Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 15

Artikel: Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen und Regelstromkreisen

Autor: Hasse, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904989

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: 09.12.2025

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

Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen und Regelstromkreisen

P. Hasse

621.3.015.3:621.316.91;

Der Aufsatz schliesst am [1] an. Ausgehend von den Ursachen und der Entstehung von Überspannung werden in der Praxis bewährte Schutzmassnahmen erläutert. Spezielle Überspannungsschutzgeräte werden vorgestellt und ihre bevorzugten Einsatzgebiete aufgezeigt. Die für die Anwendung massgebenden Kennwerte werden herausgearbeitet und der koordinierte Einsatz der Massnahmen gezeigt.

Cet article fait suite à [1]. En partant de l'origine des surtensions, des dispositions de protection donnant de bons résultats en pratique sont expliquées. Quelques dispositifs de protection particuliers sont présentés et leurs domaines d'emploi préférentiels indiqués. Les caractéristiques déterminantes pour l'emploi de ces dispositifs sont établies et l'emploi coordonnée des dispositions est montré.

1. Einführung

In den letzten Jahren haben Überspannungsschäden in Niederspannungs-Verbraucheranlagen, insbesondere in solchen mit elektronischen Geräten, in erheblichem Masse zugenommen. Die Schadenstatistiken der Sachversicherer [2] weisen aus, dass z. B. Gewitterüberspannungsschäden (also indirekte Blitzschäden) bereits ein Vielfaches der direkten Blitzschäden betragen. Dies verdeutlicht beispielsweise die oberösterreichische Blitzschadenstatistik [3] der Brandverhütungsstelle (Tabelle I).

Durch Überspannung besonders gefährdet sind in Wohnhäusern installierte, empfindliche Elektrogeräte, wie Kühlgeräte Waschmaschinen, Durchlauferhitzer, Fernsehgeräte, elektronische Einrichtungen für Nachtstrom-Speicheranlagen, Alarmanlagen, Wasserversorgungsanlagen sowie elektrische Verteilungsanlagen. In besonderem Masse empfindlich gegen Überspannung sind auch elektronische Mess-, Steuer und Regelkreise (MSR-Kreise), z. B. in ausgedehnten Industrieanlagen.

Anzahl Blitzschäden gemäss Schadenstatistik der Brandverhütungsstelle für Oberösterreich Tabelle I

Jahr	Blitzschäden	
	direkte (Überspannungsschäden)	indirekte (Überspannungsschäden)
1966	142	3 788
1967	147	3 497
1968	167	3 805
1969	110	5 238
1970	123	6 140
1971	146	5 782
1972	75	6 894
1973	121	6 135
1974	107	9 188
1975	163	12 100
1976	109	10 763
1977	96	14 158
1978	117	11 450
1979	120	14 229
1980	64	16 075
1981	36	15 962

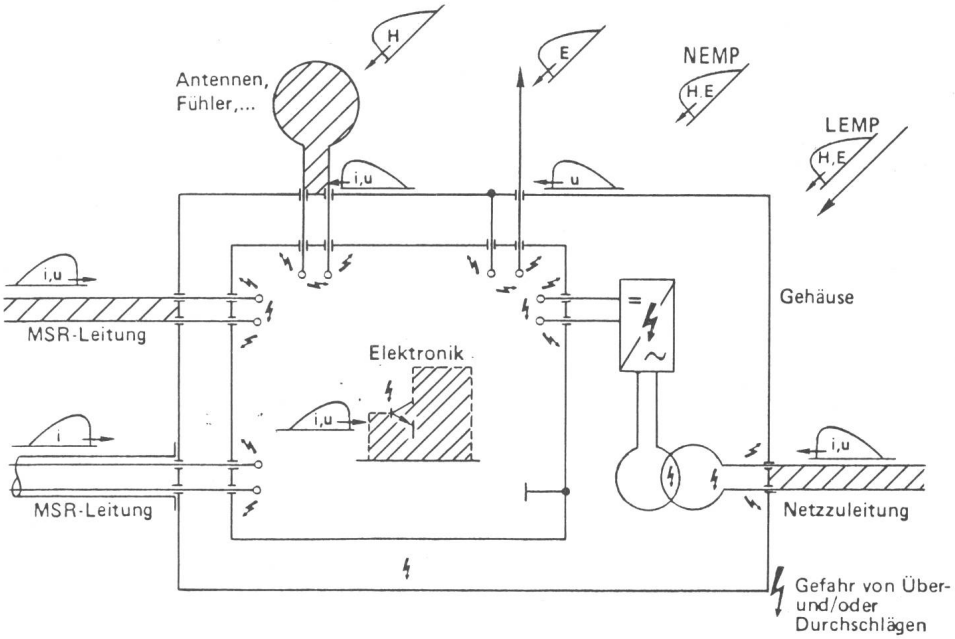


Fig. 1 Gefährdung eines Gerätes mit elektronischen Bauteilen durch elektromagnetische Felder
Schalthandlungen in Hochspannungsanlagen, Blitzentladungen (LEMP) und Nuklearexplosionen (NEMP) sowie Stoßspannungen und Stoßströme an den Leitungsanschlüssen.

2. Gefährdung

Überspannungsgefährdet sind Niederspannungsanlagen mit elektronischen Geräten entweder durch elektromagnetische Felder, Schalthandlungen in Hochspannungsanlagen, Blitzentladungen und Nuklearexplosionen oder durch Stoßspannungen und Stoßströme, verursacht durch Schalthandlungen in den Niederspannungsanlagen selbst sowie durch direkte bzw. nahe Blitzeinschläge (Fig. 1).

Die Ursachen für Gewitter- und Schaltüberspannungen sind in [1] ausführlich dargestellt worden.

2.1 Blitzentladungen

Die transienten elektrischen (kapazitiven) und magnetischen (induktiven) Felder, die vom Blitzkanal und von den vom Blitzstrom durchflossenen Leitern ausgehen, bewirken Verschiebungsströme und induzierte Spannungen in elek-

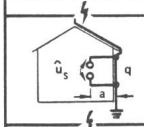
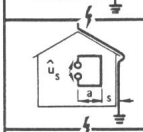
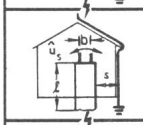
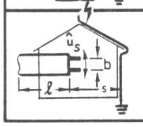
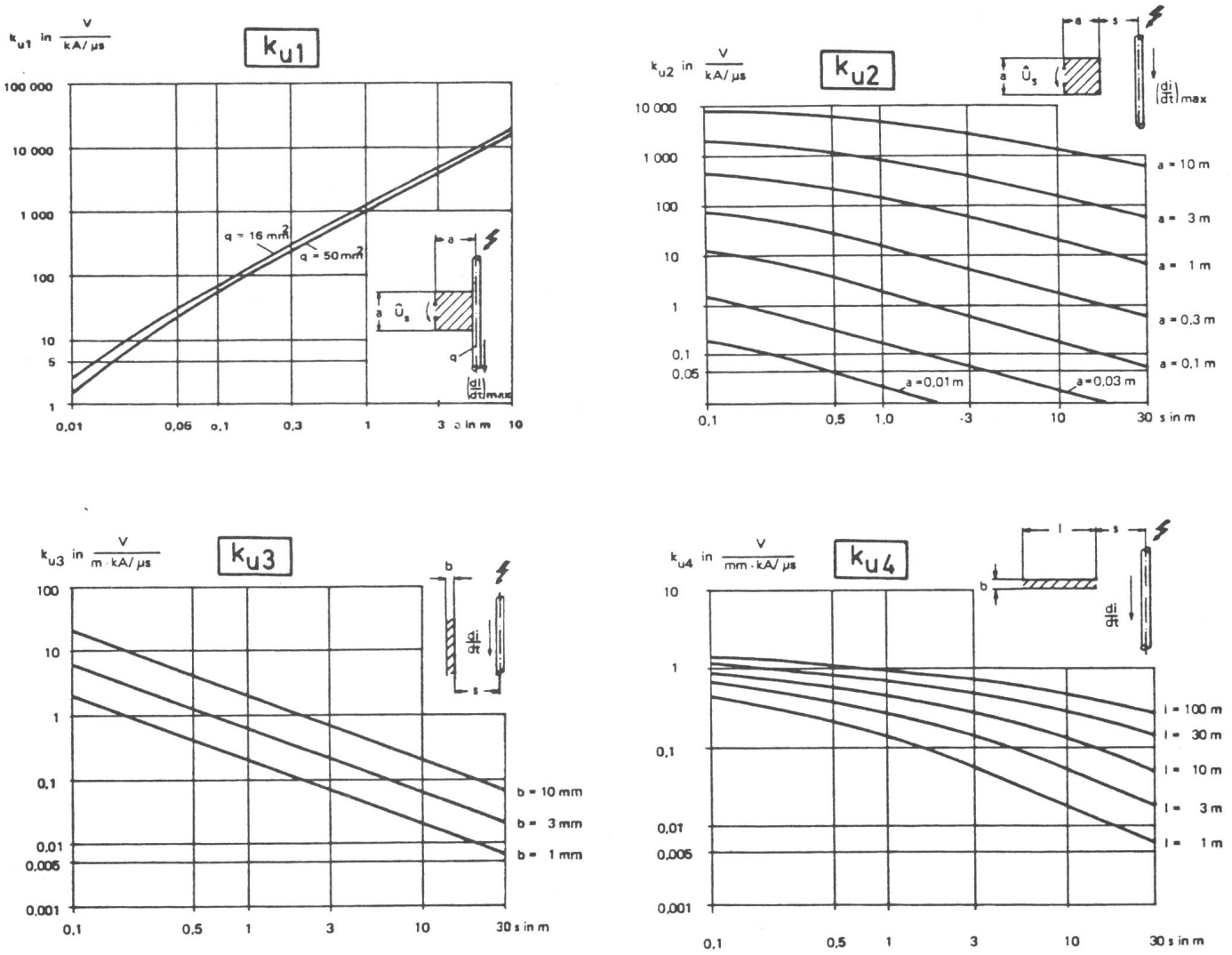
Installationsschleifen	max. induzierte Spannung	Berechnungsbeispiele		
		$(di/dt)_{max.}$	Maße	$\hat{u}_s$
	$\hat{u}_s = k_{u1} \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max.}$	$80 \cdot 10^9$ A / s	q = 50 mm², a = 10 m, k_{u1} = 15 000 $\frac{V}{kA/\mu s}$	1200 kV
	$\hat{u}_s = k_{u2} \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max.}$		a = 10 m, s = 1 m, k_{u2} = 5 000 $\frac{V}{kA/\mu s}$	400 kV
	$\hat{u}_s = k_{u3} \cdot l \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max.}$		b = 3 mm, s = 1 m, l = 10 m, k_{u3} = 0,6 $\frac{V}{m \cdot kA/\mu s}$	480 V
	$\hat{u}_s = k_{u4} \cdot b \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max.}$		b = 3 mm, s = 1 m, l = 10 mm, k_{u4} = 0,5 $\frac{V}{mm \cdot kA/\mu s}$	120 V

Fig. 2 Maximal induzierte Spannungen in Installationsschleifen

Fig. 3 Kennwerte k_{u1}, k_{u2}, k_{u3} und k_{u4} zur Berechnung der maximalen induzierten Spannungen in Schleifen



trischen Anlagen. Diese Felder werden als «Electromagnetic Pulses of Lightning» (LEMP) bezeichnet (Fig. 1). Es treten aber auch ohmsche Strömungsfelder auf, die durch Potentialanhebungen an den Stosserdungswiderständen entstehen.

Die Höhe der induzierten Spannungen in allen offenen oder geschlossenen Installationsschleifen, die sich in der Umgebung des vom Blitzstrom durchflossenen Leiters befinden, ist abhängig vom Maximalwert der Blitzstromsteilheit $(di/dt)_{max}$ [4]. Um abzuschätzen, mit welchen Spannungsamplituden in Gebäuden oder technischen Anlagen beim Blitzschlag zu rechnen ist, können die maximalen induzierten Spannungen $\hat{u}_s$ für quadratische Schleifen, die sich in der Nähe von unendlich ausgedehnt angenommenen Blitzableitern befinden, mit den in Figur 2 zusammengestellten Beziehungen berechnet werden [5]. Die Kennwerte k_{u1} bis k_{u4} sind dazu aus den Diagrammen in Figur 3 zu entnehmen.

Ausser den in den ersten beiden Zeilen in Figur 2 berechneten Induktionswirkungen in «flächigen» Schleifen, die durch Installationen und Leitungsführungen gebildet werden, interessieren auch Induktionseffekte in sehr schmalen, langgestreckten Schleifen, die durch parallellaufende Adern ungeschirmter, lagenweise verseilter Leitungen (z. B. Fernmeldeleitungen) in der Umgebung von Blitzableitern gebildet werden. Diese in den letzten beiden Zeilen von Figur 2 angegebenen, zwischen den Adern entstehenden Querspannungen sind besonders für elektronische Geräte und Bauteile gefährlich. Elektrische Anlagen und Geräte können jedoch auch von direkten Blitzeinschlägen getroffen oder sie können von Blitzströmen oder Blitzteilströmen durchflossen werden. Dabei ist mit den in Tabelle II von [1] angegebenen Spannungen und Strömen zu rechnen.

2.2 Schalthandlungen

Schaltüberspannungen in Hochspannungsanlagen, hervorgerufen z. B. durch das Abschalten von leerlaufenden Hochspannungsleitungen, von Kondensatoren von leerlaufenden Transformatoren oder durch Erdschlüsse im ungeerdeten Netz, können durch kapazitive Kopplung auf Niederspannungsanlagen einwirken. Plötzliche Stromänderungen in Hochspannungsanlagen können aber auch durch induktive Kopplung Überspannungen in Niederspannungsanlagen erzeugen. Nicht zuletzt können durch Schaltvorgänge in Niederspannungsanlagen selbst Überspannungen verursacht werden.

In Einzelfällen sind Schaltüberspannungen mit Scheitelwerten über 15 kV registriert worden.

Parameter von NEMP und LEMP Tabelle II

	Endo-NEMP	Exo-NEMP	LEMP
E_{max} in kV/m	≫ 50	50	einige 100[1])
H_{max} in A/m	≫130	130	einige 1000[1])
Anstiegszeit in ns	einige	einige	einige 10[2]) bis 1000

[1]) in 10 m Entfernung
[2]) neue Erkenntnisse aus Turm- und Feldmessungen der Blitzforschungsgruppe München

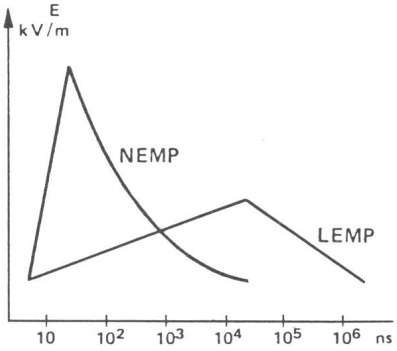


Fig. 4 Vergleich der Impulsform von LEMP und NEMP

2.3 Nuklearexplosionen

Im Vergleich zum LEMP hat der bei der Detonation einer Atombombe entstehende «Nuclear-Electromagnetic-Puls» (NEMP) wesentlich kürzere Anstiegszeiten (Fig. 4). Entsteht der NEMP bei Explosionen dicht über der Erde (endo-atmosphärische Explosion oder Endo-NEMP), so überwiegen die Auswirkungen der Druck- und Hitzewellen bei weitem diejenigen des gleichzeitig entstehenden NEMP. Bei der exo-atmosphärischen Explosion (Exo-Nemp in Höhen > 40 km) wirkt sich der NEMP auf der Erdoberfläche hingegen als gefährlichste Bedrohung aus. In Tabelle II sind die Feldparameter von NEMP und LEMP gegenübergestellt.

2.4 Einkopplung von Stoßströmen in Signalleitungen

Im folgenden soll beispielhaft an Blitzschlägen gezeigt werden, wie Stoßströme ohmisch, induktiv oder kapazitiv in Signalleitungen ausgedehnter Anlagen eingekoppelt werden können. Dabei wird von einer Anordnung ausgegangen, bei der sich ein Gerät 1 in einem Gebäude 1 und ein Gerät 2 in einem Gebäude 2 befindet, wobei beide Geräte über eine Signalleitung miteinander verbunden sind. Weiterhin sind beide Geräte – über die Schutzleiter PE – an die jeweiligen Potentialausgleichsschienen (PAS) in den Gebäuden angeschlossen.

Ohmsche Kopplung

Bei einem Blitzschlag in das Gebäude 1 (Fig. 5) entsteht am ohmschen Ausbreitungswiderstand R_{A1} ein Spannungsfall von einigen 100 kV. Solche Spannungen reichen aus, um die Isolierstrecken in den Geräten 1 und 2 zu überschlagen, so dass dann ein ohmisch eingekoppelter Stoßstrom von PAS 1 über das Gerät 1, die Signalleitung, das Gerät 2, PAS 2 und R_{A2} fliessen kann. Die Grösse des eingekoppelten Stoßstroms (Scheitelwert: einige kA) wird durch die Widerstände R_{A1} und R_{A2} bestimmt.

Induktive Kopplung

Die vom Blitzkanal oder die von den vom Blitzstrom durchflossenen Leitern ausgehenden induktiven Felder induzieren in metallenen Schleifen Spannungen. Die zweiadrige Signalleitung zwischen dem Gerät 1 und dem Gerät 2

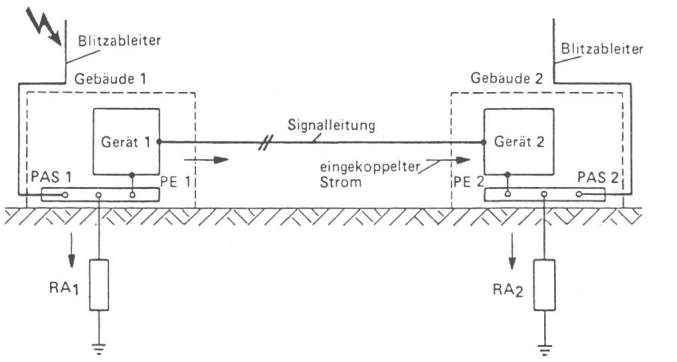


Fig. 5 Ohmsche Kopplung

bildet eine Induktionsschleife, in der bei einem Blitzschlag in das Gebäude 1 eine eingeprägte Spannung (einige kV) induziert wird, die einen Strom (bis zu einigen kA) zur Folge hat. Diese Spannungen und Ströme beanspruchen die Bauteile an den Eingängen oder den Ausgängen der Geräte. Ferner besteht eine Induktionsschleife aus der Signalleitung und dem Erdboden. Bei einem Blitzschlag wird in dieser Schleife eine hohe Spannung (einige 10 kV) induziert, die das Überschlagen der Isolierstrecken in den Geräten 1 und 2 und einen Strom (von einigen kA) zur Folge haben kann.

Kapazitive Kopplung

Trifft ein Blitz die Erde oder einen Blitzableiter, so wird der Blitzkanal bzw. der Blitzableiter infolge des Spannungsabfalls am Ausbreitungswiderstand auf eine hohe Spannung (einige 100 kV) gegenüber der Umgebung angehoben. Die Signalleitung zwischen den Geräten 1 und 2 ist mit einem solchen Blitzkanal oder dem Blitzableiter kapazitiv gekoppelt. Die Koppelkapazitäten werden aufgeladen und verursachen einen eingekoppelten Strom (einige 10 A), der nach dem Überschlagen der Isolierstrecken in den Geräten 1 und 2 zur Erde abfliesst.

2.5 Stoßspannungsfestigkeit

Die beschriebenen Bedrohungen verursachen in elektrischen Anlagen und Geräten Überspannungen von einigen 10 kV bis zu vielen 100 kV, während die Stoss-, Über- oder Stossdurchschlagsspannungen in Niederspannungs-Verbraucheranlagen und besonders in elektronischen Einrichtungen weitaus niedriger liegen (vgl. [1], Tab. I).

3. Schutzmassnahmen

Im Gegensatz zu üblichen elektromagnetischen Störungen [7] sind Blitzentladungen, Schalthandlungen und Nuklearexplosionen relativ selten und von sehr kurzer Dauer. Man wird sich deshalb in der Regel darauf beschränken können, Zerstörungen der Geräte durch Überspannungen zu verhindern, wobei kurzzeitige Signalverfälschungen in Kauf genommen werden. So wird man z. B. in üblichen Niederspannungsanlagen in weiten Bereichen der industriellen Mess-, Steuer- und Regelungstechnik und in grossen Teilen der Nachrichtentechnik verfahren. Nur in besonderen Fällen, wie z. B. in Steuerungen von Kernkraftwerken, Gefahrenmeldeanlagen und ständig einsatzbereit zu haltenden militärischen Anlagen, dürfen auch bei Blitzentladungen und Nuklearexplosionen keine Fehlsignale entstehen. Mitunter wird sogar die Aufgabe gestellt, den Blitzschutz mit dem Schutz gegen Schaltüberspannungen und gegen nukleare elektromagnetische Pulse zu kombinieren. Die physikalischen Grundlagen der heute zum Einsatz kommenden Überspannungsschutzmassnahmen sind in [1] ausführlich beschrieben worden. Es handelt sich hierbei vor allem um Massnahmen, die ausserhalb von Geräten angewendet werden können, also ohne in deren innere Schaltung einzugreifen:

- Verstärken des «äusseren Blitzschutzes» (verringerte Maschenweite der Fangeinrichtungen, erhöhte Anzahl von Ableitungen) an allen Gebäuden und Anlagen,
- Zusammenfassen der Bewehrung von Fussböden, Wänden und Decken sowie Zusammenschluss von Metallfassaden (besonders im Bereich von Elektronikräumen) zu möglichst geschlossenen Abschirmkäfigen (Bild 12),
- Einbeziehen aller Fundamentbewehrungen in die Erdungsanlage,
- Vermaschen der Erdungsanlage im Gelände zur Flächenerdung,
- Vermaschen des Potentialausgleichs in den Gebäuden zum Flächenpotentialausgleich,
- Schaffen von Soll-Überschlagstellen mit Hilfe von Funkenstrecken,
- Einbau von Ventilableitern oder Löschfunkenstrecken in Starkstromanlagen,
- Einbau von Überspannungsfeinschutzgeräten (z. B. Blitzductoren) am Anfang und am Ende von MSR-Kabeln oder an den Ein- und Ausgängen von MSR-Geräten,
- Abschirmen der MSR-Kabel (mit beidseitiger Erdung des Schirmes),
- MSR-Kabel mit Adern in Paarverseilung,
- Bereitstellen von «Löschpfaden».

Einige dieser Schutzmassnahmen können nur bei Neuanlagen, andere auch noch nachträglich bei bestehenden Anlagen angewendet werden; dazu zählt besonders der Einsatz von Funkenstrecken, Ventilableitern und Blitzductoren.

3.1 Äusserer Blitzschutz

Unter äusserem Blitzschutz versteht man nach VDE 0185 [8][1]) die Gesamtheit aller ausserhalb, an und in der zu schützenden Anlage verlegten und bestehenden Einrichtungen zum Auffangen und Ableiten des Blitzstroms in die Erdungsanlage.

Den Fangeinrichtungen bis zu einer Höhe von 20 m über dem Erdboden wird ein Schutzbereich zugeordnet, innerhalb dessen bauliche Anlagen als geschützt gelten. Für eine einzelne, waagrecht verlaufende Fangleitung wird ein Schutzbereich von 45° (gegen die Senkrechte gemessen) definiert (Fig. 6). Analog dazu wird der Schutzraum einer Fangstange bis 20 m Höhe durch einen Kegel unter 45° angegeben, dessen Spitze mit dem oberen Ende der Fangstange übereinstimmt [9]. Die herkömmliche Art der Verlegung von Dachleitungen auf einem flächig ausgedehnten Gebäude wird als maschenförmige Fangeinrichtung beschrieben,

[1]) Die entsprechende schweizerische Norm ist SEV 4022. 1967, Leitsätze für Blitzschutzanlagen. Diese Leitsätze werden durch kantonale Verordnungen ergänzt. Sie werden zurzeit vom SEV revidiert.

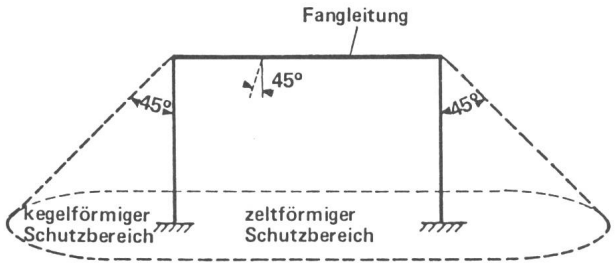


Fig. 6 Schutzbereich einer Fangleitung

deren Maschenweite 10 m×20 m nicht übersteigen soll. Der Raum unterhalb eines solchen Maschengebildes gilt als geschützt. In [9] wird allerdings darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um einen statistischen Schutzraum handelt, von dem etwa 95% aller einschlagenden Blitze abgehalten werden. Bei etwa 5% der Blitze muss damit gerechnet werden, dass diese in den Schutzraum oder zwischen die Maschen einschlagen. Da es sich hierbei jedoch um Blitze mit kleinen Stromscheitelwerten handelt (kleiner als 7 kA), sind die dadurch verursachten Schäden gering.

Nach dieser VDE-Richtlinie werden Gebäude mit einer Höhe von mehr als 30 m zum Schutz gegen seitliche Blitzeinschläge mit aussen am Gebäude angebrachten Fangleitungen geschützt (ab 30 m Höhe jeweils alle weiteren 20 m). Diese neue Schutzraumbetrachtung eröffnet die Möglichkeit, einen bestimmten Raum oder ein Gebäude durch räumlich isoliert aufgestellte Fanganordnungen zu schützen, die aus einer oder mehreren Fangstangen bestehen können, an denen zusätzliche Fangleitungen angebracht sind [9].

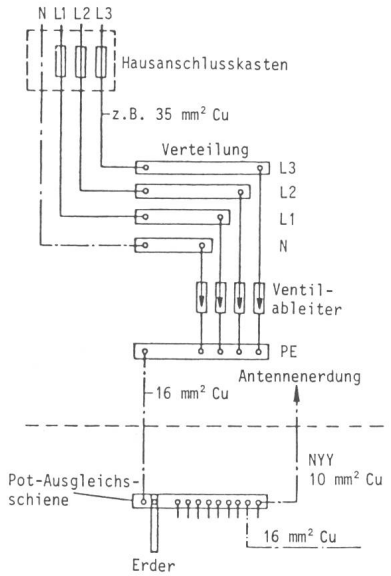


Fig. 7 Potentialausgleich bei Schutzerdung und Fehlerstromschutzschaltung [5]
(vgl. HV SEV 1000, S. 71)

3.2 Innerer Blitzschutz und Überspannungsschutz

Der innere Blitzschutz ist nach VDE 0185 [8] die Gesamtheit der Massnahmen gegen die Auswirkungen des Blitzstroms und seiner elektrischen und magnetischen Felder auf metallene Installationen und elektrische Anlagen im Bereich der baulichen Anlage.

Der Potentialausgleich nach VDE 0190[2]) hat das Beseitigen von Potentialunterschieden im Zusammenhang mit dem Betrieb elektrischer Verbraucheranlagen zum Ziel, z. B. zwischen dem Schutzleiter der Starkstromanlage und den Wasser-, Gas- und Heizrohrleitungen sowie zwischen diesen Rohrleitungen untereinander. Das Beseitigen von Potentialunterschieden bei Blitzeinwirkung erfordert Massnahmen, die über die Anforderungen nach VDE 0190 hinausgehen. Die Blitzschutzanlage wird dazu mit weiteren metallenen Installationen über Leitungen oder Trennfunkenstrecken und, falls erforderlich, auch mit aktiven Teilen von elektrischen Anlagen über Überspannungsschutzgeräte verbunden (Fig. 7). Diese Massnahmen werden nach VDE 0185 «Blitzschutz-Potentialausgleich» [9] genannt.

Der Potentialausgleich in Grossanlagen wird meistens in vermaschter Form ausgeführt. Er umfasst Fundamenterder, Bewehrungen der Gebäudeteile, Kabelkanalbewehrung, metallene Kabelpritschen, Kabelmäntel, Kabelschirme, Gestelle und Schränke elektrischer Einrichtungen, Hochspannungsschutzerder, Niederspannungsbetriebserder, Rohrleitungen für Wasser, Heizung und Gas, Blitzschutzerder und Erdklemmen der Überspannungsschutzgeräte.

4. Beispiele für die Anwendung von Schutzmassnahmen und den Einsatz von Schutzgeräten

In Figur 8 wird der gezielte Einsatz von Überspannungsschutzgeräten der Klasse I und II [1, Typen I und II] in einer ausgedehnten elektrischen Anlage mit elektronischen Geräten gezeigt:

- Die Gebäude sind mit äusseren Blitzschutzanlagen versehen, die in besonders gefährdeten Bereichen mit engerer Maschenweite der Fangeinrichtung und erhöhter Ableitungsanzahl ausgestattet sind.
- Fundamenterder der Gebäude und Erdleitungen im Gelände sind untereinander verbunden und zu einer Flächenerdung vermascht.
- Der Isolierflansch der in die Aussenanlage eingeführten Rohrfernleitung ist mit einer (explosionsgeschützten) Funkenstrekke überbrückt und an den Potentialausgleich angeschlossen. Auf dieser Rohrfernleitung können beachtliche Teilblitzströme fliessen, so dass hier eine Funkenstrecke vom Typ II [1, Fig. 14] eingesetzt werden muss.
- Die Aussenanlage wird über eine Freileitung versorgt, in die direkte Blitzeinschläge möglich sind. Deshalb müssen hier ebenfalls Überspannungsschutzgeräte der Klasse II, entsprechende Löschfunkenstrecken, eingebaut werden.
- Das Kontrollgebäude hingegen wird über ein Erdkabel versorgt, über das nur Wanderwellen aus Ferneinschlägen oder Schaltüberspannungen zu erwarten sind. Hier reichen Ventilableiter, also Überspannungsschutzgeräte der Klasse I, aus.

[2]) In der Schweiz gelten analog die Hausinstallationsvorschriften (HV), SEV 1000, Zif. 414.

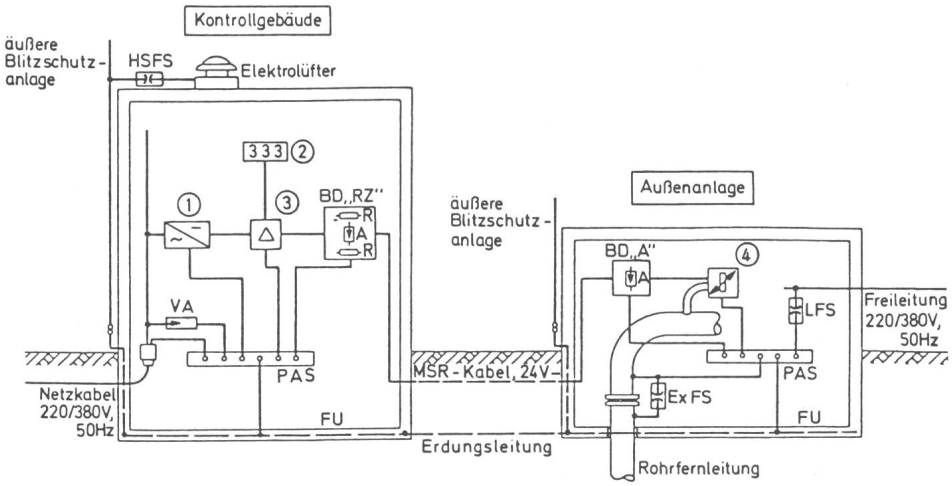


Fig. 8 Überspannungsschutz einer ausgedehnten elektrischen Anlage mit elektronischen Geräten

- Auf dem Dach des Kontrollgebäudes steht ein genullter Elektrolüfter, der in diesem Spezialfall zur Vermeidung grossflächiger metallener Schleifen (aus Blitzschutzleitungen und Schutzleitern der Starkstromanlage) über eine blitzstromtragfähige Funkenstrekke der Klasse II, hier eine Hochstromfunkenstrecke, an die äussere Blitzschutzleitung angeschlossen ist.
- Die hochempfindliche 24-V-MSR-Anlage wird vermutlich nur durch Ferneinschläge und Schaltüberspannungen bedroht, so dass Überspannungsschutzgeräte der Klasse I ausreichen. Als Feinschutzgeräte kommen Blitzductoren [1, Fig. 23] zum Einsatz. Der Messwertgeber, rechts in Figur 8, ist z. B. ein Grenzwertgeber, der nicht extrem überspannungsempfindlich ist, so dass zu seinem Schutz der Blitzductor Typ A [1, Fig. 25] ausreicht. Im Kontrollgebäude hingegen steht ein hochempfindlicher elektronischer Messverstärker, so dass hier der Blitzductor Typ RZ zur Anwendung kommt.

Sollte allerdings die MSR-Anlage auch durch direkte Blitzeinschläge bedroht sein, so müssen den Blitzductoren Überspannungsschutzgeräte der Klasse II, z. B. Hochstromfunkenstrecken, als Grobschutz vorgeschaltet werden.

4.1 Äussere Blitzschutzanlage

Als Fangeinrichtungen werden üblicherweise Drähte in Maschenform verlegt. Bauseits vorhandene blitzstromtragfähige Metallteile werden in der Regel als Fangeinrichtungen oder Ableitungen in die äussere Blitzschutzanlage einbezogen. Zusätzlich zu den maschenförmigen Fangeinrichtungen können nach VDE 0185 auch Fangstangen eingesetzt werden, denen ein kegelförmiger Schutzbereich bis zu einer Gesamthöhe (Gebäude einschliesslich Fangstange) von 20 m zugeordnet wird. Anders verhält es sich mit dem Schutzbereich von Fangstangen, die auf Gebäudedächern zum Schutz von elektrischen Einrichtungen (z. B. Aufzüge, Klimaanlagen, Hindernisbefeuerungen) vor direkten Blitzeinschlägen aufgestellt werden (Fig. 9). Für solche Fangstangen gilt der 45°-Schutzbereich unabhängig von der Gebäudehöhe.

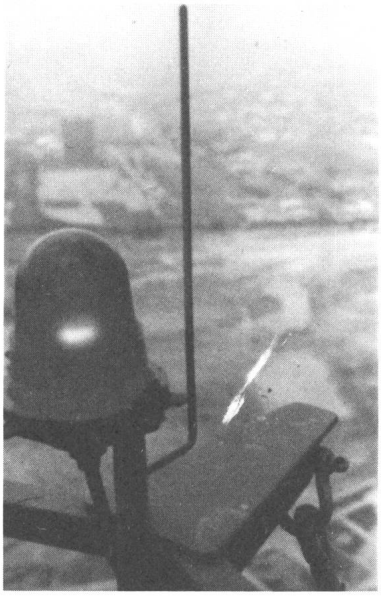


Fig. 9 Schutz der Hindernisbefeuerung am Münchener Fernsehturm vor direkten Blitzeinschlägen durch Fangstange

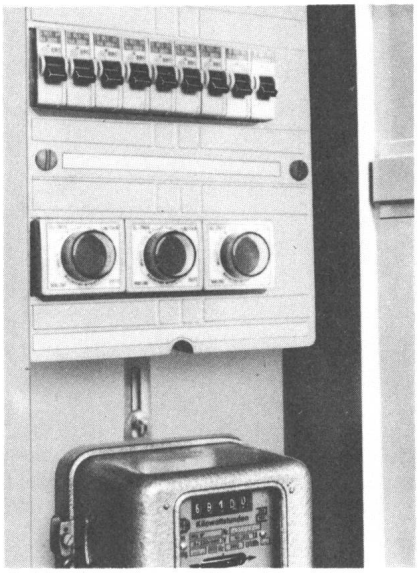


Fig. 10 Ventilableiter Typ VA in Niederspannungsverteilung

Auch Kombinationen von Fangstangen und Fangseilen zu kompletten äusseren Blitzschutzanlagen sind möglich. Gerade die modernen Bautechniken, bei denen Stahlskelette, Stahlbeton und auch häufig äussere Metallverkleidungen verwendet werden, erlauben eine Integration dieser Metallteile in die äussere Blitzschutzanlage [8]. Wenn bereits im Bauplanungsstadium die äussere Blitzschutzanlage berücksichtigt wird, dann lassen sich oft auch architektonisch vorteilhafte Lösungen finden:

4.2 Ventilableiter

Der Blitzschutz-Potentialausgleich zur Starkstromanlage wird über Ventilableiter oder Löschfunkenstrecken ausgeführt. Bei Schutzerdung sind vier Ableiter (oder Löschfunkenstrecken) erforderlich, im genullten Netz dagegen nur drei. Es ist aber zu beachten, dass jedes Überspannungsschutzgerät nur einen örtlich begrenzten Schutzbereich hat. Liegt zwischen dem zu schützenden Gerät und dem Überspannungsschutzgerät eine Verbindungsleitung der Länge l, so tritt an dem zu schützenden Gerät eine von der Steilheit $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ der anlaufenden Überspannung abhängige Spannungsspitze $\hat{u}$ auf:

$$\hat{u} = \hat{u}_{\ddot{u}} + \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} \cdot \frac{l}{150} \cdot 10^{-6} \qquad [\mathrm{V, s, m}]$$

Dabei ist $\hat{u}_{\ddot{u}}$ die von $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ abhängige Ansprechspannung des Schutzgerätes. Schon bei einer Steilheit der Überspannung von 15 kV/µs (z. B. beim Ferneinschlag) übersteigt die Spannung $\hat{u}$ am Gerät die Ansprechspannung $\hat{u}_{\ddot{u}}$ des Überspannungsschutzgerätes um 100 V/m Zuleitung. Deshalb werden in ausgedehnten Industrieanlagen sowohl in der Hauptverteilung als auch mindestens in jeder Unterverteilung Ventilableiter eingesetzt, wodurch die in der gesamten Starkstromanlage auftretenden Überspannungen auf einen Scheitelwert von etwa 2 kV begrenzt werden. Hierzu gibt es Ventilableiter mit Schraubklemmenanschlüssen, die in die Niederspannungsverteilung eingebaut werden können (Fig. 10). Der Ventilableiter Typ NHVA kann ähnlich einer Niederspannungs-Hochleistungssicherung in Unterteile der Grösse 00 gesteckt werden, so dass ein Ableiterwechsel mit Hilfe eines entsprechenden Sicherungsaufsteckgriffes auch unter anstehender Netzspannung möglich ist.

4.3 Blitzductor

Ist nur ein einzelnes elektronisches Gerät zu schützen, so wird der Blitzductor in dessen unmittelbarer Nähe angeordnet. Bei ausgedehnten Anlagen mit vielen MSR-Leitungen wird die erforderliche Anzahl der Blitzductoren am Ein- oder Austritt der Leitungen jeweils am Gebäude eingesetzt (Fig. 11).

4.4 Explosionsgeschützte Funkenstrecke

Explosionsgeschützte Funkenstrecken zum Schutz von Isolierflanschen oder Isolierkupplungen werden mit möglichst kurzer Anschliess-Seillänge am Flansch montiert. Fig. 12 zeigt eine solche explosionsgeschützte Funkenstrekke, die parallel zu einem Isolierflansch einer kathodisch geschützten Ölleitung eingebaut ist. Um die Anschlussleitungslängen möglichst klein zu halten, werden mitunter solche explosionsgeschützten Funkenstrecken in einem Spezialgehäuse auch direkt an den Isolierkupplungen unterirdisch verlegter Rohrleitungen angebracht.

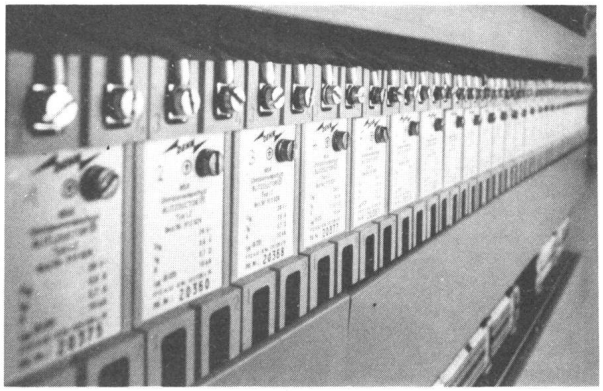


Fig. 11 Einsatz von Blitzduktoren zum Schutz einer MSR-Anlage

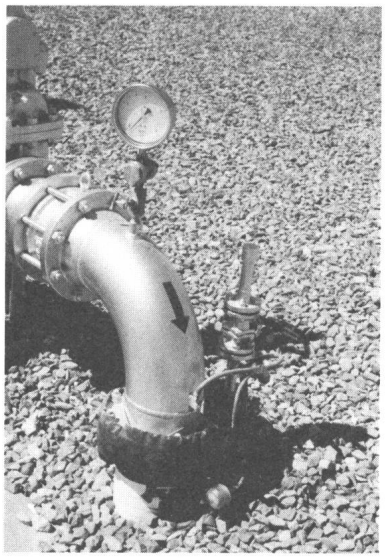


Fig. 12 Explosionsgeschützte Funkenstrecke zum Schutz des Isolierflansches einer kathodisch geschützten Ölleitung

4.5 Rohrfernleitungsanlagen

Rohrfernleitungen werden mit Isolierstoffumhüllungen und kathodischen Schutzstromanlagen vor Korrosion geschützt. Dieser kathodische Schutz erfordert eine Aufteilung der Rohrleitung in elektrisch voneinander getrennte Abschnitte unterschiedlicher Länge (1,5 ... 15 km), damit eine individuelle, an die örtlichen Erfordernisse angepasste Potentialsteuerung möglich ist.

Gerade eine solche metallene Rohrfernleitung, die ausgedehnte Gebiete durchquert, übt eine starke «Saugwirkung» auf elektrische Ströme im Erdreich aus. Der Erdübergangswiderstand verlegter Rohrleitungsabschnitte mit einer modernen Polyäthylenisolierung beträgt nur einige Ohm. Diese relativ gute Erdfühligkeit und die hervorragende Längsleitfähigkeit des Stahlrohres wie auch die Schadensverläufe lassen darauf schliessen, dass die Rohrleitungen an der Fortleitung von «Störströmen» aus dem gesamten durchquerten Gebiet massgebend beteiligt sind.

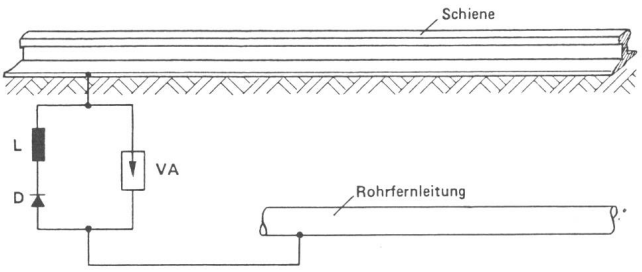


Fig. 13 Schema des Korrosionsschutzes einer Rohrfernleitung mittels Drainagediode
L Induktivität (1 mH)
D Drainagediode
VA Ventilableiter

Mögliche elektrische Beeinflussungen von Rohrfernleitungen, die Überspannungen verursachen, sind beispielsweise:

- direkte Blitzeinschläge in die Fernleitung in denjenigen Bereichen, in denen sie oberirdisch geführt wird,
- direkte Blitzeinschläge in benachbarte Anlageteile, wie Beleuchtungsmaste, Entlüftungsrohre, Schachtkonstruktionen, Schilder, Umzäunungen, Bäume und Stromübertritte auf die Rohrleitung,
- kurzzeitige Beeinflussungen durch Kurzschlüsse in benachbarten Hochspannungsfreileitungen,
- Dauerbeeinflussung durch benachbarte Hochspannungsfreileitungen,
- induzierte Spannungen auf der Rohrleitung durch Blitzströme im Erdreich,
- kapazitive Ausgleichsvorgänge auf der Rohrleitung als Folge hochfrequenter Potentialdifferenzen im Erdreich,
- Blitzstromübertritt vom Erdreich in die Rohrleitung an Fehlstellen in der Isolierung.

Besonders gefährdet durch solche Überspannungen sind elektrische Korrosionsschutzeinrichtungen und Isolierflansche sowie Isolierkupplungen. Der Korrosionsschutz einer Rohrfernleitung kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen:

Durch Anbringen von Drainagedioden (Fig. 13), welche vagabundierende Erdströme, die sich über die Fernrohrleitung fortpflanzen, an deren Quelle zurückleiten und somit ein unkontrolliertes Austreten aus der Rohrleitung und die damit verbundene Korrosion an den Austrittstellen verhindert. Diese Drainagedioden werden vor allen Dingen dann eingesetzt, wenn die Rohrleitung im Einflussbereich von Gleichstrombahnen liegt, dienen aber auch um naturgegebene Potentialunterschiede auszugleichen.

Durch kathodische Schutzgleichrichter, meist mit selbsttätiger Potentialeinstellung, die die Rohranlage auf ein Potential bringen, welches einen Stromaustritt aus der Rohrleitung verhindert und aus einer in das Erdreich eingebrachten Anodenanlage Strom austreten und in die Rohrleitung eintreten lässt. Diese Schutzgleichrichter werden aus dem Starkstromnetz mit Strom versorgt.

Die Drainagedioden sind in der Regel für Nennströme bis 250 A und Sperrspannungen zwischen 1600 V und 2500 V ausgelegt. Sie müssen vor Überlastung durch Blitzströme in Durchlassrichtung und vor Überspannungen in Sperrichtung geschützt werden. Zu diesem Zweck wird eine Induktivität mit der Diode in Reihe geschaltet und diese Reihenschaltung dann mit einem Ventilableiter oder einer Löschfunkenstrecke überbrückt [10]. Die Induktivität muss so dimensioniert sein, dass die bei Stromanstieg an ihr entstehende Spannung die Zündspannung des Überspannungsschutzgerätes übersteigt, ehe die Diode durch den Stoßstrom thermisch überlastet oder perforiert wird.

4.6 Transportable Betriebsstätten

Eine transportable Betriebsstätte, z. B. eine mobile Sendeanlage, ist gegen gefährliche Berührungsspannung und gegen Überspannung zu schützen. Im vorliegenden Beispiel war der Überspannungsschutz auch bei direkten Blitzeinschlägen und bei nuklearen elektromagnetischen Pulsen (NEMP) [11] zu gewährleisten.

Durch direkte und indirekte Blitz- und NEMP-Einwirkungen auf eine transportable Betriebsstätte und ihre elektrischen Systeme können zwischen den Leitern des Netzanschlusses und den davon durch die Schutzisolierung getrennten Metallteilen der Betriebsstätte so hohe Spannungen auftreten, dass die doppelte oder verstärkte Isolation durchschlagen und zerstört wird. Die Überspannungen auf der Netzanschlußseite sind deshalb so zu begrenzen, dass die Schutzisolierung nicht gefährdet wird. Die Überspannungsschutz-Schaltung wird am Netzeingang zwischen den ankommenden Leitungen und dem Gehäuse der transpor-

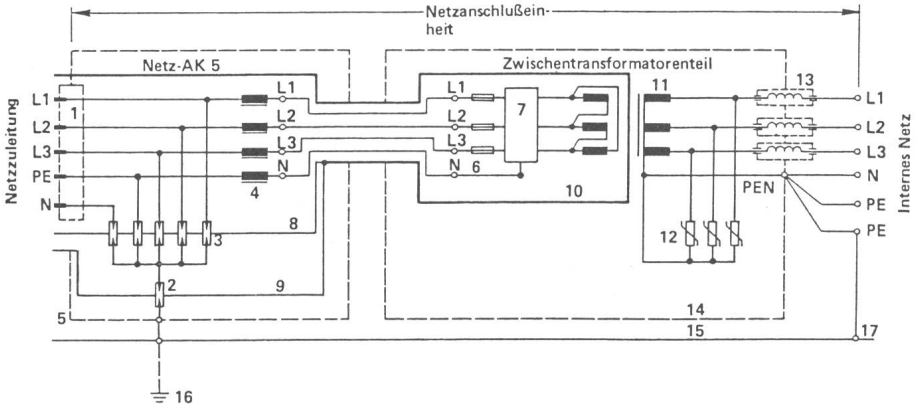


Fig. 14 Prinzipschaltbild eines überspannungsgeschützten Netzanschlusses einer transportablen Betriebsstätte mit Schutzisolierung

tablen Betriebsstätte eingefügt. Die Schutzisolierung und der Überspannungsschutz müssen miteinander vereinbar sein.

Eine Schaltung, die den Schutz gegen Überspannungen und auch die Schutzisolierung verwirklicht, ist in Figur 14 dargestellt. Zwischen den Netzzuleitungen (L1, L2, L3, N, PE) und dem Gehäuse der transportablen Betriebsstätte wird eine Überspannungsableiteranordnung geschaltet, bestehend aus fünf normalen Löschfunkenstrecken und einer Hochstromfunkenstrecke. Die Wechselansprechspannung dieser Ableiteranordnung liegt bei etwa 5 kV, die Stossansprechspannung bei etwa 10 kV. Die Isolation zwischen dem Netzeingangskreis und dem Gehäuse sowie die Isolation zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangskreis des Zwischentransformators sind diesen Ansprechspannungen angepasst und entsprechend bemessen. Überspannungen, die unter diesem Pegel liegen (übliche Schaltüberspannungen), führen nicht zum Ansprechen der Ableiteranordnung und werden von den Isolationen verkraftet.

Im ungestörten Betrieb gewährleistet die Ableiteranordnung eine doppelte Isolation. Die Basisisolation wird durch die Löschfunkenstrecken (LFS) gebildet, welche das Löschverhalten nach CEI 99-1 aufweisen; die zusätzliche Isolation wird durch die Hochstromfunkenstrecke HSFS realisiert. Vor und während des Zündens entstehen an der Ableiteranordnung Spannungsspitzen, deren Höhe von der Steilheit der Überspannungen abhängt (Fig. 15). Mit zunehmender Spannungssteilheit steigt der Scheitelwert der Ansprechspannung der Ableiteranordnung an. Durch das Einschalten von Spike-Drosseln werden die bei grossen Steilheiten auftretenden Spannungsspitzen gedämpft und so die Isolation des Zwischentransformators zuverlässig geschützt.

Im internen Netz der Betriebsstätte auf der Sekundärseite des Zwischentransformators wird die Schutzmassnahme Nullung angewendet. Die bis zum Ansprechen der Ableiteranordnung auf der Sekundärseite auftretenden Überspannungen werden durch Varistoren begrenzt. Zum Schutz vor sehr hochfrequenten Überspannungen, insbesondere bei NEMP-Einwirkungen, dienen zusätzliche RFI-Durchführungsfilter.

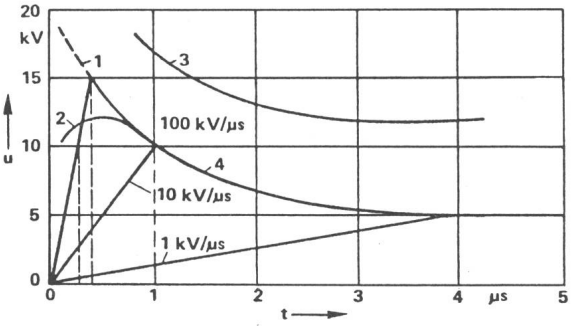


Fig. 15 Koordinierte Stoßspannungskennlinien der Überspannungsableiteranordnung und der Transformatorisolation

1 ohne Spike-Drossel
2 mit Spike-Drossel
3 Stoßspannungskennlinie der Transformatorisolation
4 Stoßspannungskennlinie der Funkenstrecken (LFS und HSFS in Reihe)

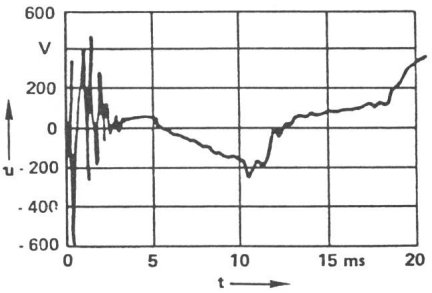


Fig. 16 Typischer Spannungsverlauf am Geräteanschluss bei simulierter Blitzstrombeanspruchung

Der Schutzleiter PE der Netzzuleitung wird bei Anwendung der Schutzisolierung nicht benötigt. Durch das Verwenden handelsüblicher Netzanschlusskabel und Mehrleiter-Steckvorrichtungen für Niederspannung wird der Schutzleiter PE aber zwangsläufig bis an die Kupplungsdose des Kabels vor der transportablen Betriebsstätte geführt. Er darf hier nicht leerlaufend enden, da im Fall einer Überspannungseinwirkung ein Sekundärüberschlag in der Steckvorrichtung erfolgen könnte. Der Schutzleiter PE wird deshalb wie ein spannungsführender Leiter behandelt und mit einer Löschfunkenstrecke beschaltet.

Bei einem direkten Blitzeinschlag muss im ungünstigsten Fall damit gerechnet werden, dass der volle Blitzstrom über die Netzzuleitung einfliesst. Die Ableiteranordnung wurde daher so ausgelegt, dass sie mehrmals einen Strom von mindestens 90% des bisher grössten gemessenen Blitzstromes führen kann.

Der Isolationswiderstand und die Ansprechspannungen der Ableiteranordnung dürfen sich durch vielfache Blitzstrombelastungen nicht wesentlich ändern, um die Schutzisolierung des Netzeinganges zu gewährleisten. Nach dem Ansprechen der Ableiteranordnung durch eine Überspannung muss ferner der über sie fliessende Netzfolgestrom selbständig gelöscht werden. Wie in Figur 14 gezeigt, werden diese Forderungen auf mehrere Funkenstrecken verteilt. An die Netzzuleitungen werden fünf Löschfunkenstrecken LFS angeschlossen. Diese Funkenstrecken entsprechen in ihrem Isolationsverhalten der Basisisolation. Sie werden am Fusspunkt zusammengefasst und über eine Hochstromfunkenstrecke zum Gehäuse des Netzanschlusses geschaltet. Diese kann den vollen Blitzstrom führen und hat hervorragende und sehr zuverlässige Isolationseigenschaften entsprechend der Anforderung an eine zusätzliche Isolation. Die Reihenschaltung aus LFS und HSFS erfüllt damit die Forderungen an eine doppelte Isolation mit blitzstromtragfähigem Überspannungsschutz.

Die Ableiteranordnung wurde mit dem in [1, Fig. 10] dargestellten Dreikomponenten-Prüfstrom getestet. Figur 16 zeigt einen typischen Spannungsverlauf am Geräteanschluss während eines Blitzstromtests. Die Ausgangsspannung wird ausreichend begrenzt und kehrt nach Löschen des Netzfolgestromes auf den normalen Wert zurück. Bei der Prüfung mit einem NEMP-Stoßspannungsgenerator (100 kV Scheitelwert, 10 ns Anstiegszeit, 50 Ohm Innenwiderstand) wurden am Geräteanschluss Störspannungen unter 100 mV gemessen.

5. Schlussbetrachtung

Die vorgestellten Schutzkonzepte beinhalten Massnahmen und Schutzgeräte, die ausserhalb der zu schützenden Geräte angewendet werden, ohne also in deren innere Schaltung einzugreifen. Damit ist es möglich, elektrische Anlagen und hochempfindliche elektronische Geräte nicht nur vor Überspannungen aus Ferneinschlägen und Schalthandlungen, sondern auch aus Direkt- oder Naheinschlägen und Nuklearexplosionen wirkungsvoll zu schützen. Weitere Massnahmen zur Störsicherheit elektronischer Einrichtungen können auch innerhalb der Geräte und Systeme getroffen werden.

Wenn auch das dargestellte Schutzkonzept zum grossen Teil noch nachträglich in bereits bestehenden Anlagen mit mehr oder weniger hohen Kosten verwirklicht werden kann, sollte aber auf jeden Fall bei Neubauvorhaben zum Einsparen von Kosten bereits bei der Planung ein Gesamtkonzept für Massnahmen gegen elektromagnetische Störungen erarbeitet werden.

Literatur

[1] *P. Hasse:* Schutz von Niederspannungsanlagen und Regelstromkreisen vor Überspannungen. Bull. SEV/VSE 73 (1982), S. 409...416.

[2] *W. Wessel:* Schutzmassnahmen gegen Überspannungen. Münster, Westfälische Provinzial-Versicherung der Sparkassen, 1981.

[3] *A. Gugenbauer:* Tätigkeitsbericht, Schadenstatistik 1979. Linz, Brandverhütungsstelle für Oberösterreich, 1980.

[4] *K. Berger:* Extreme Blitzströme und Blitzschutz. Bull. SEV/VSE 71(1980)9, S. 460...464.

[5] *P. Hasse* und *J. Wiesinger:* Handbuch für Blitzschutz und Erdung., 2. Auflage. Berlin, VDE-Verlag, 1982.

[6] *T. Ruedy, J. Bertuchoz* und *B. Wamister:* Entstehung und Wirkung des NEMP. Bull. SEV/VSE 71 (1980) 17, S. 906...910.

[7] *J. Wiesinger:* Blitze und elektromagnetische Verträglichkeit. 16. Internationale Blitzschutzkonferenz, Szeged, 1981; Bericht R-1-06.

[8] Blitzschutzanlagen. Teil 1: Allgemeine Richtlinie für das Errichten. Teil 2: Errichten von besonderen Blitzschutzanlagen. DIN 57 185/VDE 0185 Teil 1 und 2.

[9] *W. Twachtmann:* DIN 57 185/VDE 0185, die neue Richtlinie für das Errichten von Blitzschutzanlagen. ETZ 103 (1982) 2, S. 55...60.

[10] *P. Hasse, A. Meuser* und *C. Miari:* Verhütung von Schäden durch Gewitterüberspannungen an Gas- und Ölfernleitungen. 16. Internationale Blitzschutzkonferenz, Szeged, 1981; Bericht R-5.02.

[11] *P. Hasse* u. a.: Überspannungsschutz eines Netzanschlusses für transportable Betriebsstätten mit Schutzisolierung bei direkten Blitzeinschlägen. ETZ 103(1982)2, S. 52...54.

Adresse des Autors:

Dr. Ing. *Peter Hasse*, Firma Dehn + Söhne, D-8430 Neumarkt 1.
Vermittelt durch den Schweizer Lizenznehmer Siegfried Peyer AG, 8832 Wollerau.