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: 92 (2001)

Heft: 15

Artikel: Verringerung von Kabelmantelverlusten

Autor: Richter, Bernhard / Balzer, Gerd

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855730

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: 13.07.2025

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

Verringerung von Kabelmantelverlusten

Einseitige Erdung mit zusätzlichem Metalloxid-Überspannungsableiter

In vielen Fällen sind die Mäntel der Energiekabel in Mittelspannungsnetzen beidseitig geerdet. Dies vermeidet dielektrische Belastungen der Kabelmantelisolation durch eingekoppelte Spannungen zwischen dem Kabelmantel und der Erde. Ein Nachteil dieser gängigen Erdungsmethode sind zusätzliche Verluste

auf Grund des im Kabelmantel fliessenden Stromes. Die Höhe der Verluste hängt vom Kabeltyp, dem Laststrom, und der Verlegungsart der Kabel ab. Für typische Mittelspannungskabel mit Polymerisolation können die zusätzlichen Verluste ungefähr 2% bis 10% betragen. Diese könnten jedoch vermieden werden, wenn nur eine Seite des Kabelmantels geerdet und die andere mit einem Metalloxid-Überspannungsableiter (MO-Ableiter) zwischen dem Kabelmantel und der

Bernhard Richter und Gerd Balzer

Erde versehen würde, der die Isolation des Kabelmantels gegen Überspannungen schützt. Bei Energiekabeln in Hochspannungsnetzen wird dieses Schutzkonzept bereits angewendet.

Standardisierte Auswahl ist vorhanden

Um die Auswahl der Ableiter zu vereinfachen, werden sie für typische Kabellängen und Kurzschlussströme standardisiert. Der Schutzpegel der Ableiter sollte dabei möglichst tief liegen, weil die Haltespannung der Kabelmantelisolation nicht klar definiert ist. Zudem gibt es auch keine standardisierten Tests für die Ermittlung der dielektrischen Belastbarkeit der Kabelmantelisolation. Der Ableiter muss aber auch die maximal induzierte Spannung im Kurzschlussfall ohne Beschädigung halten können.

Anhand der im Folgenden durchgeführten Berechnungen wird erklärt, wie die Ableiter korrekt ausgewählt werden können.

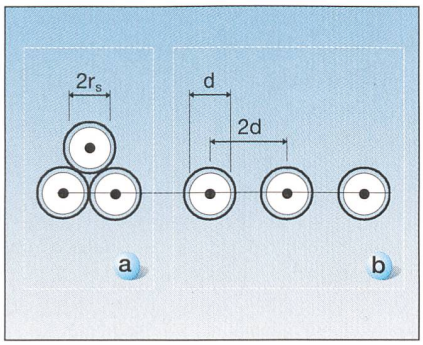

Bild 1 Verlegungsarten von Mittelspannungskabeln
a: Dreiecksanordnung; b: Verlegung in einer Ebene

Unterschiedlich induzierte Spannungen

Spannungen und Ströme im Kabelmantel werden von zwei unterschiedlichen Strömen beeinflusst:

- dem Kurzschlussstrom mit einer Zeitdauer von t = 3 s (einphasig und dreiphasig)
- dem Laststrom mit unbegrenzter Zeitdauer

Um die MO-Ableiter richtig dimensionieren zu können, müssen die auftretenden Spannungen für diese beiden Belastungsfälle berechnet werden.

Bei Mittelspannungsnetzen sind zwei unterschiedliche Verlegungsarten von Energiekabeln gebräuchlich: die Dreiecksanordnung (Bild 1a) und die Anordnung der einzelnen Kabel in einer Ebene (Bild 1b).

Diese unterschiedlichen Verlegungsarten sowie unterschiedliche Last- und Kurzschlussströme haben – wie nachfolgend beschrieben – unterschiedliche induzierte Spannungen zur Folge.

Spannungen verursacht von dreiphasigen Strömen

Die Kabelmantelspannung U_S wird in Abhängigkeit vom Leiterstrom berechnet. Werden die Kabel in einer Ebene verlegt, hängt die Spannung U_S davon ab, ob das mittlere oder eines der beiden äusseren Kabel betrachtet wird. Die maximale Spannung wird in den Mantel der äusseren Kabel induziert, da sich dort die magnetischen Felder gleichsinnig überlagern.

Spannungen verursacht von einphasigen Strömen

Im Fall eines einphasigen Kurzschlussstromes wird die Kabelmantelspannung nicht von den anderen Leitern beeinflusst, die keinen Kurzschlussstrom führen. Die Spannung U_S wird unter Berücksichtigung der Rückleitung über die Erde berechnet.

Kapazitive Spannungsübertragung

Ist der Kabelmantel nur einseitig entsprechend Bild 2 geerdet, dann wird die Spannung U_0 zwischen dem Leiter und der Erde am anderen Ende des Kabels in die Spannungen U_S und U_L aufgeteilt. Ohne Berücksichtigung des Lastflusses

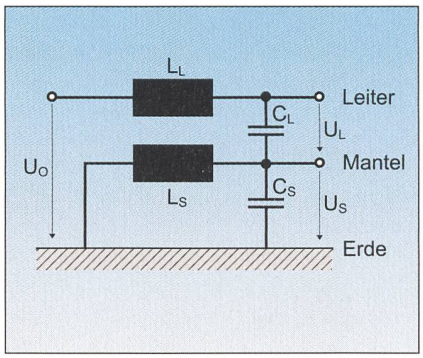

Bild 2 Kapazitive Spannungsübertragung bei einseitig geerdetem Kabelmantel
L_L wird vom Strom I_L, L_S von I_S durchflossen.

wird die Spannungsaufteilung durch die beiden Kapazitäten C_S (zwischen Kabelmantel und Erde) und C_L (zwischen Leiter und Kabelmantel) bestimmt.

Berechnung der Kabelmantelspannungen

Ist der Kabelmantel beidseitig geerdet, fliesst auf Grund der oben erwähnten induzierten Spannung ein Strom durch den Kabelmantel. Dies hat zusätzliche Verluste zur Folge. Zur Berechnung der maximalen Zusatzverluste wird eine allfällige Stromrückleitung über die Erde ver-

nachlässigt. Da nur die Zusatzverluste im Dauerbetrieb von Interesse sind, werden bei der folgenden Berechnung keine Erd- oder Kurzschlussverhältnisse berücksichtigt, sondern nur der Fall von dreiphasigen Strömen.

Das in Deutschland gebräuchlichste Kabel ist ein Kunststoffkabel (VPE) mit Aluminiumleiter (NA2XS2Y). Im Fall der Dreiecksverlegung ist der Abstand zwischen den Kabeln doppelt – bei in einer Ebene verlegten Kabeln sogar viermal – so gross wie der äussere Radius der Kabel (d = 36 mm). Mit diesen Voraussetzungen können Spannungen und Ströme mit den in [1] angegebenen Beziehungen berechnet werden.

Induktiv übertragene Spannungen

Unter Annahme eines Leiterstromes von $I_L = 1000$ A, ergeben sich unter den oben angegebenen Verlegungsarten in Abhängigkeit der Länge die in Tabelle I dargestellten Werte für die Kabelmantelspannungen U_S.

Kapazitiv übertragene Spannungen

Die Kapazitätsbeläge C_L und C_S können zu $C_L = 254$ nF/km und $C_S = 760$ nF/km berechnet werden. Damit ergibt sich eine maximale Spannung von $U_{Smax} = 0{,}25 \cdot U_0$. Das bedeutet, dass theoretisch 25% der Leiter-Erde-Spannung kapazitiv übertragen wird. In der Praxis ist diese Spannung auf Grund der einseitigen Erdung der Kabelmäntel geringer.

In Abhängigkeit der Kabellänge l und für $f = 50$ Hz sowie $U = 24/\sqrt{3}$ kV wird die Spannung U_S zu $U_S = 0{,}3$ V (für $l = 500$ m) und $U_S = 5{,}1$ V (für $l = 2000$ m) berechnet.

Ableitertyp	Schutzverhältnis U_p/U_c [-]	Nennstrom I_n (8/20 µs) [kA]	Hochstrom I_{hc} (4/10 µs) [kA]	Energieaufnahmefähigkeit E' [kJ/kV$_{Uc}$]	Rechteckwelle I_{RW}, 2 ms [A]
MWK/MWD	3,07	10	100	5,5	550
Polim-C...N	3,43	10	100	3,5	250

Tabelle III Technische Daten verschiedener MO-Ableiter

Die Spannungen zwischen Kabelmantel und Erde im stationären Fall können in der Regel vernachlässigt werden. Wird hingegen der Leiter des Kabels mit einem hochfrequenten Vorgang belastet, z.B. einem Ausgleichsvorgang mit einer Anstiegszeit von 4 µs, und derselben Spannungsamplitude von $U = 24/\sqrt{3}$ kV, treten bei einer Kabellänge von $l = 2000$ m Spannungen am offenen Ende des Kabelmantels von $U_S = 14{,}44$ kV und $U_L = 25{,}75$ kV auf.

Diese berechneten Spannungen ergeben sich unter Berücksichtigung von Reflexionen am offenen Kabelende.

Kabelmantelströme und Verluste

Für das oben erwähnte Kabel vom Typ NA2XS2Y ergeben sich Kabelmantelströme I_S in Abhängigkeit von der Verlegungsart und dem Leiterstrom I_L wie folgt

Dreiecksverlegung: $I_S = 0{,}051 \cdot I_L$

Verlegung in einer Ebene: $I_S = 0{,}139 \cdot I_L$

Bei in einer Ebene verlegten Kabelanordnungen ist der Strom im mittleren Kabel geringer wegen der Einkopplungen durch die äusseren Kabel.

Mit dem Strom I_S und dem Widerstand R des Kabelmantels berechnen sich die Verluste im Kabelmantel unter Annahme des maximalen Leiterstromes zu:

Dreiecksverlegung: $P_{lS} = 740$ W/km

Verlegung in einer Ebene:

$P_{lS} = 5300$ W/km

Beträchtliche Summen einsparen

Im deregulierten Markt werden Erstellungs- und Wartungskosten immer mehr an Bedeutung gewinnen. Dies gilt insbesondere auch für Energiekabel in Mittelspannungsanlagen. Zurzeit werden die installierten Kabel nur zu rund 30% ausgenutzt, das heisst, die Kabel werden mit nur 30% des zulässigen Dauerstromes betrieben. Es kann damit gerechnet werden, dass aus wirtschaftlichen Gründen die Kabelanlagen in Zukunft stärker ausgelastet werden.

Die Kosten der Kabelmantelverluste in Abhängigkeit der Verlegungsart und des Leiterstromes I_L sind in [2] berechnet worden (siehe Tabelle II).

Danach ergeben sich beispielsweise für einen Leiterstrom von $I_L = 100$ A (30% Auslastung des Kabels) Kosten zwischen Fr. 543.– und Fr. 1096.– pro km, je nach Verlegungsart der Kabel. Dies ist ungefähr das Doppelte der Kosten für einen Ableitersatz wie er für den Kabelmantelschutz eingesetzt wird. Da die Kosten nicht linear mit dem Leiterstrom steigen, errechnen sich für einen

Verlegungsarten	U_S [V/km]
Dreiphasige Ströme	
Dreiecksverlegung	55,0
Verlegung in einer Ebene	126,1
Einphasiger Strom	693,3

Tabelle I Kabelmantelspannungen in Abhängigkeit der Verlegungsarten

Laststrom I_L [A]	Verlegung im Dreieck [Fr./km]	Verlegung in einer Ebene [Fr./km]
50	136	274
75	306	617
100	543	1096
150	1221	2464
200	2171	4382
300	4884	9858

Tabelle II Kosten der Kabelmantelverluste in Abhängigkeit des Leiterstroms I_L

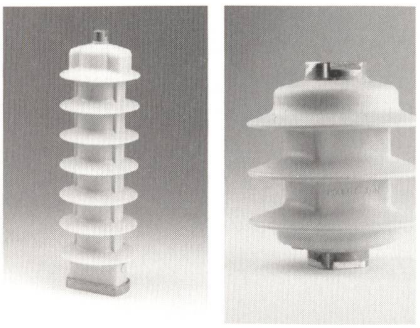

Bild 3 MO-Ableiter für Kabel- und Kabelmantelschutz

Links: Typ MWK für den Kabelschutz; rechts: Typ Polim-C für den Schutz des Kabelmantels

Leiterstrom von $I_L = 300$ A (volle Ausnutzung des Kabels) Kosten zwischen Fr. 4884.– und Fr. 9858.– pro km. Insbesondere bei längeren Kabelabschnitten und bei steigender Ausnutzung der Kabel können durch den Einsatz entsprechender MO-Ableiter beträchtliche Summen eingespart werden.

MO-Ableiter für Kabelmantelschutz

Für den Schutz von Mittelspannungskabeln mit Längen von einigen 100 m bis zu 2000 m wird in der Regel ein Ableiter eingesetzt, der ein möglichst gutes Schutzniveau, das heisst, eine niedrige Restspannung bei Nennstrom $I_n = 10$ kA (Wellenform 8/20 µs) und ausserdem ein hohes Energieaufnahmevermögen hat. Dies ist ein Ableiter mit Leitungsentladungsklasse 2 nach IEC 60099-4 [3].

MO-Ableiter der ABB – zum Beispiel der Typ MWK für Freilufteinsatz oder MWD für Innenraumanwendung – sind für den Schutz von längeren Kabeln und anderen hochwertigen Anlagen geeignet. Um den Kabelmantel gegen Erde zu schützen, wird ein ABB MO-Ableiter des Typs Polim-C empfohlen. Beide Typen sind funkenstreckenlose MO-Ableiter mit Silikongehäuse. Diese spezielle Konstruktion erfüllt höchste Qualitätsanforderungen [4].

Die Typen MWK und MWD sind Ableiter der Leitungsentladungsklasse 2 und zeichnen sich durch besonders tiefe Restspannung und hohes Energieaufnahmevermögen aus. Der Typ Polim-C (mit Leitungsentladungsklasse 1) ist ein speziell für den Kabelmantelschutz entwickelter Ableiter. Bild 3 zeigt die erwähnten Ableiter, in Tabelle III sind die wesentlichen technischen Daten zusammengestellt.

Auslegung der Ableiter

Entsprechend Bild 4 sollen die auftretenden Spannungen und daraus abgeleitet die einzusetzenden Ableiter berechnet werden. Zur Bestimmung des Ableiters A1 (Bild 4) zum Schutz der Kabelisolation sei auf [5] verwiesen. Für das angenommene 20-kV-Netz wird ein Ableiter des Typs MWK 24 gewählt, also ein Ableiter mit einer maximalen Dauerbetriebsspannung von $U_c = 24$ kV, der eine Restspannung $U_p = 73{,}7$ kV bei $I_n = 10$ kA (8/20 µs) hat.

Zur Dimensionierung des Ableiters A2 zum Schutz der Isolation zwischen Kabelmantel und Erde müssen die maximal auftretenden Spannungen U_{TOV} zwischen Kabelmantel und Erde berechnet werden.

Tabelle IV Maximal auftretende Spannung zwischen Kabelmantel und Erde

Kabellänge [m]	Temporäre Überspannung U_{TOV} [V]		
	$I_K = 10$ A	$I_K = 20$ A	$I_L = 350$ A
500	631	1261	22
2000	2522	5044	88

Tabelle V Minimale Dauerbetriebsspannung U_c der MO-Ableiter

Kabellänge [m]	Dauerbetriebsspannung U_c [V]	
	$I_K = 10$ kA	$I_K = 20$ kA
500	495	990
2000	1980	3860

In Tabelle IV sind die Werte für die typischen Kabellängen von 500 m und 2000 m, für Kurzschlussströme I_K von 10 kA und 20 kA sowie für den Laststrom von 350 A dargestellt.

Die berechneten Werte U_{TOV} bestimmen die zu wählende Dauerbetriebsspannung des Ableiters A2. Unter Berücksichtigung der zeitweiligen Überlastbarkeit $T = U_{TOV}/U_c$ von MO-Ableitern ergeben sich folgende mindeste Dauerbetriebsspannungen U_c für die Ableiter A2 (Tabelle V).

Für den Kurzschlussstrom wird eine maximale Zeitdauer von $t = 3$ sec angenommen. Damit ergibt sich eine temporäre Überlastbarkeit von T = 1,275 für den Polim-C. Für andere angenommene Zeitdauern des Kurzschlussstromes ergeben sich entsprechend andere Werte für U_{TOV}.

Die zu wählenden Dauerbetriebsspannungen entsprechend Datenblatt für die Ableiter sind dann $U_c = 2$ kV für den Fall eines Kabels mit $l = 2000$ m und einem Kurzschlussstrom I_K von 10 kA, bzw. $U_c = 4$ kV für den Fall eines Kabels mit $l = 2000$ m und einem Kurzschlussstrom I_K von 20 kA. Es werden hier zur Vereinfachung nur Ableiter für Kabel mit $l = 2000$ m dimensioniert. Damit sind auch alle kürzeren Kabelstrecken abgedeckt. Die zu wählenden Ableiter für den Kabelmantelschutz sind demnach die Typen Polim-C 2,0 N (mit $U_p = 6{,}9$ kV bei $I_n = 10$ kA, 8/20 µs) für Kurzschlussströme I_K bis zu 10 kA, bzw. Polim-C 4,0 N (mit $U_p = 13{,}8$ kV bei $I_n = 10$ kA, 8/20 µs) für Kurzschlussströme I_K bis 20 kA.

Die Restspannung U_p der Ableiter A2 zum Kabelmantelschutz ist bedeutend tiefer als die Impulshaltespannung der Isolation (Dicke etwa 2 mm) zwischen Kabelmantel und Erde. Dies gilt für alle Typen moderner Mittelspannungskabel mit VPE-Isolation.

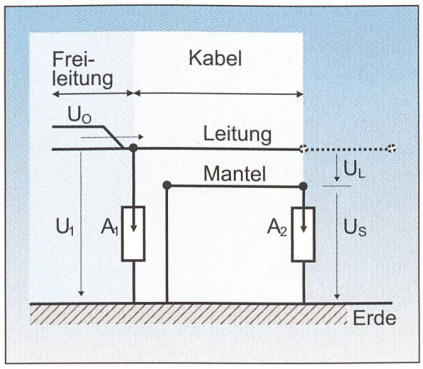

Bild 4 Schematische Darstellung zur Berechnung der auftretenden Überspannungen und Auswahl der MO-Ableiter

Die Spannung U_p liegt direkt an den Klemmen der Ableiter A_1 bzw. A_2

Zusammenfassung

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass nebst allgemein gebräuchlichem Einsatz zum Kabelschutz in Mittelspannungsnetzen MO-Ableiter auch für den Kabelmantelschutz eingesetzt werden, sofern der Kabelmantel nur einseitig geerdet ist. Die einseitige Erdung der Kabelmäntel von Mittelspannungskabeln hilft, die Kabelverluste zu verringern. Die Kostenersparnis ist vor allem bei Kabelstrecken länger als 500 m und bei steigender Ausnutzung der Kabel wirksam. Je nach Länge der Kabel und erwarteter Kurzschlussströme werden MO-Ableitern mit unterschiedlichen Dauerbetriebsspannungen eingesetzt.

Literatur

[1] ABB-Report: Auswahl von Überspannungsableitern für Kabelmantelschutz. *B. Richter*, Wettingen, und *G. Balzer*, Mannheim. Wird 2001 veröffentlicht.

[2] *A. Heiss, G. Balzer, O. Schmitt, B. Richter*: Surge Arresters for Cable Sheath Preventing Power Losses in M.V.-Networks. Wird an der Cired-Konferenz 18.–21.6.2001 veröffentlicht.

[3] International Standard IEC 60099-4, 1998-08: Surge arresters – Part 4: Metal-Oxide Surge Arresters without Gaps for a.c-Systems.
[4] *W. Schmidt*: Metalloxid – ein fast idealer Überspannungsableiter. Bulletin SEV/VSE 7/1998, S. 12–20.
[5] Anwendungsrichtlinien Überspannungsschutz: Bemessung, Prüfung und Einsatz von Metalloxid-Ableitern in Mittelspannungsnetzen. 3. überarbeitete Auflage 1999; ABB Hochspannungstechnik AG, Wettingen/Schweiz.

Adressen der Autoren

ABB Hochspannungstechnik AG, 5430 Wettingen: Dipl.-Ing. *Bernhard Richter*, bernhard.richter@ch.abb.com
Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektrische Energieversorgung, D-64283 Darmstadt: Prof. Dr.-Ing. *Gerd Balzer*, gbalzer@eev.tu-darmstadt.de

Réduction des pertes dues aux gaines de câbles

Les gaines de câbles mises à la terre aux deux extrémités dans les réseaux d'énergie moyenne tension évitent les sollicitations diélectriques de l'isolement des câbles. Un inconvénient de cette méthode courante de mise à la terre est qu'elle provoque des pertes supplémentaires du fait du courant circulant dans la gaine: pour les câbles moyenne tension typiques à isolants polymères, cela représente de 2 à 10% des pertes totales. Ces pertes supplémentaires peuvent néanmoins être évitées en ne mettant à la terre qu'une extrémité de la gaine et en montant à l'autre bout une parasurtension à l'oxyde métallique. Sur les longs tronçons surtout, et lorsque les câbles sont fortement sollicités, ces parasurtensions permettent d'économiser des sommes considérables.

Urania

agil³

Der Daily 7m³, der agilste unter den „City Trucks".

Fährt wie ein Auto, lädt wie ein Truck. Der kleinste Daily mit 7m³ Ladevolumen setzt Massstäbe in der Stadt. Absolut überzeugend: seine enorme Wendigkeit, das komfortable Handling und die hohe Wirtschaftlichkeit. Besonders spritzig auch mit Common-Rail-Technik (Unijet). Der Daily 7m³ – gross in der Stadt, klein im Preis. Alles Weitere erleben Sie bei einer Probefahrt.

www.iveco.com

IVECO