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: 19

Artikel: Überspannungsableiter unter NEMP-Bedingungen

Autor: Bosshard, W. / Keller, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904872

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: 14.08.2025

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

Überspannungsableiter unter NEMP-Bedingungen

W. Bosshard und P. Keller

Der elektromagnetische Impuls einer Kernwaffenexplosion ist eine in letzter Zeit immer häufiger diskutierte Bedrohung für elektrische und elektronische Geräte und Anlagen. Im folgenden werden dieses Phänomen und dessen Auswirkungen kurz erläutert. Anschliessend werden Resultate von Prüfungen an gasgefüllten Ableitern unter NEMP-Bedingungen gezeigt und Hinweise auf den richtigen Einsatz dieser Elemente gegeben.

L'impulsion électromagnétique résultant de l'explosion d'une bombe atomique est un risque pour les appareils et installations électriques ou électroniques, dont il est souvent question depuis quelque temps. Ce phénomène et ses répercussions sont brièvement expliqués, puis on indique des résultats d'essais à des limiteurs de tension à gaz dans les conditions d'une IEMN, ainsi que leur montage correct.

1. Entstehung und Auswirkungen des NEMP

Unter einem NEMP (*N*uclear *E*lectro*m*agnetic *P*ulse) versteht man den bei einer Nuklearexplosion auftretenden elektromagnetischen Impuls [1]. Die bei einer Explosion freiwerdende sog. prompte Gammastrahlung enthält etwa 1% der Gesamtenergie. Die Gammaquanten (Photonen) treffen mit Lichtgeschwindigkeit auf Luftmoleküle auf und schlagen aus ihnen Elektronen heraus (Comptoneffekt). Diese werden in radialer Richtung beschleunigt und dadurch von den nunmehr ionisierten Luftmolekülen getrennt. So entsteht innerhalb weniger Nanosekunden ein starkes elektromagnetisches Feld. Durch den zeitlich rasch ändernden Ladungstransport wird ein kurzer elektromagnetischer Impuls abgestrahlt (Fig. 1).

Im Falle einer Hochexplosion (exoatmosphärische Explosion) deckt der NEMP die ganze vom Explosionsort aus sichtbare Erdoberfläche ab. Am Rand dieser Kreisfläche beträgt die Feldstärke noch etwa 50% des Maximalwertes. Die Grösse der Fläche wird also lediglich durch die Höhe des Explosionsortes bestimmt. Innerhalb weniger Nanosekunden werden auf der Erde elektrische Feldstärken von einigen 10 kV/m erreicht. Die Impulsdauer beträgt einige 100 ns.

Das elektromagnetische Feld induziert in jedem elektrischen Leiter Spannungen, die im wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig sind: einerseits von der Anstiegszeit, der Impulsdauer und vom Scheitelwert des elektromagnetischen Feldes, anderseits von der Länge und den elektrischen Verlusten der beeinflussten Leiter, bzw. von der Eingangsfläche einer Anlage.

Geräte älterer Technologie, wie z. B. Röhrengeräte, elektromechanische Telefonzentralen oder Relaissteuerungen sind um Grössenordnungen unempfindlicher als Geräte der modernen Halbleitertechnologie. Gefährdet sind deshalb insbesondere elektronische Anlagen der Datentechnik, Steuerung und Automatisierung. Es muss aber auch damit gerechnet werden, dass durch einen NEMP Teile des Starkstrom- und des Fernmeldenetzes, Rundfunksender und ähnliche Anlagen ausfallen oder zerstört werden.

2. Schutzmassnahmen

Gegen die Einwirkungen elektromagnetischer Felder können Abschirmungen vorgesehen werden, wie geschlossene Metallgehäuse (Faraday-

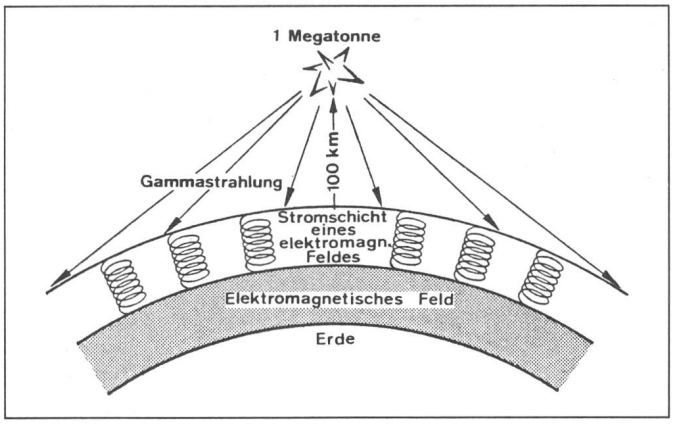

Fig. 1
Entstehung des NEMP

Adressen der Autoren
Walter Bosshard, Verkaufsleiter Bereich EMC, Meteolabor AG, 8620 Wetzikon.
Paul Keller, Ingenieur Prüfwesen, Cerberus AG, 8708 Männedorf.

käfig) und abgeschirmte Leitungen. Anlagen können auch als ganzes in einem Faradaykäfig untergebracht werden. Auch Eisenbetonbauten haben eine gewisse Schutzwirkung. Die erzielte Dämpfung hängt weitgehend von der Art der Eisenkonstruktion (Maschenweite der verschweissten Knotenpunkte) ab.

Oft kann durch optimale Anordnung ohnehin vorhandener Konstruktionselemente bereits ein genügender Schutzgrad erreicht werden. Dabei ist zu beachten, dass sich Schutzmassnahmen immer einfacher und kostengünstiger realisieren lassen, wenn bereits bei der Entwicklung eines Gerätes an diese Beeinflussungsart gedacht wurde.

Eine weitere Gefährdung durch den NEMP stellen die in Leitungen induzierten Überspannungen dar. Geräteeingänge und -ausgänge müssen mit entsprechenden Ableitelementen geschützt werden.

Für NEMP-Schutz kommen grundsätzlich nur Ableitelemente in Frage, die auf Grund ihrer kleinen Abmessungen eine sehr geringe Eigeninduktivität aufweisen. Der Übergang vom sperrenden zum leitenden Zustand muss sich im Nanosekundenbereich abspielen. Das Ableitvermögen wird durch die ebenfalls vorhandene Blitzgefahr und nicht durch den NEMP bestimmt. Zudem müssen diese Elemente so beschaffen sein, dass sie den Normalbetrieb nicht stören. Als Grobschutz bieten sich gasgefüllte Ableiter an, da ihr Ableitvermögen mit 20 kA (Stossform 8/20) für die meisten Fälle ausreicht. Varistoren und Schutzdioden (spezielle Zenerdioden) werden vor allem in Verbindung mit einem entsprechenden Grobschutz verwendet.

3. Gasgefüllte Überspannungsableiter

Metall-Keramikableiter sind ideale NEMP-Schutzelemente. Die verbreitete Meinung vom «langsamen» Gasableiter wurde bereits vor einigen Jahren widerlegt. Neueste Messungen mit einer Bandbreite von 400 MHz zeigen, dass die bekannte Ansprechcharakteristik (Fig. 2) nach grösseren Anstiegssteilheiten du/dt extrapoliert werden kann.

In einer speziellen Messanordnung wurden kürzlich Ableiter unter extremsten Bedingungen getestet. Mit einem koaxialen Stossgenerator [2] nach Figur 3 wurden Spannungsanstiege bis 4 kV/ns erreicht. Solche Spannungsanstiege werden in Wirklichkeit höchstens in koaxialen Antennenzuleitungen annähernd erreicht. Bei allen andern Zuleitungen liegen die Anstiegszeiten auf Grund von Fehlanpassungen und Verlusten um Zehnerpotenzen tiefer.

Figur 4 zeigt einen typischen Spannungsverlauf an einem Überspannungsableiter. Die Anstiegszeit und der Spannungszusammenbruch liegen bei 1 ns. Während der Zündung nimmt der Strom mit 100 kA/µs zu. Dadurch entsteht nach dem Zusammenbruch der Spannung nochmals ein kleiner induktiver «Overshoot». In den für Telefonleitungen bisher üblichen Ableiterhaltern wird dieser Overshoot auf Grund der grösseren Induktivität im Ableitkreis natürlich grösser.

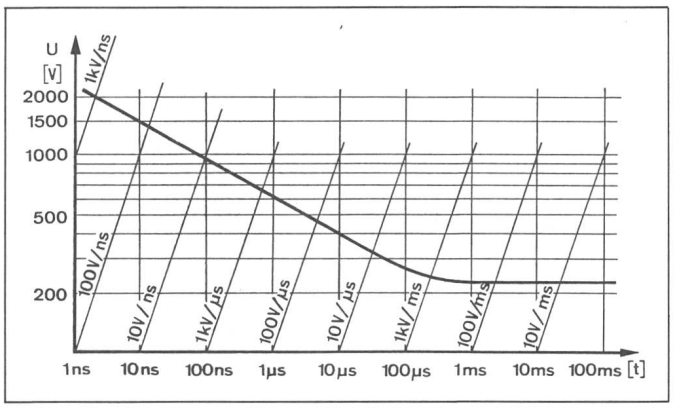

Fig. 2 Typische Ansprechcharakteristik eines Metall-Keramik-Ableiters (Cerberus Typ UC 230)

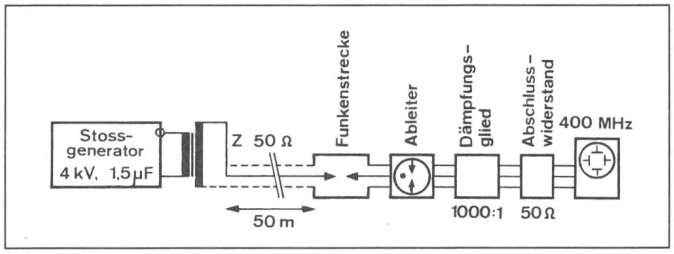

Fig. 3 Koaxialer Stossspannungsgenerator für ein du/dt von 4 kV/ns
(Bild: Meteolabor)

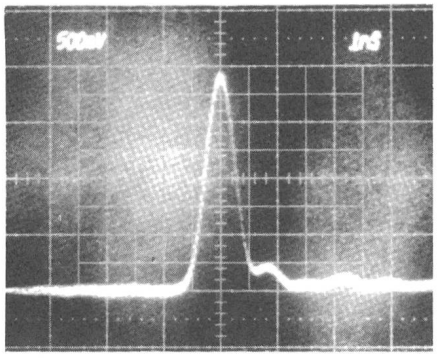

Fig. 4 Spannungsverlauf an einem gasgefüllten Ableiter
U 500 V pro kleine Div.
t 1 ns pro kleine Div.
(Bild: Meteolabor)

4. Messresultate

Getestet wurden die Ableiter UC 90, UC 230 und UC 900 (Tab. I, Fig. 5).

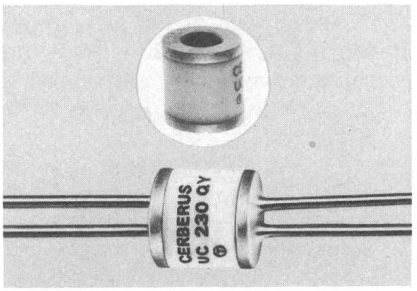

Fig. 5 Ableiter Typ UC 230 (oben) und UC 230 QY (Cerberus)

Datenblattauszug der geprüften Ableiter Tabelle I

Typ		UC 90	UC 230	UC 900
Zündspannung statisch bei 100 V/s (± 15%)	(V)	90	230	900
Zündspannung dynamisch bei 2 kV/µs max.	(V)	800	800	2000
Glimmbrennspannung typisch bei 10 mA	(V)	75	72	80
Ableitstossstrom (Form 8/20)	(kA)	20	20	20
Grenzableitstossstrom (Form 8/20)	(kA)	40	40	20

Zusammenfassung der Messresultate Tabelle II

	UC 90		UC 230		UC 900	
	Null-messung	nach Belastung	Null-messung	nach Belastung	Null-messung	nach Belastung
Zündspannung 100 V/s						
- $\bar{x}$ (V)	94,2	91,7	229	243	890	907
- s (V)	1,1	3,6	7,4	23,4	12,8	77,4
Zündspannung 4 kV/ns						
- $\bar{x}$ (kV)	2,7	2,8	2,6	2,0	nicht gemessen	4,9
- s (kV)	0,20	0,24	0,33	0,26		0,22
- tiefster Wert (kV)	1,2	1,2	1,3	1,3	3,8	3,8
- höchster Wert (kV)	3,3	3,3	3,6	3,6	5,6	5,6

$\bar{x}$ = Mittelwert; s = Standardabweichung

Die «statische» Zündspannung wurde pro Ableiter je fünfmal in jeder Polarität gemessen (Tab. II). Anschliessend folgte die Prüfung der Ableiter bei einem du/dt von 4 kV/ns, je fünf Messungen in jeder Polarität. Danach wurden die Ableiter einem Stossstromprogramm unterworfen und mit je fünf Stossströmen der Form 8/20 in jeder Polarität (nach CCITT Com. V, K.12) mit 5 kA, 10 kA bzw. 20 kA beaufschlagt. Anschliessend wurden wieder die statischen Zündspannungen sowie die Zündspannungen mit einem du/dt von 4 kV/ns auf gleiche Art wie zu Beginn der Messung ermittelt.

Bei der Auswertung wurde zuerst der Mittelwert $\bar{x}$ aus den jeweils zehn gleichartigen Messungen am gleichen Prüfling gebildet. Anschliessend wurden der Mittelwert $\bar{x}$ und die Standardabweichung s über die jeweilige Charge gleicher Prüflinge berechnet. Die Tabelle II gibt eine Übersicht über die erhaltenen Resultate.

Überspannungsableiter sind grundsätzlich bipolare Elemente. Die Messungen ergaben denn auch keine Unterschiede aufgrund der jeweiligen Polarität der Ableiter. Die Ansprechwerte der Ableiter veränderten sich vor und nach den Stossstrom-Belastungsprogrammen nur wenig, wobei sich der jeweilige Scheitelwert des Stromes nicht nennenswert auswirkte. Die Höchstwerte liegen nahe bei den jeweiligen Mittelwerten. Einzelne Abweichungen ergaben sich auf Grund des momentanen Ionisierungsgrades der Ableiter nur nach tieferen Werten.

Fabrikneue, d.h. nicht vorbelastete Ableiter haben bei den meisten Herstellern gute Ansprechwerte unter NEMP-Bedingungen. Die Qualitätsunterschiede zeigen sich oft erst nach Mehrfachbelastungen mit dem spezifizierten Ableitstossstrom. Ableiter mit besonders tiefer Ansprechspannung unter NEMP-Bedingungen verlieren diese Eigenschaft oft schon nach schwachen Vorbelastungen. Die getesteten Ableiter weisen auch nach mehrfachen, hohen Belastungen eine gute Datenkonstanz auf.

Eine Spannungsspitze von 3,6 kV mit einer Halbwertbreite von 1 ns hat eine kleine Spannungs-Zeit-Fläche. Sie kann durch ein geeignetes Tiefpassfilter mit relativ hoher Grenzfrequenz eliminiert werden. Für das zu schützende Gerät oder den nachfolgenden Feinschutz stellen die langsameren Spannungsanstiege mit ihren grösseren Spannungs-Zeit-Integralen meistens die kritischere Bedrohung dar. Ableiter für NEMP-Schutz müssen deshalb über ihre ganze Lebensdauer eine hohe Datenkonstanz bei hohem Ableitvermögen aufweisen. Die getesteten Überspannungsableiter erfüllen diese Forderung.

5. Einbau der Ableiter

Die ausgezeichneten Eigenschaften von Ableitern können aber nur bei optimalem Einbau zur Geltung kommen. Figur 6 veranschaulicht die dabei zu berücksichtigenden Gesichtspunkte. Die Querinduktivität L_1 soll so klein wie möglich gehalten werden. Diesbezüglich sind die Ableiter mit vier Anschlussdrähten, UC 230 QY, besonders geeignet. Eine Elektrode des Ableiters sollte direkt oder nur über wenige Millimeter Draht mit dem Gehäuse des Gerätes in Verbindung stehen. Bei der Verwendung von Ableiterhaltern wird die Länge des Ableitpfades und damit die wirksame Querinduktivität L_1 meistens um Faktoren vergrössert.

Die Spannung U_E entspricht vor dem Zünden des Ableiters ungefähr seiner dynamischen Zündspannung. Nach der Zündung ist es vor allem der durch das di/dt an der Induktivität L_2 erzeugte induktive Spannungsabfall, der die Spannungsfestigkeit des Eingangssteckers beansprucht. Der Ableiter sollte deshalb möglichst nahe bei der Drahteinführung (Stecker), auf keinen Fall aber weiter als 10 bis 15 cm davon entfernt montiert werden. Bei 15 cm kann der induktive Spannungsabfall an L_2 (U_E) im ungünstigsten Fall etwa den Wert der dynamischen Zündspannung erreichen. Die vom Ableitstrom im Gehäuseinnern gebildete Schleife wirkt als magnetische Antenne. Sie muss möglichst klein gehalten werden.

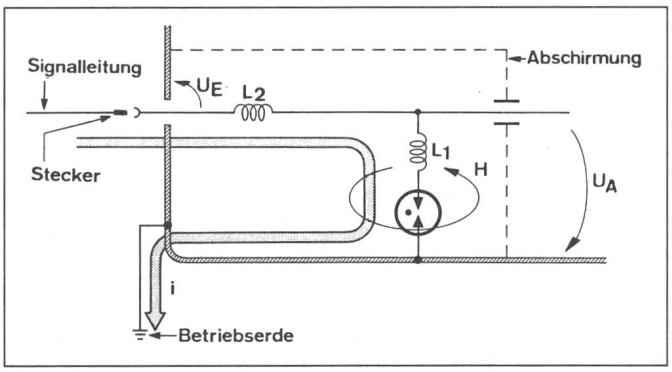

Fig. 6
Vereinfachtes elektrisches Schema eines in ein Gehäuse eingebauten gasgefüllten Ableiters

6. Zusammenfassung

Gasgefüllte Überspannungsableiter sind ideale Schutzelemente, um NEMP-bedingte Überspannungen auf Leitungen zu eliminieren. Durch Nachschalten eines Feinschutzes kann die Restspannung im Überspannungsfall auf beliebig kleine Werte reduziert werden. Sämtliche Geräteanschlüsse wie Netz-, Antennen-, Signalleitungen usw. sind mit gleichwertigen Ableitern oder Schutzschaltungen (Ableiter und Feinschutz) zu versehen. Zusammen mit einer entsprechenden Geräteabschirmung können heute selbst empfindliche elektronische Geräte und Anlagen gegen NEMP-Einwirkungen wirksam geschützt werden. Bei nachträglich getroffenen NEMP-Schutzmassnahmen kann oft nur noch mit grösserem Aufwand ein mehr oder weniger guter Schutzgrad erreicht werden. Ob und wieweit NEMP-geschützte Geräte auch im zivilen Bereich, beispielsweise für Spitäler, im Fernmeldewesen, in Stromversorgungsanlagen oder Datenübertragungssystemen gefordert werden, wird die Zukunft zeigen.

Literatur

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

[2] *W. Büchler, W. Bosshard:* Blitzschutz elektronischer Geräte und Anlagen, Eigenverlag Meteolabor AG, Wetzikon, 1983.