

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	89 (1998)
<b>Heft:</b>	7
<b>Artikel:</b>	Optimale Auswahl und Einsatz von Ableitern in Mittelspannungsnetzen
<b>Autor:</b>	Balzer, Gerd
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902062">https://doi.org/10.5169/seals-902062</a>

### 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:** 26.01.2026

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

Schaltanlagen in Mittelspannungsnetzen sollten durch Überspannungsableiter innerhalb der Schaltanlage vor Überspannungen geschützt werden. Ermöglicht wird die Auswahl zweckmässiger Ableiter durch die Berechnung der durch Blitze erzeugten Überspannungen.

# Optimale Auswahl und Einsatz von Ableitern in Mittelspannungsnetzen

■ Gerd Balzer

In der Vergangenheit wurden Netzstationen, die über eine Kabelverbindung an eine Freileitung angeschlossen waren, wiederholt infolge von Blitzschlägen beschädigt. Diese Beschädigungen traten auf, obwohl die Stationen grundsätzlich am Übergang Freileitung–Kabel durch Überspannungsableiter gegen Blitzüberspannungen geschützt werden. Dieser Schutz reicht jedoch nicht in allen Fällen aus, um eine Überbeanspruchung der Station zu vermeiden. Hierfür ist der Einbau von zusätzlichen Überspannungsableitern in der Station notwendig. Im folgenden wird ein Überspannungsschutzkonzept für derartige Mittelspannungs(MS)-Schaltanlagen entwickelt und empfohlen, bei dem berücksichtigt wird, dass eine Überbeanspruchung des Ableiters innerhalb der Station vermieden werden soll.

Während in Netzen der öffentlichen Energieversorgung Schaltüberspannungen nur bei Ausschaltvorgängen von Laststromspulen oder induktiv belasteten Transformatoren auftreten können, ist aufgrund des vermehrten Einsatzes von motorischen Antrieben in Industrienetzen ein zusätzlicher Überspannungsschutz in vielen Fällen unerlässlich. Darüber hinaus ist die Auswahl des Ableiters bezüglich des Energieaufnahmevermögens besonders zu beachten.

## Verteilungsnetz

### Netzstruktur

Die Struktur eines typischen Mittelspannungsnetzes ist in Bild 1 dargestellt. Die eingetragenen Pfeile kennzeichnen

die Netzpunkte, die hinsichtlich der Überspannungsproblematik von Interesse sind. Das 20-kV-Mittelspannungsnetz besitzt einen vermaschten Aufbau. Da es jedoch in einer strahlenförmigen Topologie betrieben wird, werden Kurzschlüsse immer einseitig gespeist und können in den einzelnen Umspannstationen leicht lokalisiert werden. In dieser Netztopologie gibt es betriebsmäßig offene Trennstellen. Diese werden nur bei betriebsbedingten Arbeiten oder bei Störungen geschlossen. Im Hinblick auf Überspannungen infolge von Blitzeinwirkung sind alle Stationen gefährdet, die über eine Kabeleinführung an eine Freileitung angeschlossen sind. Typische Beispiele hierfür sind Netzstationen im ländlichen Raum, die über eine Überland-Freileitung versorgt werden (Bild 2), und 20-kV-Netznoten in einem Freileitungsnetz.

Vielfach werden in den Netzen der öffentlichen Energieversorgung Freileitungsmaste eingesetzt, deren Traversen nicht geerdet sind, so dass keine Begrenzung der atmosphärischen Überspannung am Einschlagort stattfindet. Werden zum Beispiel Holzmaste verwendet, erfolgt ein Überschlag zum Erdboden, wenn die Überschlagsfeldstärke nassen Holzes von  $U=300 \text{ kV/m}$  überschritten wird. Dies bedeutet, dass bei einem 10-m-Mast die

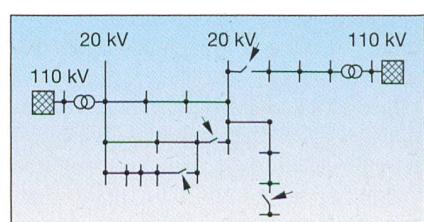


Bild 1 Struktur eines typischen Mittelspannungsnetzes

### Adresse des Autors

Prof. Gerd Balzer, TU Darmstadt, Institut für Elektrische Energieversorgung, Landgraf-Georg-Strasse 4, D-64283 Darmstadt

Überspannung am Einschlagort  $U_0 = 3000 \text{ kV}$  betragen kann.

Viele Stationen sind über Kabelverbindungen mit der Freileitung verbunden. Die Länge des Kabels  $l$  kann hierbei im Bereich von zehn bis zu mehreren hundert Metern liegen. Da Mittelspannungs-Freileitungsnetze nicht standardmäßig über ein Erdseil verfügen, führt jeder Blitzeinschlag zu einem Leiterseleinischlag. Darüber hinaus sind aufgrund der geringen Abstände der Leiterseile Mehrfachkurzschlüsse vorherrschend. Tabelle I zeigt eine Auswertung der Erd- und Kurzschlüsse, die durch Gewittertätigkeiten in den Jahren 1992 und 1993 nach [1] in den 10- und 20-kV-Netzen in Deutschland eingeleitet wurden. Demnach handelt es sich bei von Blitzen verursachten Fehlern hauptsächlich um Mehrfachfehler. Dieser Umstand muss bei der Rechnersimulation von Blitzen berücksichtigt werden.

Zum Schutz der Stationen gegen atmosphärische Überspannungen ist es grundsätzlich notwendig, am Übergang Freileitung-Kabel einen Überspannungsableiter zu installieren. Aus diesem Grund werden die Berechnungen unter der Annahme durchgeführt, dass die Anschlussverbindung des Ableiters  $l = 60 \text{ cm}$  beträgt und bei der Ermittlung der zulässigen Spannung  $U$  an den Klemmen des Transformators eine Sicherheitsmarge von 15% angenommen wird. Bei einer Blitzstossspannung von  $U_{rB} = 125 \text{ kV}$  ergibt sich hierdurch ein zulässiger Wert von  $U_{adm} = 108,7 \text{ kV}$ . Die in Bild 2 dargestellte Schienenverbindung innerhalb der Netzstation wird in einem Bereich zwischen  $l=0 \text{ m}$  und  $2 \text{ m}$  für die weiteren Berechnungen angenommen.

Da nach der Tabelle I im Regelfall mit einem mehrpoligen Einschlag zu rechnen ist, ist es bei den Berechnungen notwendig, die Parallelschaltung der einzelnen Betriebsmittel (z.B. der Ableiter) bei der

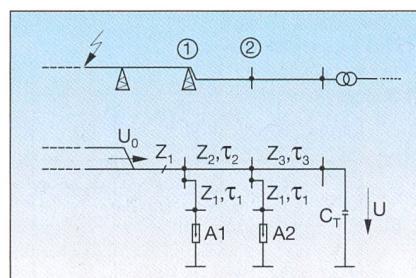


Bild 2 Anschluss einer 20-kV/0,4-kV-Netzstation

A1: Ableiter am Mast, A2: Stationsableiter,  $Z_i$ ,  $\tau_i$ : Anschlussverbindung,  $Z_j$ ,  $\tau_j$ : Kabelverbindung,  $Z_k$ ,  $\tau_k$ : Schienenverbindung (Station),  $C_T$ : Transformatorkapazität

Nachbildung zu beachten. Tabelle II zeigt die maximalen Blitzströme und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens unter Berücksichtigung einer Überspannung von  $U_0 = 3000 \text{ kV}$  [2]. Nach Tabelle II tritt diese Beanspruchung in der Praxis häufig auf, wenn mehrpolige Einschläge berücksichtigt werden, da die erforderlichen Stromamplituden oft überschritten werden.

Da für die Berechnung von atmosphärischen Überspannungen auch die Rückenhalbwertzeit  $t_R$  notwendig ist, um die Energieaufnahme zu ermitteln, wird nach [3] ein Wert von  $t_R = 77,5 \mu\text{s}$  gewählt. Dieser Betrag wird in 50% der Fälle erreicht. In 5% der Fälle wird der Wert von  $t_R = 200 \mu\text{s}$  überschritten.

### Schutzbereich eines Ableiters

Unter Berücksichtigung der Anlagenkonfiguration nach Bild 2 kann der Schutzbereich eines Ableiters mit einem Nennableitstrom von  $I_r = 5 \text{ kA}$  durch Simulationen ermittelt werden. Für den Fall, dass mehrpolige Blitzeinschläge berücksichtigt werden, sind die betreffenden Ableiter parallelgeschaltet. In Bild 3 ist der Schutzbereich der Ableiter als Funktion der Spannungssteilheit der einlaufenden Spannungswelle dargestellt. Die maximale Spannungsamplitude beträgt in diesem Fall  $U_0 = 3000 \text{ kV}$ , und die zulässige Spannung wird, wie im Abschnitt über die Netzstruktur erläutert, mit  $U_{adm} = 108,7 \text{ kV}$  gesetzt. Die angegebenen Schutzbereiche gelten nur für den Fall, dass die Anlage als Kopfstation betrieben wird. Besitzt die Station weitere Abgänge, so ergeben sich in jedem Fall größere Werte für die zulässige Kabellänge  $l$ .

Bei einer maximalen Spannungssteilheit der Welle  $U_0$  von  $S = 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$  ermittelt man nach Bild 3 einen Schutzbereich von  $s_p = 17$  bis  $27 \text{ m}$ , wenn mehrpolige Einschläge berücksichtigt werden. Dieser Wert reduziert sich auf  $s_p = 11 \text{ m}$  bei einem einpoligen Blitzeinschlag. Da Blitzeinschläge in einer Entfernung von

$l < 200 \text{ m}$  vor der Schaltanlage Steilheiten von  $S > 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$  haben, führen nur diese Blitze zu einer möglichen Überbeanspruchung der angeschlossenen Betriebsmittel.

Wenn Schutzmaßnahmen an der Freileitung nicht möglich sind (z.B. die Erdung der Traversen), dann ist ein zusätzlicher Ableiterschutz innerhalb der Station sinnvoll, um die Wahrscheinlichkeit einer Überbeanspruchung der Betriebsmittel durch Blitzeinschläge zu vermindern.

### Ableiterschutz innerhalb einer Station Auswahl der Ableiter

Aufgrund des isokeraunischen Pegels ist im allgemeinen ein Überspannungsableiter mit einem Nennableitstrom von  $I_r = 5 \text{ kA}$  ausreichend. In Sonderfällen werden auch Ableiter mit  $I_r = 10 \text{ kA}$  eingesetzt. Bei der Auswahl der Ableiter innerhalb der Station gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Kennwerte, in diesem Fall die im Dauerzustand maximal zulässige Betriebsspannung und den Nennableitstrom, zu koordinieren. Dies geschieht unter dem Gesichtspunkt, dass eine Überbeanspruchung des Ableiters innerhalb der Anlage vermieden werden sollte, um mögliche Folgeschäden zu vermeiden.

In Tabelle III sind einige Ableiterkombinationen aufgeführt. Die Varianten 1 und 2 stellen zur Vervollständigung der Verhältnisse die Situation ohne einen zusätzlichen Ableiter A2 innerhalb der Netzstation dar. Die Ableiter A1 besitzen in jedem Fall eine dauernd zulässige Betriebsspannung von  $U_{cl} = 24 \text{ kV}$ . Die Ableiter A2 haben wahlweise eine Spannung von  $U_{c2} = 24 \text{ kV}$  oder in den Varianten 3\* und 5\* von  $U_{c2} = 26 \text{ kV}$ .

### Überspannungen

Bild 4 zeigt beispielhaft die transientes Spannungsverläufe für die untersuchten

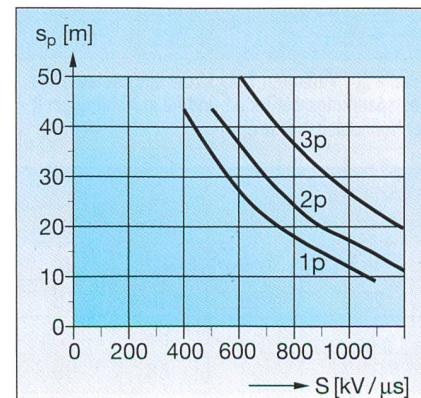


Bild 3 Schutzbereich  $s_p$  eines Ableiters nach Bild 2 in Abhängigkeit der Spannungssteilheit  $S$   
1p: einpolig, 2p: zweipolig, 3p: dreipolig

Tabelle I Anzahl der Fehler, die durch Blitze hervorgerufen wurden (10/20 kV, 1992/93)

Fehlerart	Anzahl	Anteil in %
einpolig	1 881	8,6
zweipolig	9 670	44,4
dreipolig	10 246	47,0
gesamt	21 797	100,0

Tabelle II Ströme  $I_0$  von Erstblitzen und die dazugehörige Wahrscheinlichkeit  $p(I_0)$

Blitz	$I_0/\text{kA}$	$p(I_0)/\%$
einpolig	14,6	87,6
zweipolig	22,2	70,4
dreipolig	23,5	67,2

## Überspannungsschutz

Varianten 1 und 3\* für den Fall eines zweipoligen Blitzschlags.

Tabelle IV zeigt die maximalen Spannungen  $U$ , die am Verteiltransformator durch eine einlaufende Spannungswelle von  $S = 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$  und bei einer Kabellänge von 50 m erzeugt werden. In den Varianten 1 und 2, also ohne zusätzliche Ableiter innerhalb der Station, entstehen Spannungen  $U$ , die grösser als  $U_{\text{adm}}$  sind. Die Verwendung eines Ableiters A2 in den Varianten 3 und 3\* lässt dagegen die Spannungen auf erlaubte Werte sinken. Alle anderen Kombinationen führen zu noch kleineren Spannungsbeanspruchungen und sind daher nicht angegeben. Der Einsatz eines Ableiters innerhalb der Station begrenzt damit die Überspannungen in allen Varianten der Tabelle III auf zulässige Werte unter 90 kV.

### Energieaufnahmevermögen

Für die Berechnung der Energieaufnahme eines Ableiters während eines Blitzschlages ist die Spannungsamplitude und die Dauer eines Blitzen massgebend. Hierbei wird eine Rückenhalbwertszeit von  $t_R = 200 \mu\text{s}$  berücksichtigt, die in nur 5% der auftretenden Fälle überschritten wird. Im Falle eines Blitzschlages nehmen die Überspannungsableiter die in der Tabelle V dargestellten Energien auf, wobei das Ergebnis unabhängig von der Kabelzuleitung der Station ist. Die Belastung der Ableiter ist auf das jeweils zulässige Energieaufnahmevermögen der Ableiter bezogen. Hierbei werden folgende Kennwerte vorausgesetzt:

- $I_r = 5 \text{ kA}$ :  $E_{\text{adm}} = 2,6 \text{ kJ/kV } U_c$   
(Typ ABB MVK)

Ableiter A2 $I_r/\text{kA}$	Ableiter A1 $I_r/\text{kA}$	
	5	10
0	1	2
5	3, 3*	-
10	4	5, 5*

Tabelle III Varianten 1 bis 5\* der eingesetzten Überspannungsableiter A1 und A2 in Abhängigkeit der Nennableitströme  $I_r$ ,

Variante	U/kV		
	1p	2p	3p
1	149	141	124
2	136	130	115
3	83	86	83
3*	87	88	89

Tabelle IV Maximale Spannung  $U$  für die Varianten 1 bis 3\*

1p, 2p, 3p: Art des Blitzschlages (ein-, zwei-, dreipolig)

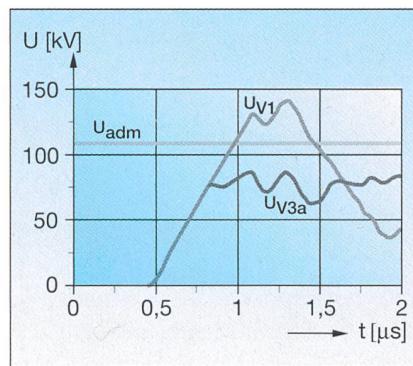


Bild 4 Transienter Spannungsverlauf  $U$  innerhalb der Station bei einem zweipoligen Blitzschlag

- $I_r = 10 \text{ kA}$ :  $E_{\text{adm}} = 5,5 \text{ kJ/kV } U_c$   
(Typ ABB MWK)

Aus den Angaben ist ersichtlich, dass bei der Parallelschaltung von baugleichen Ableitern eine ausgeglichene Aufteilung der Energie stattfindet (Varianten 3 und 5). Bei den mehrpoligen Blitzschlägen wird in der Tabelle V die Energieaufnahme für jeweils einen Ableiter angegeben. Dieses Verhalten wäre bei Funkenstreckenableitern aufgrund des unterschiedlichen Ansprechverhaltens grundsätzlich nicht zu erwarten.

Die Ergebnisse der Tabelle V lassen sich wie folgt deuten, wenn die oben angegebenen Randbedingungen (Amplitude, Rückenhalbwertszeit) berücksichtigt werden:

- Wenn die Station nur durch einen Ableiter an der Verbindung Freileitung–Kabel geschützt wird, besteht die Möglichkeit, dass dieser Ableiter überlastet wird (Varianten 1 und 2).
- Dies trifft auch für den Fall zu, dass die beiden Ableiter A1 und A2 mit  $I_r = 5 \text{ kA}$  und  $U_c = 24 \text{ kV}$  die gleichen Bemessungsdaten haben (Variante 3).
- Wird im Gegensatz zur Variante 3 der Ableiter A2 bei gleichem Nennableitstrom mit einem höheren  $U_c = 26 \text{ kV}$  versehen, so wird die Wahrscheinlichkeit einer Überlastung des Ableiters A2 innerhalb der Station erheblich reduziert. Eine Überbeanspruchung des Ableiters A1 am Übergang Freileitung–Kabel ist jedoch wahrscheinlicher (Variante 3\*).
- Der Einbau eines Ableiters mit einem höheren Energieaufnahmevermögen, jedoch gleicher maximal dauernd zulässiger Betriebsspannung  $U_c$  führt dazu, dass der Ableiter A2 innerhalb der Anlage aufgrund der tieferen Restspannungskennlinie stärker belastet wird als der Ableiter A1 (Variante 4).
- Werden die Ableiter entsprechend der Variante 3 identisch ausgelegt, jedoch mit einem höheren Energieaufnahmevermögen, dann werden in diesem Fall beide Ableiter nicht überlastet (Variante 5).

vermögen, dann werden in diesem Fall beide Ableiter nicht überlastet (Variante 5).

- Bei einer Abstufung der Spannung  $U_c$  gegenüber der Variante 5 wird in jedem Fall der Ableiter A1 früher überlastet, so dass eine Überbeanspruchung von A2 vermieden werden sollte (Variante 5\*).

### Bewertung

Die Berechnungen zeigen, dass ein ausreichender Schutz gegen Blitzschläge nur dann besteht, wenn zusätzlich zum Ableiter an der Übergangsstelle Freileitung–Kabel ein weiterer in der Station eingebaut wird. Dies gilt nicht nur für Stationen, die im Stich an das Mittelspannungsnetz angeschlossen sind, sondern für alle Abzweigungen in Stationen, die abgeschaltet sind (vgl. Bild 1).

Zur Vermeidung einer Überlastung eines Ableiters innerhalb einer Station ist es sinnvoll, eine Staffelung hinsichtlich der dauernd zulässigen Betriebsspannung entsprechend den Varianten 3\* und 5\* vorzunehmen. In diesen Fällen sollte es möglich sein, dass bei einem Blitzschlag in der Nähe der Station der Ableiter am Übergang Freileitung–Kabel früher überlastet wird. Die Auslegung des Stationsableiters mit einem höheren Energieaufnahmevermögen ( $I_r = 10 \text{ kA}$  statt 5 kA) bei gleichem  $U_c$  führt aufgrund der tiefen Restspannungskennlinie zur Reduktion der Überspannungen am Betriebsmittel und zu einer grösseren Energieaufnahme.

## Industriennetz

### Netzstruktur

Industrienneteze zeichnen sich im Vergleich zu Verteilnetzen oft durch einen verstärkten Einsatz motorischer Antriebe aus. Untersuchungen haben ergeben [4,5], dass beim Ausschalten von Motoren während des Anlaufvorgangs multiple Wiederzündungen auftreten können,

Var.	Belastung/zulässiges Energieaufnahmevermögen					
	einpolig		zweipolig		dreipolig	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
1	3,8	-	2,8	-	2,2	-
2	1,6	-	1,2	-	0,9	-
3	1,8	1,8	1,3	1,3	1,0	1,0
3*	2,5	1,0	2,0	0,7	1,4	0,7
4	0,6	1,3	0,4	0,9	0,4	0,7
5	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4
5*	1,1	0,4	0,9	0,3	0,6	0,2

Tabelle V Verhältnis Belastung / zulässiges Energieaufnahmevermögen der Überspannungsableiter

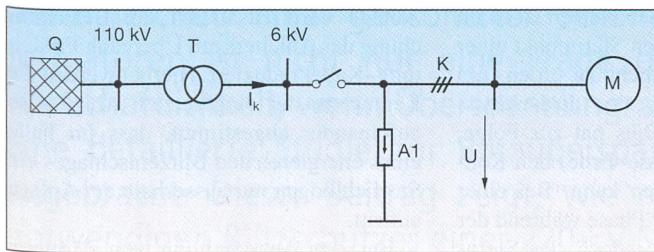


Bild 5 Ersatzschaltung zur Bestimmung der Überspannungen bei einer Motorabschaltung

die zu hohen Überspannungen mit entsprechenden Steilheiten führen.

Bild 5 zeigt beispielhaft einen 6-kV-Motor ( $P=125 \text{ kW}$ ), der über eine Kabelverbindung ( $l=50 \text{ m}$ ) zugeschaltet wird. Während des Anlaufs erfolgt eine Unterbrechung durch einen Leistungsschalter mit Vakuumtechnik. Hierbei wird ein maximaler Abreissstrom von  $I_{ch}=5 \text{ A}$  angenommen.

### Überspannungen

Unter Berücksichtigung der im vorherigen Abschnitt angegebenen Randbedingungen zeigt Bild 6a den unbeeinflussten Spannungsverlauf an den Klemmen des Motors für die erstlöschende Phase. Hierbei wird angenommen, dass die Kabelverbindung aus drei Einleiterkabeln besteht.

Zur Begrenzung der Überspannungen ist es sinnvoll, Überspannungsableiter zu installieren. Aufgrund der maximal zugelassenen Spannung des Hochspannungsmotors  $U_r=6,3 \text{ kV}$  ist der Einsatz von Ableitern mit einer dauernd zulässigen Betriebsspannung von  $U_c=7 \text{ kV}$  möglich. Bild 6b zeigt den Spannungsverlauf unter Berücksichtigung eines Überspannungsableiters. Es ist dabei ohne Bedeutung, ob der Anschluss direkt an den

Klemmen des Motors oder aber an der Anschlussverbindung im Leistungsschalterfeld erfolgt. Dies liegt darin begründet, dass die spannungsbegrenzende Wirkung des Ableiters während des Anstiegs der Motorklemmenspannung erfolgt und in diesen Fällen die Steilheit des Spannungsverlaufes gering ist.

Tabelle VI gibt die maximalen Spannungen an den Motorklemmen für drei Schutzvarianten an.

Variante	U/kV
1	17,8
2	12,7
3	12,9

Tabelle VI Überspannungen an den Klemmen des Motors nach einer Abschaltung im Anlauf

- 1: ohne Ableiter; 2: mit Ableiter,  $I_r = 10 \text{ kA}$ ;
- 3: mit Ableiter,  $I_r = 5 \text{ kA}$

Wird im Unterschied zu dem oben angegebenen Beispiel ein Dreileiterkabel (Gürtelkabel) zwischen der Sammelschiene und dem Motor verwendet (Bild 5), so ergeben sich aufgrund der kapazitiven Kopplung zwischen den einzelnen Phasen andere Spannungsverhältnisse während des Ausschaltvorgangs. Bild 7a,b zeigt die Spannungsverläufe

von zwei Phasen an den Klemmen des Motors für einen Zeitbereich bis  $t=1 \text{ ms}$  ohne den Einsatz von Überspannungsableitern.

Im Gegensatz zu dem Beispiel in Bild 6a wird der Motorstrom aufgrund der Wiederzündungen in dem betrachteten Zeitbereich nicht unterbrochen, und die kapazitiven Einkopplungen in die zweite Phase führen nach rund  $t=0,9 \text{ ms}$  zu einem virtuellen Stromabriß mit hohen Überspannungen. In diesem Fall hat der Strom im Leistungsschalter einen Nulldurchgang, so dass eine Unterbrechung erfolgen kann, obwohl der Motorstrom sich unter Umständen im Maximum befindet.

Durch den Einsatz eines Überspannungsableiters im Schaltfeld des Leistungsschalters ergeben sich die Spannungsverläufe entsprechend Bild 8a,b. Nach diesen Bildern wird die Anzahl von multiplen Wiederzündungen erheblich reduziert, und ein virtueller Stromabriß tritt nicht auf. Die Berechnungen ergeben, dass durch den Einsatz eines Überspannungsableiters sowohl die absolute Höhe der Überspannung als auch die Zahl der Wiederzündungen mit steilen Spannungszusammenbrüchen vermindert werden. In diesem Fall sind die Höhe und der Verlauf der Überspannung unabhängig vom Installationsort des Ableiters, so dass ein Anschluss im Leistungsschalterfeld aufgrund besserer Platzverhältnisse vorzuziehen ist.

### Energieaufnahmevermögen

Bei der Abschaltung von Motoren ist die Energieaufnahme von Überspannungsableitern sehr gering, so dass unter

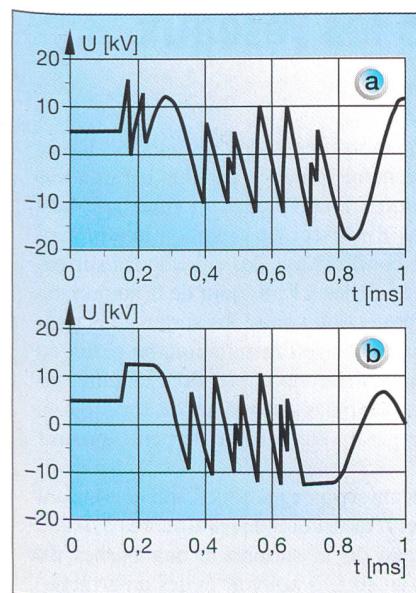


Bild 6 Überspannungen an den Klemmen des Motors; erstlöschende Phase  
a: ohne Ableiter, b: mit Ableiter

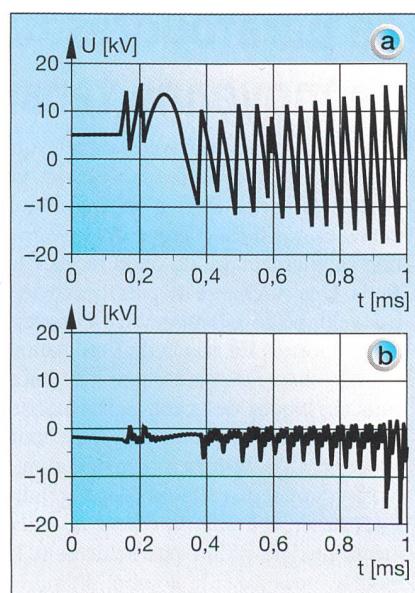


Bild 7 Überspannungen an den Klemmen des Motors, ohne Überspannungsableiter  
a: erstlöschende Phase, b: zweitlöschende Phase

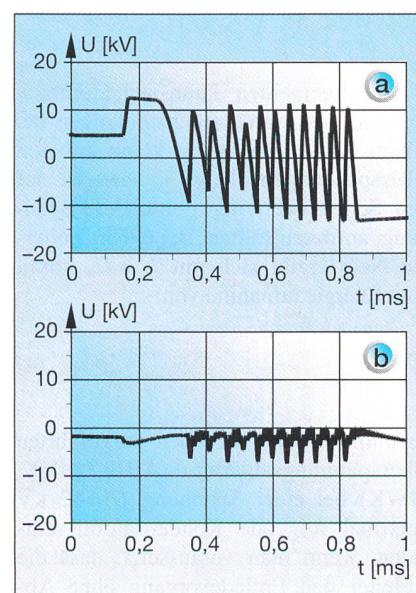


Bild 8 Überspannungen an den Klemmen des Motors, mit Überspannungsableiter  
a: erstlöschende Phase, b: zweitlöschende Phase

## Überspannungsschutz

diesen Voraussetzungen keine besonderen Beanspruchungen zu erwarten sind. Sofern allerdings Kapazitäten zur Blindleistungskompensation an der MS-Sammelschiene installiert worden sind, müssen die angeschlossenen Überspannungsableiter für diese mögliche Belastung ausgelegt werden.

Für die Energie, die von einem Überspannungsableiter aufgenommen wird, der parallel zu einem Kondensator angeschlossen ist, gilt allgemein:

$$E = \frac{C}{2} \cdot \left[ \left( k \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_m \right)^2 - 2 \cdot U_c^2 \right] \quad (1)$$

wobei  $C$  die Kapazität,  $U_m$  die höchste zulässige Spannung der Betriebsmittel,  $k$  den Überspannungsfaktor und  $U_c$  die zulässige Dauerbetriebsspannung des Ableiters angibt.

Hierbei wird angenommen, dass die Kapazität  $C$  der Blindstromkompensation entsprechend der Höhe des Überspannungsfaktors aufgeladen ist. Der Überspannungsableiter wird die Energie bis zu seiner zulässigen Dauerbetriebsspannung übernehmen.

Die Leistung eines Kondensators kann nach Gleichung (2) ermittelt werden zu:

$$S_{rc} = U_m^2 \cdot \omega \cdot C \quad (2)$$

wobei  $S_{rc}$  die dreiphasige Bemessungsleistung des Kondensators ist.

Für die Energieaufnahme ergibt sich dann:

$$E = \frac{S_{rc}}{\omega} \cdot \left[ \frac{k^2}{3} - \left( \frac{U_c}{U_m} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Im allgemeinen kann angenommen werden, dass durch Rückzündungen bei einem Ausschaltvorgang keine höheren Überspannungen als  $k=3$ , bezogen auf den Scheitelwert der Leiter-Erde-Spannung, auftreten sollten. Bei einem isolierten Netz ergibt sich mit  $U_c=U_m$  somit eine Energieaufnahme von:

$$E = 2 \cdot \frac{S_{rc}}{\omega} \quad (4)$$

Somit können die oben aufgeführten Überspannungsableiter (ABB MVK, MWK) bei einer Spannung  $U_c=12$  kV maximal folgende Kondensatoren entladen, wenn man voraussetzt, dass die Ableiter den Entladevorgang ohne Abkühlung dreimal beherrschen sollen [6]: Typ ABB MVK,  $S_c \approx 1,6$  MVar und Typ ABB MWK,  $S_c \approx 3,4$  MVar.

In isoliert betriebenen Netzen ist es im allgemeinen üblich, den Sternpunkt einer Kondensatorbatterie nicht zu erden, um keine Vergrößerung des Erdschlussstroms zu erhalten. Dies hat zur Folge, dass ein Ableiter (Phase-Erde) den Kondensator nicht entladen kann. Bei einer Rückzündung in einer Phase während der Ausschaltung nimmt jedoch der Sternpunkt einer Kondensatorbatterie ein höheres Potential gegen Erde an, so dass ein Überschlag erfolgen und damit eine Entladung stattfinden kann. Aus diesem Grunde sind die Überspannungsableiter unabhängig von der Sternpunktbehandlung entsprechend Gleichung (4) auszulegen.

### Zusammenfassung

Mittelspannungs-Schaltanlagen, die an Freileitungsnetze über eine Kabelverbindung angeschlossen sind, werden grundsätzlich am Übergang Freileitung-Kabel durch Überspannungsableiter gegen Blitzüberspannungen geschützt. In Abhängigkeit von der Kabellänge ist es in einigen Fällen trotzdem ratsam, auch innerhalb der Station einen zusätzlichen Ableiterschutz vorzusehen. Dies wird durch Berechnungen der Überspannungen bestätigt. Da eine Überbeanspruchung des Ableiters innerhalb der Station vermieden werden sollte, wird ein Überspannungs-Schutzkonzept für derartige MS-Schaltanlagen entwickelt und empfohlen. Aufgrund des Einsatzes in der

Anlage wird zusätzlich die Beanspruchung des Ableiters am Übergang Freileitung-Kabel reduziert. Hierbei werden die Kennwerte der eingesetzten Ableiter so aufeinander abgestimmt, dass im Falle eines energiereichen Blitzeinschlages ein Störlichtbogen nur ausserhalb der Anlage auftritt.

Bei der Ausschaltung von Motoren können multiple Wiederzündungen auftreten, die zu Überspannungen mit hohen Steilheiten führen. Der Einsatz von Metallocidableitern reduziert nicht nur die Höhe der Überspannung an den Klemmen des Motors, sondern auch die Zahl der Wiederzündungen, so dass ein virtueller Stromabriß mit sehr hohen Überspannungen vermieden werden kann. Berechnungen zeigen, dass es ausreichend ist, die Installation des Ableiters im Leistungsschalterfeld vorzunehmen.

### Literatur

- [1] VDEW: Störungs- und Schadensstatistik (1992, 1993). VWEW, Frankfurt (Main).
- [2] G. Balzer, H.-H. Jahn: Overvoltage Protection for MV-Substation, CIRED-97, 2.45.1-2.45.5.
- [3] CIGRE WG 01, SC 33: Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines. Report 63, 1991.
- [4] CIGRE SC13, WG 02: Interruption of small inductive currents. Chap. 3. Electra 1981(75), p. 5-30.
- [5] G. Balzer: Schaltvorgänge in Mittelspannungsnetzen und deren Berücksichtigung bei der Planung. Brown Boveri Technik 5-86, S. 270-278.
- [6] ABB Hochspannungstechnik AG: Bemessung, Prüfung und Einsatz von Metallocid-Ableitern in Mittelspannungsnetzen. Druckschrift 1994, Schweiz.

## Choix et mise en œuvre optimalisés de parafoudres dans les réseaux de moyenne tension

Les postes de moyenne tension qui sont raccordés à des réseaux de lignes aériennes au moyen de câbles sont généralement protégés par des parafoudres contre les surtensions d'origine atmosphérique. L'expérience montre que dans quelques cas il est indiqué de prévoir aussi à l'intérieur de la station une protection supplémentaire du parafoudre. Cela est confirmé par des calculs des surtensions. Une surcharge du parafoudre devant être évitée à l'intérieur de la station, on a développé et recommandé un concept de protection contre les surtensions pour de tels postes. En raison de l'utilisation à l'intérieur de l'installation, on réduit en outre la charge du parafoudre à la jonction ligne aérienne-câble. Pour ce faire, les caractéristiques des parafoudres utilisés sont adaptées entre elles de sorte qu'en cas d'un coup de foudre direct de haute énergie un arc parasite ne peut se manifester qu'à l'extérieur de l'installation.

La coupure de moteurs peut engendrer des amorcages multiples, qui conduisent à des surtensions à forte vitesse de croissance. L'utilisation de parafoudres à oxyde métallique ne réduit pas seulement le niveau de la surtension aux bornes du moteur, mais aussi le nombre d'amorcages, en sorte à pouvoir éviter un arrachement de courant virtuel sous très hautes surtensions. Des calculs montrent qu'il est suffisant de prévoir l'installation du parafoudre dans la travée de disjoncteur.