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: 74 (1983)

Heft: 13

Artikel: Prüfanforderungen an Bauteile und Geräte zur Überspannungs- und Überstrombegrenzung bei direkten und fernen Blitzeinschlägen in Niederspannungsanlagen

Autor: Hasse, P. / Wiesinger, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904834

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: 17.07.2025

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

Prüfanforderungen an Bauteile und Geräte zur Überspannungs- und Überstrombegrenzung bei direkten und fernen Blitzeinschlägen in Niederspannungsanlagen

P. Hasse, J. Wiesinger

Ausgehend von den bei Blitzeinschlägen zu erwartenden Stossspannungen und Stossströmen wird gezeigt, auf welche Weise Überspannungsschutzgeräte (Ableiter) zu prüfen sind. Hierzu werden die Ableiter zweckmässig in zwei Klassen eingeteilt: Ableiter der Klasse I für Nah- bzw. Direkteinschläge (und Ferneinschläge) sowie Ableiter der Klasse II für Ferneinschläge, induzierte Blitzüberspannungen (und auch Schaltüberspannungen). Die heute möglichen Bauformen von Ableitern und ihr Verhalten werden diskutiert.

Partant des tensions et des courants de choc qu'on doit attendre en cas de coups de foudre, il est montré de quelle façon des appareils de protection contre surtension (parafoudres) sont à tester. A cet effet les parafoudres sont subdivisés en deux catégories: les parafoudres de la catégorie I pour les coups rapprochés ou directs (et des coups à distance et les parafoudres de la catégorie II pour les coups distants, les surtensions de foudre induites (et les surtensions de couplage). Les parafoudres que l'on connaît aujourd'hui ainsi que leur comportement sont disentés.

Dieser Aufsatz ist eine Vorveröffentlichung des für die 17. Internationale Blitzschutzkonferenz (6.–9. September 1983) eingereichten Manuskriptes.

Adressen der Autoren

Dr.-Ing. *P. Hasse*, Dehn+Söhne, Elektrotechnische Fabrik, Hans-Dehn-Strasse 1, D-8430 Neumarkt/Opf.
Prof. Dr.-Ing. *J. Wiesinger*, Hochschule der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, D-8014 Neubiberg.

Der Aufsatz wurde durch den Lizenznehmer für die Schweiz vermittelt: Siegfried Peyer AG, 8832 Wollerau.

1. Installationskategorien

In den IEC-Publikationen 664 und 664 A [1] sowie in VDE 0109 [2] werden für Niederspannungsanlagen als Basis der Isolationskoordination vier Installationskategorien, d.h. Installationsbereiche mit jeweils definierten Pegeln für Blitzstossspannungen 1,2/50, festgelegt [3]. Ein Beispiel für eine 220-V-Gebäudeinstallation zeigt Figur 1. Die Pegel von 6 kV an der Gebäudeeinführung (Kategorie IV) bis hinunter zu 1,5 kV an den Endgeräten (Kategorie I) werden bevorzugt durch Überspannungsschutzgeräte sichergestellt, wobei entsprechend dem IEEE-Standard 587 [4] ausserhalb des Gebäudes mit Blitzstossspannungen 1,2/50 von 10 kV zu rechnen ist.

Bei den genannten IEC-, IEEE- und VDE-Publikationen werden nur weiter entfernte Blitzeinschläge in das Energieversorgungsnetz und die hieraus resultierenden, über die Starkstromleitung in das Gebäude einziehenden Blitzüberspannungen in Betracht gezogen.

In der Bundesrepublik Deutschland werden Überspannungsschutzgeräte in den Niederspannungs-Verbraucheranlagen üblicherweise im Bereich der Installationskategorie III unmittelbar nach dem Zähler eingesetzt. Die darauffolgenden niedrigeren Pegel in den Kategorien II bis I können sich allein schon durch die zunehmende Vermaschung der Starkstromleitungen und die Parallelschaltung der Verbraucher ergeben.

2. Blitzstossströme in Überspannungsschutzgeräten bei weiter entfernten Blitzeinschlägen

Nach dem Ansprechen der Überspannungsschutzgeräte müssen diese Blitzstossströme ableiten. Während in den IEC-Publikationen [1] keine Stossstromwerte benannt sind und nur allgemein auf Stossströme 8/20 zum Testen der Stromtragfähigkeit von Schutzgeräten hingewiesen wird, geht der IEEE-Standard [4] von Stossströmen 8/20 mit Amplituden von 10 kA ausserhalb der Gebäude und mit Amplituden von 3 kA innerhalb von Ge-

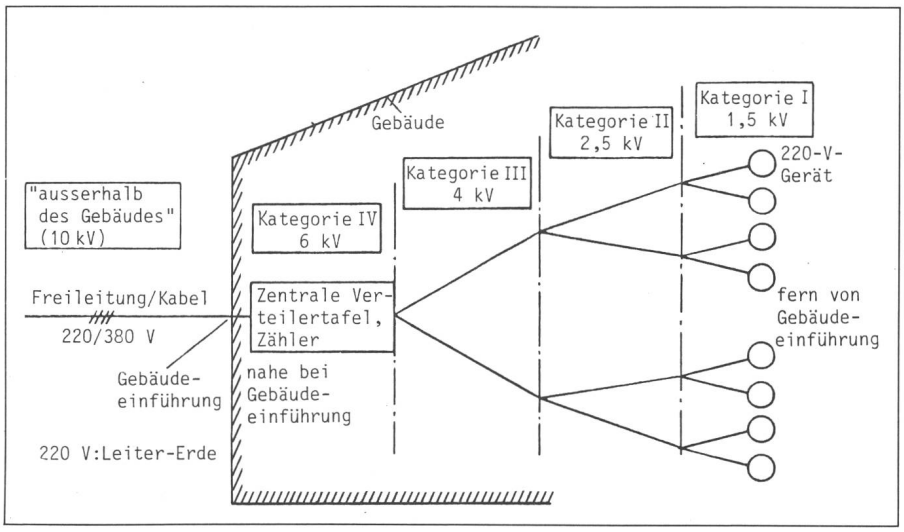

Fig. 1 Installationskategorien in einer 220-V-Anlage

bäuden nahe der Gebäudeeinführung (entsprechend Kategorie IV) aus. In VDE 0675 [5] werden für Ventilableiter Nennableitstossströme 8/20 mit Amplituden von 5 kA gefordert.

Definiert man eine fiktive Impedanz der Blitzstörquelle [6]

$$\hat{u}_{1,2/50} / \hat{i}_{8/20},$$

so ergibt sich nach der IEEE-Festlegung [4]:

- ausserhalb der Gebäude: $Z_i = 1\Omega$ entsprechend 10 kV und 10 kA,
- innerhalb der Gebäude: $Z_i = 2\Omega$ entsprechend 6 kV und 3 kA.

In [6] wird ein Hybrid-Generator vorgestellt, der eine universelle, kombinierte Blitzstossspannungs- und Stossstromprüfung erlaubt und der im Leerlauf eine Blitzstossspannung 1,2/50 sowie im Kurzschluss einen Stossstrom 8/20 mit festlegbarem Z_i erzeugt. Hierdurch ist erstmalig eine eindeutige Korrelation zwischen der 1,2/50-Spannungs- und der 8/20-Strombeanspruchung gegeben.

3. Prüfanforderungen an die Überspannungsschutzgeräte für weiter entfernte Blitzeinschläge

Da aufgrund jahrzehntelanger Felderfahrungen international Konsens besteht, dass sowohl die Blitzstossspannungen 1,2/50 als auch die Stossströme 8/20 als realistische Simulation der Blitzüberspannungen und -ströme bei weiter entfernten Blitzeinschlägen in das Energieversorgungsnetz anzusehen sind, ist bei vorgegebenen Installationskategorien für die an den Kategorieschnittstellen eingesetzten Überspannungsschutzgeräte folgende Prüfphilosophie evident:

Ein Schutzgerät am Anfang einer bestimmten Kategorie ist mit einer Blitzstossspannung 1,2/50 der jeweils höheren (davorliegenden) Kategorie zu prüfen sowie mit einem Stossstrom 8/20, der dieser Stossspannung (über einen vereinbarten Wert von Z_i) zuzuordnen ist.

Damit ergeben sich für Überspannungsschutzgeräte in einer 220/380-V-Gebäudeanlage die Prüfanforderungen von Tabelle I, wenn als ungünstigster Fall Z_i zu 1Ω angenommen wird [6].

In den IEC-Publikationen [1] entspricht der 1,2/50-Stossspannungspegel einerseits der (sicheren) Stossansprechspannung der Überspannungsschutzgeräte und gleichzeitig anderseits der (sicheren) Stosshaltespannung der zu schützenden Anlagenteile und Geräte. Wünschenswert wäre allerdings – in Analogie zur Isolationskoordination in Hochspannungsanlagen – ein Sicherheitsabstand zwischen der Stossansprechspannung der Schutzgeräte und der Stosshaltespannung der zu schützenden Geräte.

Prüfanforderungen an Überspannungsschutzgeräte in einer 220/380-V-Anlage Tabelle I

Überspannungsschutzgeräte in Installationskategorie	1,2/50-Stossspannungspegel in kV	Prüfstossspannung 1,2/50 in kV (Leerlaufspannung)	Prüfstossstrom 8/20 in kA (Kurzschlussstrom)	Bemerkungen
IV	6	10	10	10-kV- und 10-kA-Prüfwerte entsprechend [3] ausserhalb des Gebäudes und damit vor Kategorie IV
III	4	6	6	gemäss [4]: 6-kV- und 3-kA-Prüfwerte
II	2,5	4	4	
I	1,5	2,5	2,5	
auf I folgend	0,8 0,5 0,3	1,5	1,5	150 V, 100 V, 50 V: Spannung Leiter–Erde [1]

Neben der Stossspannungs- und Stossstromprüfung der Überspannungsschutzgeräte ist auch eine Prüfung der Löschfähigkeit des gegebenenfalls auftretenden Netzfolgestromes notwendig. Hierzu ist das Netz mit seiner höchstmöglichen Wechselspannung und mit seinem höchstmöglichen Wechselkurzschlussstrom nachzubilden und während der Stossspannungs-/Stossstromprüfung an den Prüfling anzulegen.

Bis heute sind nur Prüfvorschriften für Ventilableiter festgelegt [5]: Die Stossspannungsprüfung erfolgt hier getrennt von der Stossstromprüfung (5 kA Stossstrom 8/20, bei anliegender Wechselspannung 280 V_{eff}). Wünschenswert wäre aber eine Prüfmethode, bei der – entsprechend den realen Verhältnissen – alle Prüfungen simultan erfolgen könnten und die für alle Typen von Überspannungsschutzgeräten geeignet wäre. Hierzu findet sich ein Vorschlag in [6], der in Figur 2 prinzipiell dargestellt ist.

4. Blitzstossströme in Überspannungsschutzgeräten bei Einschlägen in das Gebäude

Die im Abschnitt 2 erwähnten Pegel für Blitzstossspannungen in den einzelnen Installationskategorien müssen auch bei direkten Blitzeinschlägen in die Gebäudeblitzschutzanlage (bzw. in den Dachständer oder die Freileitung in Gebäudenähe) durch Massnahmen des inneren Blitzschutzes [7] sichergestellt werden. Dazu sind folgende Massnahmen notwendig (Fig. 3):

- Einsatz von Überspannungsschutzgeräten möglichst nahe der Gebäudeeinführung (also in Installationskategorie III oder IV), die erhebliche Teilblitzströme zerstörungsfrei ableiten können.
- Einsatz von Überspannungsschutzgeräten unmittelbar an wertvollen oder betriebswichtigen Geräten (z.B. Computer, Objektüberwachungsanlage), die die sekundären Blitzüberspannungen begrenzen und die hierbei auftretenden Stossströme führen können; gegebenenfalls muss auch der Netzfolgestrom gelöscht werden können. Die sekundären Blitzüberspannungen und -ströme entstehen insbesondere durch magnetische Induktion in den Installationsschleifen [8]. Die hierfür vorgesehenen Schutzgeräte in der jeweiligen Installationskategorie sollten den in

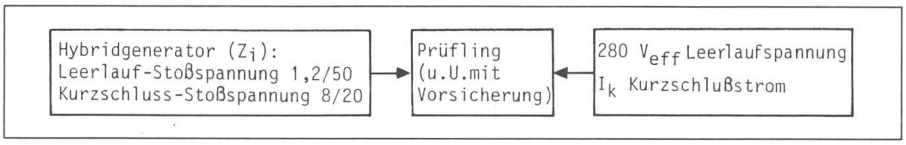

Fig. 2 Prinzip einer universellen Prüfschaltung für alle Typen von Überspannungsschutzgeräten

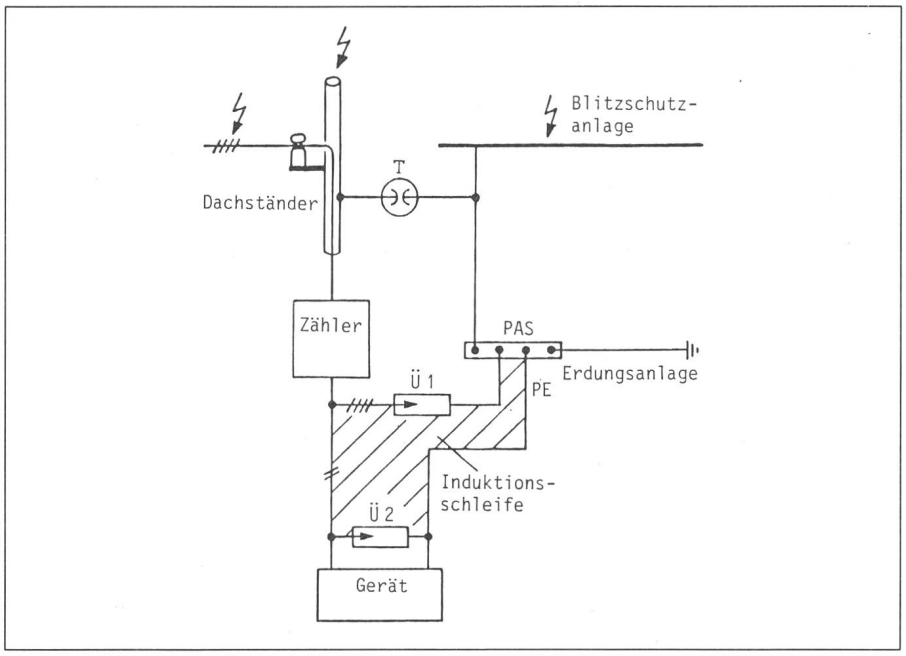

Fig. 3 Überspannungsschutz bei direkten Einschlägen
T blitzstromtragfähige Trennfunkenstrecke
$Ü_1$ blitzstromtragfähiges Überspannungsschutzgerät
$Ü_2$ Überspannungsschutzgerät für sekundäre Blitzüberspannungen

Tabelle I aufgezeigten Beanspruchungen bei ferneren Blitzeinschlägen gewachsen sein.

Für die blitzstromtragfähigen Schutzgeräte nahe der Gebäudeeinführung liegen bis heute keine Blitzstossstrom-Prüfanforderungen vor. Im TC 81 der IEC werden derzeit die für Blitzschutzmassnahmen zugrunde zu legenden Parameter des gesamten Blitzstromes und auch der Teilblitzströme erarbeitet, die über Leitungen, die in ein Gebäude eingeführt werden (also auch Starkstromleitungen), fliessen. Ohne diesen Festlegungen vorgreifen zu wollen, sollen für die derzeit bereits eingesetzten blitzstromtragfähigen Überspannungsschutzgeräte sinnvollerweise zu fordernde Blitzprüfströme abgeschätzt werden.

Aus dem Ergebnisbericht über die zehnjährigen systematischen Messungen von Blitzstromparametern in italienischen Messstationen [9] können für die Stosskomponenten der Blitzströme die Korrelationen zwischen

- den Stromscheitelwerten i_{max} und den Ladungen Q sowie
- den Stromscheitelwerten und den spezifischen Energien (Stromquadratimpulsen) W/R entnommen werden (Fig. 4). Betrachtet werden hierbei die ersten Teilblitze negativer Wolke-Erde-Blitze, die üblichen Blitzschutzanforderungen zugrunde gelegt werden können.

Aus Figur 4 ist ersichtlich, dass ein Stossstrom mit den Parametern

$i_{max} \geqq 100$ kA
$Q \geqq 10$ As
$W/R \geqq 500$ kJ/Ω

praktisch alle gemessenen natürlichen Blitzströme abdeckt. Werden diese Parameter den Blitzprüfströmen für blitzstromtragfähige Überspannungsschutzgeräte zugrunde gelegt, so sind diese sicherlich in der Lage, auch die Teilblitzströme extremer positiver Blitze abzuleiten.

Die Ladung Q ist insbesondere verantwortlich für den Energieumsatz in einer Funkenstrecke und damit für deren Elektrodenkorrosion sowie für den Energieumsatz in einem Varistor; die spezifische Energie W/R bedingt die elektrodynamischen und thermischen Beanspruchungen der Zuleitungen, Klemmen und Kontaktierungen [8].

Anmerkung: Zum Vergleich mit dem oben spezifizierten Strom hat ein Stossstrom 8/20 mit einem Scheitelwert von 10 kA nach [4] lediglich eine Ladung um 0,2 As und eine spezifische Energie um 2 kJ/Ω aufzuweisen.

Negative Blitze weisen häufig Langzeitströme i_g von einigen 100 A für einige 100 ms auf. Die bei diesen Strömen auftretende Spannung u_E eines getroffenen Gebäudes mit dem Erdungswiderstand R_E gegenüber der fernen Umgebung ergibt sich zu

$$u_E = R_E \cdot i_g.$$

Der Wert von R_E liegt bei Gebäuden mit Fundament- oder Ringerdern in aller Regel unter 10 Ω. Damit ergeben sich für u_E Werte von höchstens einigen kV.

Würde als blitzstromtragfähiges Überspannungsschutzgerät ein ausreichend dimensionierter Varistor eingesetzt, der die Blitzüberspannung in den Installationskategorien III oder IV infolge der Varistorspannung U_V auf 4 bzw. 6 kV begrenzt, so könnten die Langzeitströme infolge von $U_V \geqq u_E$ nicht über den Varistor fliessen und ihn beanspruchen; sie würden ausschliesslich über die Erdungsanlage (R_E) abfliessen. Für die Prüfungen von Varistoren ist somit nur die Stossstromkomponente der Blitze relevant!

Besteht das blitzstromtragfähige Überspannungsschutzgerät jedoch aus einer Funkenstrecke, so fällt an dieser während der Spannungsbegrenzung eine Brennspannung von nur einigen 10 V ab. Deshalb sind für die Prüfungen der Funkenstrecken die Stossstrom- und die Langzeitstromkomponente der Blitze bedeutsam.

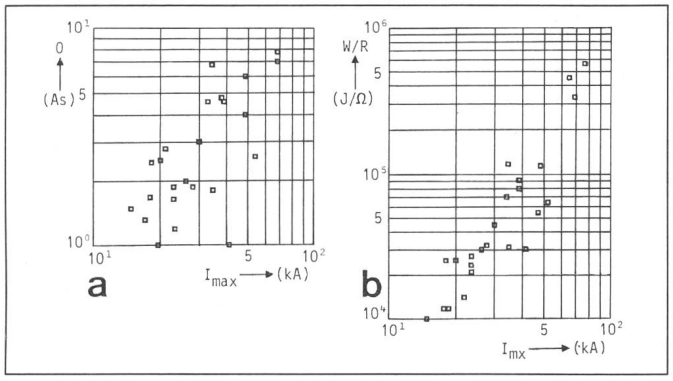

Fig. 4
Korrelation von Blitzstossstromparametern
a $Q = f(I_{max})$
b $W/R = f(I_{max})$

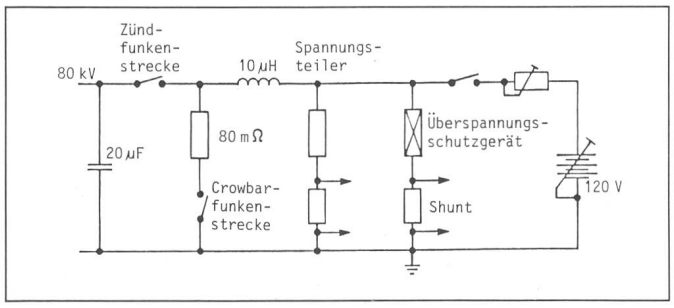

Fig. 5 Blitzstrom-Prüfschaltung für blitzstromtragfähige Überspannungsschutzgeräte

5. Prüfanforderungen an die Überspannungsschutzgeräte bei direkten Blitzeinschlägen

Einen Stossstromgenerator, der unipolare Stossströme mit den in Abschnitt 4 angegebenen korrelierten Stossstromparametern einschliesslich eines Langzeitstromes erzeugen kann, zeigt Figur 5. Die spezielle Technologie des Stossstromgenerators mit einer Crowbarfunkenstrecke wird in [10] behandelt.

Der auch in DIN 48 810 [11] für die Prüfung von Trennfunkenstrecken spezifizierte Prüfstrom hat folgende Daten:

- Stossstrom (mit angenähert exponentiellem Abfall mit einer Rückenzeitkonstanten um 100 µs):

  i_{max} = 100 kA + 10%
  Q = 10 As + 20%
  W/R = 500 kJ/Ω + 30%
- Langzeitstrom (mit angenähert konstantem Strom; Ladungstransfer Q_1, Zeitdauer T_1):

  Q_1 = 50 As + 40%
  T_1 = 200 ms + 20%.

Einen entsprechenden Stossstromgenerator zeigt Figur 6, den Prüfstrom Figur 7.

Da bei diesen Stossströmen in jedem Fall die Sicherungen an der Gebäudeeinführung («Panzersicherungen») auslösen und das Netz ablösen (vgl. Abschnitt 8), wird bei dieser Simulation eines direkten Gebäudeeinschlages eine Netznachbildung in der Regel entbehrlich sein. Anders würden die Verhältnisse bei Überspannungsschutzgeräten liegen, die ausserhalb des Gebäudes im Netz (z.B. am Abspannmast) eingesetzt werden.

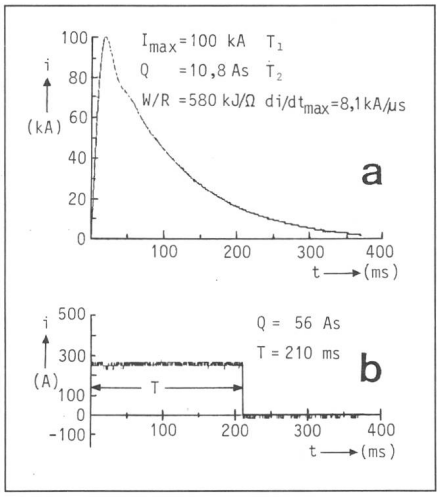

Fig. 7 Mit dem Generator von Figur 6 erzeugter Prüfstrom

a Prüfstossstrom 100 kA, 10 As, 500 kJ/Ω gemäss DIN 48810 Anhang (Entwurf)
b Prüflangstrom 50 As, 200 ms gemäss DIN 48810 Anhang (Entwurf)

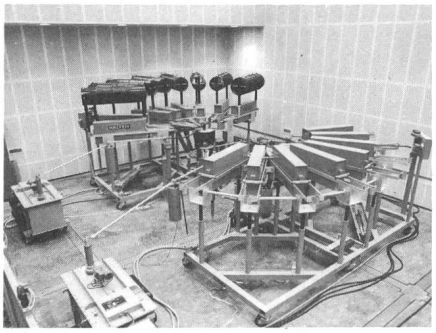

Fig. 6 Stossstromanlage am Institut für Elektrische Energieversorgung der Hochschule der Bundeswehr München

6. Klassierung von Überspannungsschutzgeräten

Aufgrund der vorangegangenen Ausführungen wird vorgeschlagen, die Überspannungsschutzgeräte in Niederspannungsanlagen in zwei Klassen einzuteilen [12]:

Klasse I: Schutzgeräte für direkte und fernere Blitzeinschläge. Sie wären den in den Abschnitten 3 und 5 (Figuren 2 und 5) niedergelegten Prüfverfahren zu unterwerfen.

Klasse II: Schutzgeräte für fernere Blitzeinschläge und für sekundäre Überspannungen und -ströme bei direkten Blitzeinschlägen (Überspannungsschutzgeräte, die denjenigen der Klasse I nachgeschaltet sind, insbesondere zur Begrenzung induzierter Spannungen unmittelbar an Geräten). Sie wären nach dem im Abschnitt 3 (Fig. 2) aufgezeigten Verfahren zu prüfen.

7. Typisierung von Überspannungsschutzgeräten

Grundsätzlich kommen nach dem heutigen Stand der Technik als Elemente zur Blitzüberspannungsbegrenzung in Frage [12, 13]:

- Varistoren (Siliziumkarbid- und Zinkoxidvaristoren)
- Funkenstrecken (Luftfunkenstrekken, Gleitentladungsableiter, Gasentladungsableiter).

Auch Kombinationen beider Elemente sind möglich.

Die heute realisierten Schutzgeräte-Typen zeigt Figur 8.

7.1 Typ 1

Dieser Typ ist der heute verbreitet eingesetzte Ventilableiter, der aus der Reihenschaltung einer Homogenfeld-Luftfunkenstrecke (oder eines Gasentladungsableiters) und eines Siliziumkarbidvaristors (oder eines Zinkoxidvaristors) besteht.

Für diese Ableiter ist in VDE 0675 [5] das Prüfverfahren festgelegt. Das Stossansprechverhalten der Funkenstrecke wird mit der Stossspannung 1,2/50 getestet, und das Stossstromtragvermögen wird mit dem Stossstrom 8/20 zusammen mit dem Löschvermögen des Netzfolgestromes in einer getrennten Prüfung nachgewiesen.

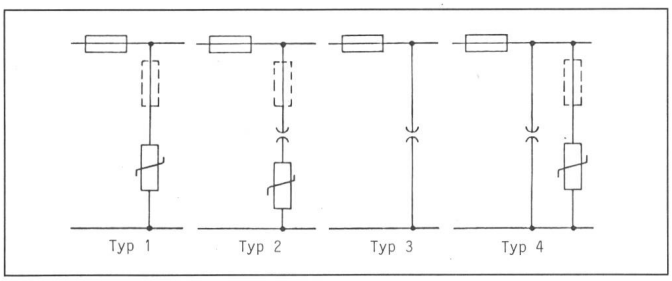

Fig. 8 Überspannungsschutzgeräte aus Funkenstrecken und Varistoren

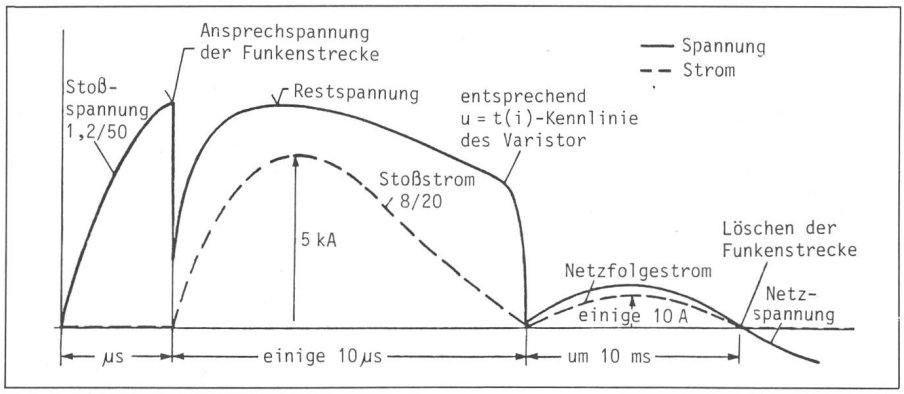

Fig. 9 Spannung und Strom während einer Überspannungsbegrenzung durch einen Ventilableiter mit Siliziumkarbidvaristor
(nicht massstäblich)

Das grundsätzliche Verhalten beim Begrenzen einer Blitzüberspannung zeigt Figur 9. Beim Einsatz von Zinkoxidvaristoren bildet sich kein Folgestrom aus, die Funkenstrecke verlöscht unmittelbar nach der Stossstromableitung.

Als Beispiel für das Stossansprechverhalten ist in Figur 10 die Keilstossspannungs-Kennlinie eines Ventilableiters für 280 V_{eff}, die das Stossansprechverhalten der Funkenstrecke beschreibt, aufgezeigt.

Üblicherweise werden Ventilableiter mit einer reihengeschalteten Abtrennvorrichtung versehen, die mit der vorgeschalteten Leitungssicherung koordiniert ist. Hierdurch trennt sich der Ventilableiter vom Netz, wenn die Funkenstrecke (z.B. infolge eines defekten Varistors) verschweisst.

Ventilableiter genügen nur den Anforderungen, die an die Schutzgeräte der Klasse II gestellt werden!

7.2 Typ 2

Schutzgeräte dieses Typs sind Zinkoxidvaristoren. Infolge ihrer wesentlichen nichtlineareren $u = f(i)$-Kennlinie gegenüber Siliziumkarbidvaristoren können sie ohne Reihenfunkenstrecken ans Netz gelegt werden; der hierbei über sie fliessende Wechselstrom beträgt nur einige 10 µA.

Bei Scheibendurchmessern von 30 bis 40 mm entspricht ihre Stossstromtragfähigkeit derjenigen der Ventilableiter des Typs 1, d.h., sie genügen den Ansprüchen, die an Schutzgeräte der Klasse II gestellt werden.

Das grundsätzliche Verhalten bei einer Blitzüberspannungsbegrenzung zeigt Figur 11. Eine Prüfung mit Stossspannungen 1,2/50 etwa gemäss VDE 0675 oder die Aufnahme einer Keilstossspannungs-Kennlinie wäre bei diesem nichtlinearen Widerstandselement mit einer kontinuierlichen $u = f(i)$-Kennlinie sinnlos. Die Begrenzungsspannung wird allein durch die Restspannung bei einer Stossstrombeanspruchung festgelegt.

Bei diesem Schutzgerätetyp sollte auf jeden Fall eine mit der Leitungssicherung koordinierte Abtrennvorrichtung in Reihe mit dem Varistor vorgesehen werden, da sich die $u = f(i)$-Kennlinie eines überlasteten oder zu häufig beanspruchten Varistors derart verändern kann, dass bereits bei der anliegenden Netzspannung unzulässig hohe Ströme mit der Folge einer unzulässigen Erwärmung (und schliesslich einer thermischen Zerstörung) des Varistors auftreten.

7.3 Typ 3

Würden die Luftfunkenstrecken aus den Ventilableitern oder Gasentladungsableiter zusammen mit entsprechenden Vorsicherungen als Schutzgeräte dieses Typs eingesetzt, könnten sie den Anforderungen genügen, die an Schutzgeräte der Klasse II gestellt werden. Allerdings sind diese Funkenstrecken nicht in der Lage, den Netzfolgestrom zu löschen, so dass bei jedem Ansprechen infolge einer Überspannung die (ausreichend schwach zu dimensionierende) Sicherung (in Reihe zur Funkenstrecke oder in der Netzleitung vor der Funkenstrecke) das Abschalten des Netzkurzschlussstromes übernehmen muss. Damit wäre nach jeder Überspannungsbegrenzung entweder das Schutzgerät abgetrennt oder das zu schützende Gerät stromlos!

Die Keilstossspannungs-Kennlinie eines Gasentladungsableiters für 800 V Ansprechgleichspannung zeigt Figur 12.

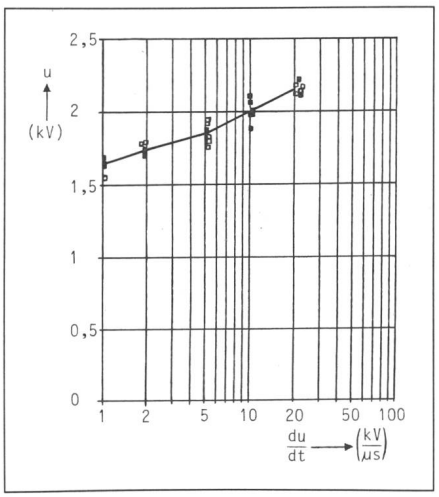

Fig. 10 Keilstossspannungs-Kennlinie eines Ventilableiters

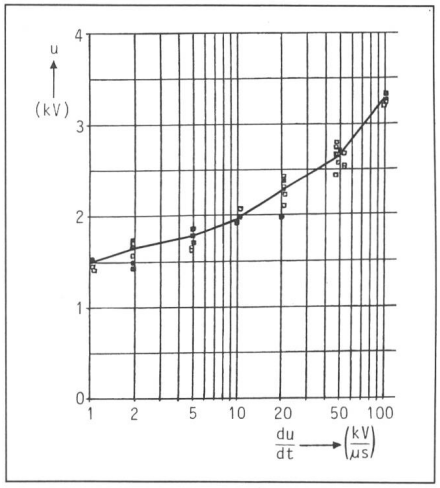

Fig. 12 Keilstossspannungs-Kennlinie eines Gasentladungsableiters (Gleichansprechspannung 800 V)

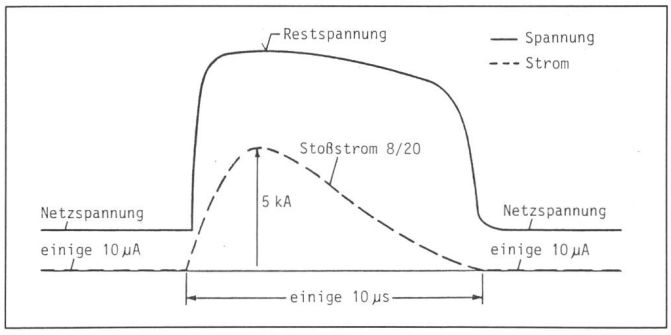

Fig. 11 Spannung und Strom während einer Überspannungsbegrenzung durch einen Zinkoxidvaristor
(nicht massstäblich)

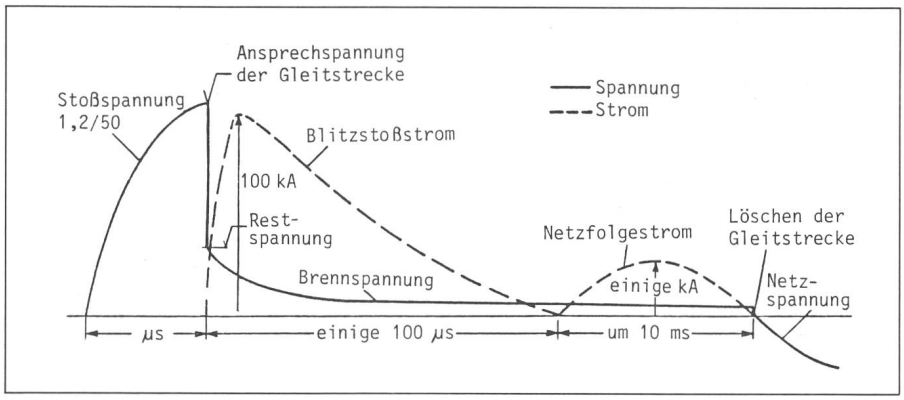

Fig. 13 Spannung und Strom während einer Überspannungsbegrenzung durch einen Gleitentladungsableiter
(nicht massstäblich)

Gleitentladungsableiter mit Hartgasisolierung dagegen können den Netzfolgestrom auch ohne Vorsicherung löschen. Ihr grundsätzliches Verhalten bei der Begrenzung einer Blitzüberspannung zeigt Figur 13. Die Brennspannung dieser Ableiter beträgt um 80 V gegenüber etwa 30...40 V bei Luftfunkenstrecken und Gasentladungsableitern; damit wird der Netzkurzschlussstrom etwas reduziert.

Gleitentladungsableiter lassen sich so dimensionieren, dass sie den Anforderungen entsprechen können, die an Schutzgeräte der Klasse I gestellt werden. In [14, 15] werden Gleitentladungsableiter («Löschfunkenstrekken») als Schutzgeräte der Klasse I vorgestellt und ihre Anwendung detailliert beschrieben.

Ergänzend ist die Keilstossspannungs-Kennlinie eines Gleitentladungsableiters für die Installationskategorie III in Figur 14 aufgezeichnet. Auffallend sind die geringe Streuung der Messwerte und der flache Verlauf der Kennlinie. Der Gleitentladungsableiter löscht den Netzfolgestrom innerhalb der ersten Halbperiode.

Bei der Dimensionierung der vor dem Ableiter liegenden Leitungssicherung ist daher darauf zu achten, dass sie nach Möglichkeit nicht bereits durch *eine* Halbwelle des Netzkurzschlussstromes ausgelöst wird: So wird ihr Auslösen infolge des Netzkurzschlussstromes auch bei dem Ansprechen des Gleitentladungsableiters infolge einer energieschwachen Blitzüberspannung vermieden.

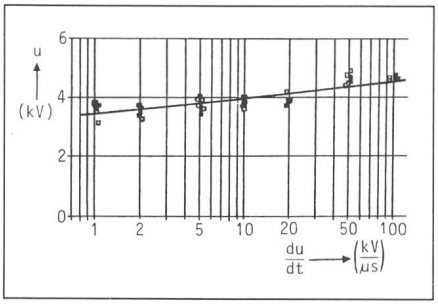

Fig. 14 Keilstossspannungs-Kennlinie eines Gleitentladungsableiters

Gleitentladungsableiter, die den Anforderungen für Schutzgeräte der Klasse I genügen, dürfen keine eigene Abtrennvorrichtung in Reihe erhalten, da sie sonst z.B. bereits durch den Blitzstrom des ersten Teilblitzes innerhalb eines multiplen Blitzes vom Netz getrennt werden könnten und damit die weiteren Folgeblitzströme ungehindert in die Anlage eindringen würden.

7.4 Typ 4

Bei diesem erst in jüngster Zeit entwickelten Typ, der in [3] detailliert beschrieben ist, werden die Vorteile der Schutzgerätetypen 2 und 3 vereinigt.

Der sinnvollerweise mit einer Abtrennvorrichtung versehene Zinkoxidvaristor übernimmt die Überspannungsbegrenzung bei den relativ häufig zu erwartenden Beanspruchungen, die den Schutzgeräten der Klasse II zuzuordnen sind. In diesen Fällen fliesst kein zusätzlicher Netzfolgestrom. Bei einem direkten Blitzeinschlag in das Gebäude mit einem relativ hohen Stromscheitelwert kann am Varistor eine so hohe Spannung entstehen, dass die parallelgeschaltete, mit ihrer Ansprechspannung auf die Varistorkennlinie abgestimmte Gleitentladungsstrecke anspricht, den Blitzstrom dann übernimmt und somit den Varistor entlastet.

Diese folgestromlöschfähigen Gleitentladungsableiter entsprechen den Anforderungen, die an Schutzgeräte der Klasse I gestellt werden. Auch für den Fall, dass der z.B. infolge zu häufiger Beanspruchungen defekt gewordene Varistor durch seine Abschaltvorrichtung vom Netz getrennt wird, stellt die parallelgeschaltete Gleitentladungsstrecke den Schutz weiterhin sicher.

8. Leitungssicherungen vor den Überspannungsschutzgeräten

Für die Auslösung von Schmelzsicherungen ist auch bei sehr kurzzeitigen Blitzstossströmen die spezifische Energie W/R entscheidend.

Ein Stossstrom 8/20 mit einem Scheitelwert von 10 kA hat einen W/R-Wert von etwa 2 kJ/Ω. Da eine 35-A-Sicherung erst bei W/R-Werten von über 5 kJ/Ω und eine 50-A-Sicherung bei Werten von über 10 kJ/Ω ausgelöst wird, bleiben bei Blitzstrombeanspruchungen, wie sie den Schutzgeräten der Klasse II zugrunde gelegt werden, die Sicherungen in der Regel intakt (wenn sie nicht durch den Netzfolgestrom bei Schutzgeräten des Types 3 ausgelöst werden).

Bei direkten Blitzeinschlägen und den hieraus resultierenden Beanspruchungen, die den Schutzgeräten der Klasse I zugeordnet werden, wird die vorgeschaltete Sicherung in der Regel auch mechanisch zerstört. Der Sicherungskörper einschliesslich seiner Fassung wird zersprengt

- bei 35-A-Sicherungen bei W/R-Werten über etwa 30 kJ/Ω,
- bei 50-A-Sicherungen bei W/R-Werten über etwa 100 kJ/Ω.

9. Schlussbemerkung

Zurzeit werden in nationalen und internationalen Gremien die Erfordernisse der Isolationskoordination in Niederspannungsanlagen erörtert und in diesem Zusammenhang die Anforderungen an Überspannungsschutzgeräte in einzelnen Installationskategorien bei ferneren und auch direkten Blitzeinschlägen diskutiert mit dem Ziel, Regelwerke zu erstellen. Ziel dieser Abhandlung ist eine übergeordnete, grundsätzliche Betrachtung der heutigen Philosophien und Technologien des Überspannungsschutzes in Niederspannungsanlagen.

Literatur

[1] Coordination de l'isolement dans les systèmes (réseaux) à basse tension y compris les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite des matériels. Publication de la CEI 664, 1980 et premier complément 664 A, 1981.

[2] Isolationskoordination in Niederspannungsanlagen einschliesslich der Luft- und Kriechstrecken für Betriebsmittel. VDE-Entwurf 0109/...

[3] *P. Hasse* und *J. Wiesinger:* Überspannungsschutz bei direkten und fernen Blitzschlägen. ETZ 104(1983)1, S. 26...30.

[4] IEEE guide for surge voltages in low-voltage at power circuits. IEEE Standard No. 587, 1980.

[5] Richtlinien für Überspannungsschutzgeräte. Ventilableiter für Wechselspannungsnetze. VDE 0675 Teil 1/5.72.

[6] *J. Wiesinger:* Hybrid-Generator zur Erzeugung von Blitzstossspannungen 1,2/50 im Leerlauf und Stossströmen 8/20 im Kurzschluss. Referat Nr. 5.3 der 17. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Den Haag, 1983.

[7] Blitzschutzanlage. Teil 1: Allgemeines für das Errichten. DIN 57185 Teil 1/VDE 0185 Teil 1/11.82. Errichten besonderer Anlagen DIN 57185 Teil 2/VDE 0185 Teil 2/11.82.

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

[9] *E. Garbagnati* und *G. B. Lo Piparo:* Parameter von Blitzströmen. ETZ 103(1982)2, S. 61...65.

[10] *W. Zischank:* Eine Crowbar-Funkenstrecke in einem kapazitiven Stossstromgenerator zur Simulation direkter Blitzströme. Referat Nr. 5.2 der 17. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Den Haag, 1983.

[11] Blitzschutzanlage. Verbindungsbauteile und Trennfunkenstrecken. Anforderungen, Prüfungen. DIN-Entwurf 48810.

[12] *P. Hasse:* Schutz von Niederspannungsanlagen und Regelstromkreise vor Überspannungen. Bull. SEV/VSE 73(1983)9, S. 409...416.

[13] *P. Hasse:* Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen und Regelstromkreisen. Bull. SEV/VSE 73(1982)15, S. 771...780.

[14] *F. Leiber* und *J. Wiesinger:* Netzseitiger Überspannungsschutz für Betriebskabinen von Fernseh-Füllsendern für ferne und direkte Blitzeinschläge. Referat Nr. 3.4 der 17. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Den Haag, 1983.

[15] *W. Feldhütter, P. Hasse* und *E. Pivit:* Überspannungsschutz des Netzeinganges eines Fernseh-Füllsenders auch bei direkten Blitzeinschlägen. Referat Nr. 3.2 der 17. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Den Haag, 1983.