peut être un avantage ou un inconvénient suivant l'emploi envisagé. Si le pouvoir d'absorption est dépassé, la diode provoque en général un court-circuit.

Pour les applications en haute fréquence, il faut quelquefois prendre des précautions particulières, vu que la capacité propre des éléments de protection à semi-conducteurs peut aller de quelques centaines de pF à quelques dizaines de nF.

Une attention particulière doit être vouée aux raccordements des éléments de protection contre les surtensions. Ils doivent être aussi courts que possible si l'on veut éviter l'apparition de tensions supplémentaires aux inductivités des raccordements des parasurtensions, lorsque le courant de dérivation commence à circuler. Une maison suisse réputée dans ce domaine a tenu compte de ce point d'une façon exemplaire dans le «modèle quadripôle» d'un parasurtension qu'elle offre sur le marché (fig. 12). L'exécution enfichable de varistors, telle que l'Entreprise des PTT cherche à introduire, permet d'atteindre le même but.

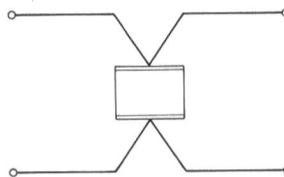


Fig. 12
Überspannungsableiter mit einer Anschlussanordnung, die am zu schützenden Objekt lediglich die Ableiterspannung auftreten lässt — Parasurtension connecté de façon que seule la tension de dérivation apparaisse sur l'objet à protéger

werden, ohne dabei auf dadurch entstehende Probleme für andere Systeme Rücksicht zu nehmen. Folge dieser individuellen Behandlung sind dann Flickarbeiten mit allfällig weiteren nachteiligen Folgen, oft verbunden mit der unfruchtbaren Suche nach einem Schuldigen. Es ist deshalb unumgänglich, dass die Betriebsstellen solche Störeinflüsse exakt beobachten und in enger Zusammenarbeit mit Planung, Konstruktion und Forschung optimale Massnahmen erarbeiten und herbeiführen helfen. Bis zum Zeitpunkt der Redaktion dieses Artikels — Ende Januar 1978 — haben die getroffenen Massnahmen in den aufgeführten Fällen zu einer bedeutenden Verminderung überspannungsbedingter Ausfälle geführt.

Schliesslich sei noch auf zwei wertvolle Neuerscheinungen [6, 7] hingewiesen, die sowohl dem Theoretiker als auch dem Praktiker helfen können, die EMC-Probleme zu lösen.

Bibliographie

- [1] — Untersuchung des Blitzschlages vom 6. Juli 1976 in die MZA La Chaux-de-Fonds; Schutz des Niquist-Demodulators. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung. Berichte Nr. VL 25.100 und Nr. 25.103.
- [2] — TV-Umsetzer Klewenalp — Blitzschutzmassnahmen; Ergänzungen zum Bericht Nr. VL 25.072. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung. Berichte Nr. VL 25.072 und Nr. VL 25.073.
- [3] — PTT-Dienstprechfunk-Anlagen; Gewitterstörungen. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung. Bericht Nr. VL 25.125.
- [4] — Transistorisierte Fernseh-Umsetzer; Ueberspannungsschutz. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung. Bericht Nr. VL 25.106.
- [5] — Blitzschutz von Tankanlagen. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung. Bericht Nr. VL 25.107. →

5 Conclusions

Bien qu'il soit facile de comprendre comment les surtensions prennent naissance dans chaque cas, il est difficile d'en maîtriser les effets, lorsque leurs divers aspects se présentent simultanément dans un système. Ce qui est peu satisfaisant aujourd'hui, c'est la tendance fort répandue de n'appliquer des *mesures spécifiques appropriées qu'aux systèmes entrant en considération*, dans le secteur où la technique utilisée exige des niveaux perturbateurs faibles, sans qu'on ait égard aux problèmes qui peuvent se présenter dans d'autres systèmes. Les conséquences de ce traitement individuel sont souvent des «bricolages» et les suites désagréables que cela peut entraîner, sans parler de la recherche bien vaine d'un responsable. Il est dès lors indispensable que les services intéressés examinent à fond de telles influences perturbatrices et qu'ils aident à élaborer et à réaliser des mesures de protection optimales, en étroite collaboration avec les organes de planification, de construction et de recherche. Les mesures prises jusqu'au moment de la rédaction de cet article — à fin janvier 1978 — dans les cas mentionnés, ont conduit à une diminution importante des interruptions d'exploitation dus aux surtensions.

Il convient finalement d'attirer l'attention sur deux nouvelles publications fort intéressantes [6, 7], qui pourraient aider aussi bien le théoricien que le praticien à résoudre les problèmes touchant la compatibilité électromagnétique (EMC).

-
- [6] *Stoll D.* (ed.) *Elektromagnetische Verträglichkeit EMC*. Berlin, Elitera-Verlag, 1976.
 - [7] *Wiesinger J.* und *Hasse P.* *Handbuch für Blitzschutz und Erdung*. München, Richard Pflaum Verlag KG, 1977.