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: 88 (1997)

Heft: 11

Artikel: Schirmverluste von Mittelspannungskabeln können verringert werden, aber... : betriebliche Aspekte bei der Wahl von Schirmquerschnitt und Erdungsvariante

Autor: Wyler, Charles

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902204

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

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

Die Kosten von Schirmverlusten lassen sich mittels einer geeigneten Methode senken. Es ist jedoch keine Lösung bekannt, welche die Schirmverluste ohne Zusatzinvestitionen eliminiert und keine Nachteile in bezug auf die Sicherheit oder den Netzbetrieb beinhaltet. Wie der vorliegende Aufsatz zeigt, betragen die – zum Beispiel durch eine Reduktion des Schirmquerschnittes – erzielbaren Einsparungen oft nur einige wenige Prozente der kapitalisierten Totalverluste.

Schirmverluste von Mittelspannungskabeln können verringert werden, aber ...

Betriebliche Aspekte bei der Wahl von Schirmquerschnitt und Erdungsvariante

■ Charles Wyler

Jeder von einem Wechselstrom durchflossene Leiter ist von einem sinusförmigen elektromagnetischen Feld umgeben. Befindet sich in diesem Feld ein metallischer Kreis, so wird in diesem – je nachdem, ob der Kreis offen oder geschlossen ist – eine Spannung oder ein Strom induziert. Auch die Metallmäntel von Einleiterkabeln gehorchen diesen Gesetzen; sie weisen bei offenem Schirmkreis (einseitige Schirmerdung) eine induzierte Spannung auf oder werden bei geschlossenem Schirmkreis (beidseitige Schirmerdung) von einem Strom durchflossen. Die Intensität des Stromes wird von den Koeffizienten der Gegeninduktion der drei Leiter sowie der drei Schirme bestimmt, welche ihrerseits von der Kabelkonstruktion und der geometrischen Anordnung abhängen.

Kabel mit einseitiger Schirmerdung

Für sämtliche Phasen kann von einem elektrischen Ersatzschaltbild (Bild 1) ausgegangen werden:

In einem ausgeglichenen Dreiphasensystem sind die drei Phasenströme gleich ($I_R = I_S = I_T = I_L$). Die auf den Schirmen induzierte Spannung ist proportional zum Strom I_L sowie zur Länge der Leitung und weist eine Phasenverschiebung von 90° in bezug auf den Phasenstrom auf.

$$\vec{U}_i = j\omega \cdot l \cdot I_L \cdot M \qquad (1)$$

M Koeffizient der Gegeninduktion zwischen Leiter und Schirm [H/km]
ω $= 2\pi f$ wobei f = Frequenz
l Leitungslänge [km]
I_L Leiterstrom [A]

Verlegung der Kabel im Dreieck

Bei dieser Anordnung (Bild 2) sind die Gegeninduktionswerte M sämtlicher Phasen identisch. Die induzierte Spannung pro Kilometer beträgt:

$$\vec{U}_i = j\omega \cdot I_L \cdot 2 \cdot \ln\left(\frac{2S}{d_m}\right) \cdot 10^{-4} \text{ [V/km]} \qquad (2a)$$

Bei einer Frequenz von 50 Hz ergibt sich pro Kilometer eine induzierte Spannung von:

$$\overline{U}_i = 4\pi \cdot 50 \cdot I_L \cdot \ln\left(\frac{2S}{d_m}\right) \cdot 10^{-4} \text{ V/km} \qquad (2b)$$

Der Pfeil bzw. Strich über U_i weist darauf hin, dass es sich um eine auf 1 km be-

Adresse des Autors
Charles Wyler, Dipl. El.-Ing. ETH
Alcatel Cable Suisse SA, 2016 Cortaillod

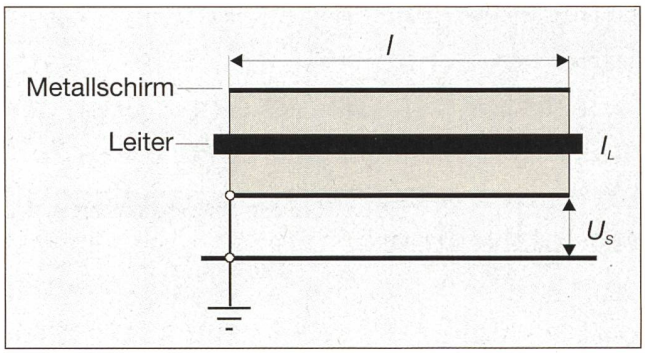


Bild 1 Schaltbild eines Kabels bei einseitiger Mantelerdung

zogene, komplexwertige bzw. absolutwertige Grösse handelt.

Verlegung der Kabel in einer Ebene

In diesem Fall (Bild 3) sind die Gegeninduktivitätswerte der beiden äusseren Kabel identisch, weichen aber vom Wert des mittleren Kabels ab. Demzufolge unterscheidet sich auch die Höhe der induzierten Spannung der beiden äusseren Kabel von derjenigen des in der Mitte liegenden Kabels:

$$\vec{U}_{iR} = \vec{U}_{iT} = j\omega \cdot I_L \cdot l \cdot 2 \cdot \cdot\left(-\frac{1}{2}\cdot\ln\frac{S}{d_m} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\ln\frac{4S}{d_m}\right)\cdot 10^{-4}\ \text{[V/km]} \quad (3a)$$

$$\vec{U}_{iS} = j\omega \cdot I_L \cdot l \cdot 2 \cdot \ln\left(\frac{S}{d_m}\right)\cdot 10^{-4}\ \text{[V/km]} \quad (3b)$$

Für l = 1 km und f = 50 Hz

$$\overline{U}_{iR} = \overline{U}_{iT} = 4\pi \cdot 50 \cdot I_L \cdot \sqrt{\left(-\frac{1}{2}\cdot\ln\frac{S}{d_m}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\ln\frac{4S}{d_m}\right)^2}\cdot 10^{-4}\ \text{V/km} \quad (4a)$$

$$\overline{U}_{iS} = 4\pi \cdot 50 \cdot I_L \cdot \ln\left(\frac{2S}{d_m}\right)\cdot 10^{-4}\ \text{V/km} \quad (4b)$$

Beispiel: Berechnung der induzierten Spannungen

- Kabel 20 kV, XKT, 1×150/35 mm²
- Mittlerer Metallschirmdurchmesser d_m = 28,5 mm
- Kabelaussendurchmesser D=34,4 mm

a) Kabel im Dreieck, berührend angeordnet

$S = D$ = 34,4 mm
I = 145 A (5 MVA)
Für l = 1 km

$$\overline{U}_{iRST} = 4\pi \cdot 50 \cdot 145 \cdot \ln\frac{2\cdot 34{,}4}{28{,}5}\cdot 10^{-4} = 8{,}03\ \text{V/km} \quad (5)$$

b) Kabel in einer Ebene, berührend angeordnet

$S = D$ = 34,4 mm
I = 145 A (5 MVA)
Für l = 1 km

$$\overline{U}_{iR} = \overline{U}_{iT} = 4\pi \cdot 50 \cdot 145 \cdot \sqrt{\left(-\frac{1}{2}\cdot\ln\frac{34{,}4}{28{,}5}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\ln\frac{4\cdot 34{,}4}{28{,}5}\right)^2}\cdot 10^{-4} = 12{,}45\ \text{V/km} \quad (6a)$$

$$\overline{U}_{iS} = 4\pi \cdot 50 \cdot 145 \cdot \ln\frac{2\cdot 34{,}4}{28{,}5}\cdot 10^{-4} = 8{,}03\ \text{V/km} \quad (6b)$$

Kabel mit beidseitiger Schirmerdung

Für diesen Fall bedient man sich des Ersatzschaltbildes von Bild 4:

Im Kreis Schirm–Erde wird ein Strom fliessen, welcher von der oben berechneten induzierten Spannung sowie von der Schirmimpedanz abhängt.

$$I_M = \frac{U_i}{Z_M} \quad (7a)$$

mit

$$Z_M = l \cdot \sqrt{(R_M)^2 + (\omega L_M)^2} \quad (7b)$$

mit
R_M als Schirmwiderstand bei Betriebstemperatur
L_M als Induktionskoeffizient des Mantels

Der Strom im Schirm beträgt dann

$$I_M = \frac{2\pi f \cdot M \cdot I_L}{\sqrt{R_M^2 + (\omega L_M)^2}} \quad (7c)$$

mit
R_M als Schirmwiderstand bei Betriebstemperatur
L_M als Induktionskoeffizient des Mantels

Da der Wert von ωL_M im Verhältnis zu R_M klein ist, kann der Wert $(\omega L_M)^2$ in einer ersten Annäherung vernachlässigt werden. Es ist zu bemerken, dass die Schirmströme unabhängig von der Kabellänge sind. Die Verluste in den Schirmen betragen demzufolge:

$$P_{tot} = P_R + P_S + P_T = \left(J_{MR}^2 + J_{MS}^2 + J_{MT}^2\right)\cdot R_M \quad (8)$$

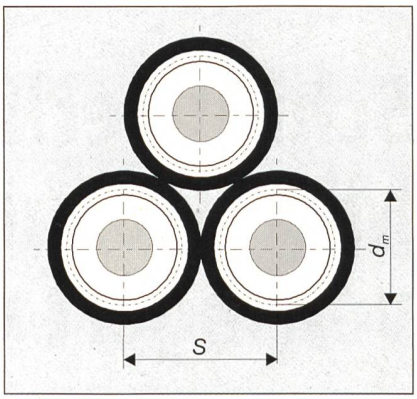


Bild 2 Kabel im Dreieck bündig verlegt
S Achsdistanz
d_m mittlerer Durchmesser des Metallschirmes

Beispiel:
Berechnung der Schirmströme

Kabel 20 kV, XKT, 1×150/35 mm², belastet mit 5 MVA

a) Kabel im Dreieck, berührend verlegt

- Induzierte Spannung: U_i = 8,03 V/km (siehe Beispiel 1)
- Schirmwiderstand bei 20 °C (35 mm²): R_M=0,524 Ω/km
- Schirmwiderstand bei Betriebstemperatur: $T \approx$ 30 °C
  $R_{M30°} = 0{,}524 \cdot (1 + 0{,}00393 \cdot 10)$
  $= 0{,}545\ \Omega/\text{km}$

Mit R_{M30}, $L_M = 1{,}73 \cdot 10^{-4}$ und $(\omega L_M)^2$ = 0,00295 ergibt sich:
$Z_M \approx 0{,}545\ \Omega/\text{km}$
Der Schirmstrom beträgt demzufolge:
J_M = 8,03/0,545 = 14,73 A.

Die totalen Schirmverluste eines Dreiphasensystems, das aus drei im Dreieck sich berührend verlegten Einleiterkabeln 1×150/35 mm² XKT besteht, betragen:

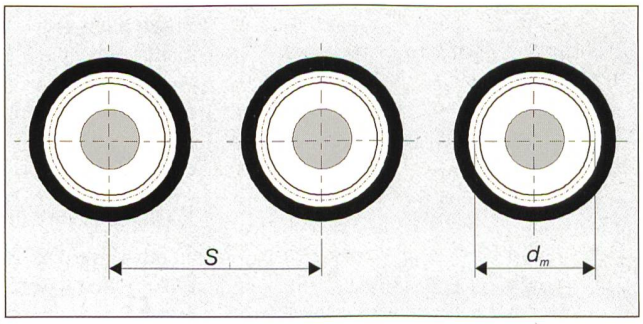


Bild 3 Kabel in flacher Anordnung verlegt

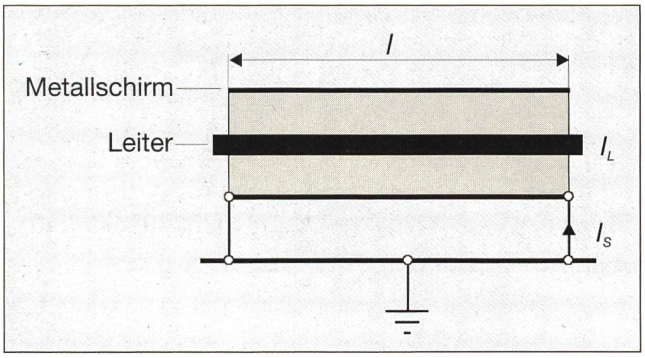


Bild 4 Schaltbild eines Kabels mit beidseitiger Mantelerdung

$P_T = 3\, J_M^2\, Z_M = 3 \cdot 14{,}73^2 \cdot 0{,}545$
$= 354$ W/km

b) Kabel in einer Ebene, berührend verlegt

- Induzierte Spannung: $U_{iR} = U_{iT}$ = 12,45 V/km
- U_{iS} = 8,03 V/km
- $R_{M30°}$ = 0,545 Ω/km

Schirmströme:

- $I_{MR} = I_{MT}$ =12,45/0,545 = 22,84 A
- I_{MS} = 8,03/0,545 = 14,73 A

Die totalen Schirmverluste eines Dreiphasensystems, das aus drei in einer Ebene berührend verlegten Einleiterkabeln 1×150/35 mm² XKT besteht, betragen:

$P_T = (2 \cdot 22{,}84^2 + 14{,}73^2) \cdot 0{,}545$
$= 687$ W/km

Der Unterschied der Mantelverluste zwischen einer berührenden Verlegung im Dreieck (gebündelte oder verseilte Einleiterkabel) und einer berührenden Verlegung in einer Ebene beträgt 333 W/km.

Der Wert der Schirmverluste bei 145 A in einem rohrverlegten Dreiphasensystem vom Kabel 20 kV, 1×150/35 mm² beträgt 354 W/km bei gebündelten oder verseilten Kabeln und im Maximum etwa 650 W/km bei ungebündelten, unverseilten, im Rohr verlegten Einleiterkabeln.

Möglichkeiten zur Verminderung der Schirmverluste

Es bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Reduktion oder zur Beseitigung von Schirmströmen:

- Anhebung der Impedanz des Kreises Schirm–Erde durch Erhöhung des Schirmwiderstandes oder durch Einbau eine erhöhten Impedanz in den Kreis.
- Da die drei Phasenspannungen um 120° verschoben auftreten, können mit speziellen Schirmverbindungen (Cross-Bonding-System) die induzierten Spannungen auf der ganzen Leitungslänge eliminiert werden.

Kabelschirm mit erhöhtem Widerstand

Eine Anhebung des Schirmwiderstandes durch Verminderung des Schirmquerschnittes beeinflusst die induzierte Spannung nur geringfügig. Hingegen steigt dabei die Schirmimpedanz, was zur Reduktion von Strom und Verlusten führt:

Für: $R_{M2} > R_{M1}$ ist
$U_{M1} = U_{M2}$, $I_{M2} < I_{M1}$, $P_2 << P_1$

Es ist an dieser Stelle zu bemerken, dass der Metallschirm im Erdschlussfall in Netzen mit isoliertem Sternpunkt sowie bei gelöschten Netzen länger dauernden Strombelastungen standhalten muss, während der Schirm in starr geerdeten Netzen hohe Kurzschlussströme zu ertragen hat. Da die eidgenössischen Vorschriften und Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden müssen, können die Schirmquerschnitte nicht beliebig reduziert werden.

Einbau einer Impedanz in den Erdungskreis

Anstelle einer Verminderung des Schirmquerschnittes kann auch eine Impedanz in den Kreis eingebaut werden. Dies erlaubt praktisch eine Unterdrückung der Schirmströme. Bei sehr hoher Impedanz fliesst kein Schirmstrom mehr.

$$I = U_i / (Z_M + Z_l) \qquad (9)$$

Wenn $Z_l \approx \infty$, tendieren Strom und Verluste gegen Null. Im allgemeinen wird diese Zusatzimpedanz am Ende der Leitung eingefügt (Bild 5).

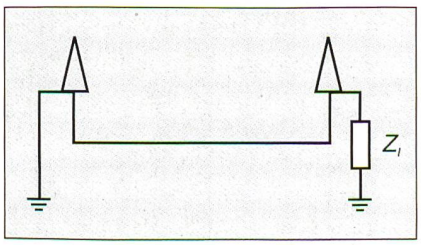


Bild 5 Einbau einer Zusatzimpedanz im Erdungskreis

Als Zusatzimpedanz bieten sich folgende zwei Möglichkeiten an:

1. Die eingefügte Impedanz besteht aus einem Überspannungsableiter.
2. Die eingefügte Impedanz besteht aus einem hohen Widerstand.

Der Überspannungsableiter muss derart dimensioniert sein, dass er im Kurzschlussfall nicht anspricht. Die bei diesem Störfall auftretenden Leistungen würden den Überspannungsableiter zerstören. Der Ableiter muss andererseits die Schirmspannungen auf einen Wert begrenzen, welcher unterhalb der Haltespannung von über dem Schirm angebrachten Isolationen liegt.

Mit einem ins System eingefügten hohen Widerstand wird im Prinzip derselbe Effekt wie mit einem Überspannungsableiter erreicht. Es ist allerdings zu bemerken, dass der Ableiter beim Ansprechen zum Leiter wird, während ein Widerstand unverändert bleibt und demzufolge die Schirmspannung nicht begrenzt. Der Widerstand muss hohen Längsspannungen gewachsen sein, welche zum Teil die dielektrische Festigkeit der Aussenmäntel übersteigen können. Diese Lösung entspricht in etwa der elektrischen Beanspruchung bei einseitiger Schirmerdung ohne Einsatz eines Überspannungsableiters.

Installation eines Cross-Bonding-Systems

Diese Methode besteht darin, dass die Leitung in drei gleich lange Abschnitte unterteilt, mit längsisolierten Muffen ausgerüstet und die Kabel an den Muffenstellen ausgekreuzt werden. Das entsprechende Schema ist in Bild 6 angegeben.

Bei gerade durchverbundenen Schirmen und ausgekreuzten Leitern stellen sich auf den drei Streckenabschnitten identische und um 120° phasenverschobene induzierte Spannungen ein. Die Summe der Vektoren dieser Spannungen beträgt Null, somit fliesst kein Strom in den Schirmen. Eine solche Anordnung bedingt eine Aufteilung des Kabels in drei Teile gleicher Länge, ist relativ kompliziert und teuer und wird normalerweise nur für Spezialfälle eingesetzt. Obwohl technisch sehr interessant, wird diese Lösung bei 20-kV-Netzkabeln meistens nicht eingesetzt.

Wirtschaftlicher Nutzen

Bei einigen Netzkonfigurationen ist eine Senkung der Schirmverluste durchaus möglich. Eine einseitige Schirmerdung erlaubt die vollständige Unterdrückung der Schirmverluste, was aus

Kostensicht zwar interessant ist, wobei jedoch zu beachten ist, dass die Netzerdung erhebliche Zusatzinvestitionen bedingen kann. Wegen ihrer Nachteile wird diese seit mehr als 20 Jahren bekannte Methode nur in Spezialfällen angewendet, hauptsächlich um die Verschleppung von Überspannungen, hervorgerufen durch Erdschlüsse, aus Unterstationen mit höheren Spannungen zu verhindern.

Die durch eine Reduktion des Schirmquerschnittes zu erzielenden Einsparungen in bezug auf die Schirmverluste scheinen in absoluten Werten betrachtet recht bedeutend. In der Tat betragen die Einsparungen aber nur einige wenige Prozente der kapitalisierten Totalverluste. Diese Lösung ist nicht besonders empfehlenswert, da sie ein gewisses Sicherheitsrisiko darstellt und da zudem die Gefahr einer Zerstörung des Aussenmantels infolge Überhitzung längs der Leitung besteht.

Bei der Verlustkostenrechnung sollte von den effektiven Strömen ausgegangen werden, welche bei Normalbetrieb des Netzes auftreten. Aus Redundanzgründen sowie wegen allfälliger Spitzenlasten werden Kabel im Normalbetrieb meistens nur mit 20 bis 50% ihrer thermischen Kapazität belastet. Hochlastphasen im Falle von speziellen Netzschaltungen sind meist nur von kurzer Dauer und sollen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht in Betracht gezogen werden. Die nachfolgende Studie vergleicht den wirtschaftlichen Nutzen der verschiedenen beschriebenen Schirmbehandlungsmethoden am Beispiel eines gängigen rohrverlegten Mittelspannungskabels mit einem Leiterquerschnitt von 240 mm².

Reduktion der Verlustkosten mittels Erhöhung des Schirmwiderstandes

Dieses Verfahren lässt sich nur anwenden, wenn die zu erwartenden Schirmströme dies erlauben.

Beispiel:

Kabel mit 240 mm² Kupferleiter, 20 kV

Aa Einleiterkabel berührend, Schirm: 35 mm² Cu

Ab Einleiterkabel gebündelt oder Dreileiterkabel, Schirm: 35 mm² Cu

B Dreileiterkabel, Schirm: 24 mm² Al

Betriebsbedingungen

- Kabel führen einen mittleren Strom von 150 A, entsprechend einer normalen Netzbelastung.
- Kabel führen einen mittleren Strom von 250 A, entsprechend einem stark belasteten Netz.

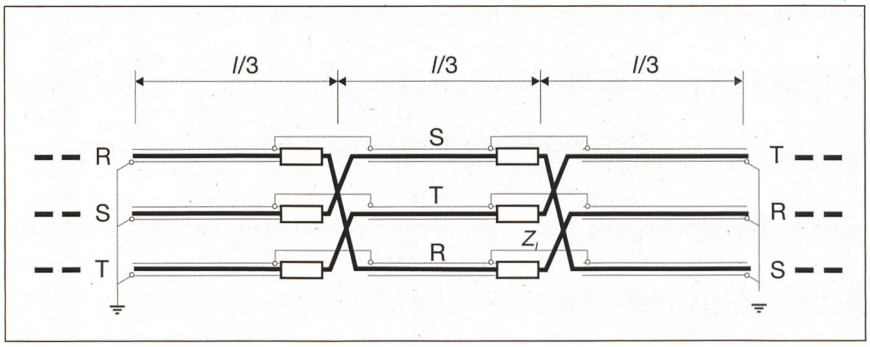


Bild 6 Typische Cross-Bonding-Anordnung

Verlegebedingungen

- Ein Dreileiterkabel oder drei Einleiterkabel gemeinsam in einem Kabelschutzrohr, ∅ 120 mm, verlegt
- Betriebstemperatur für $T_{Umg.} = 20\,°C$
- R_{th} Boden 1,0 °C·m/W
- $I = 150$ und 250 A
- $LF = 1{,}0^*$
- Bei 150 A: $T_L \approx 26{,}3$ °C
  $T_M \approx 25{,}7$ °C
- Bei 250 A: $T_L \approx 37{,}6$ °C
  $T_M \approx 36{,}0$ °C
  (Berechnung gemäss IEC 287)

Betriebswiderstände der Schirme

150 A

Kabel A: $R_M = 0{,}537\ \Omega$/km

Kabel B: $R_M = 1{,}22\ \Omega$/km

250 A

Kabel A: $R_M = 0{,}557\ \Omega$/km

Kabel B: $R_M = 1{,}33\ \Omega$/km

Berechnung der Schirmspannungen

Für drei Einleiterkabel, berührend in das Schutzrohr eingezogen, kann der geometrische Mittelwert der Achsenabstände eingesetzt werden (Bild 7).

$$A_m = \sqrt[3]{38{,}8 \cdot 38{,}8 \cdot 67{,}7} = 46{,}7\,\text{mm} \qquad (10)$$

$$\overline{U}_i/I_L = 4\pi \cdot 50 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 46{,}7}{32{,}5}\right) \cdot 10^{-4} \qquad (11)$$

$= 0{,}06633$ V/Akm

Im Dreieck gebündelte Einleiterkabel oder Dreileiterkabel mit Kupferschirm (Ab) oder Aluminiumschirm (B) weisen identische induzierte Spannungen auf.

$$\overline{U}_i/I_L = 4\pi \cdot 50 \cdot \ln\frac{2 \cdot 38{,}8}{32{,}5} \cdot 10^{-4} \qquad (12)$$

$= 0{,}05468$ V/Akm

U_i bei 150 A

Aa = 0,06633 · 150 = 9,94 V/km

Ab = 0,05468 · 150 = 8,20 V/km

U_i bei 250 A

Aa = 0,06633 · 250 = 16,58 V/km

Ab = 0,05468 · 250 = 13,67 V/km

* Verlustleistung, LF=1 entspricht Dauerlast.

Berechnung der Schirmverluste

$$P_M = 3 \cdot \frac{U_i^2}{R_M} \qquad (13)$$

150 A

Kabel Aa: $3 \cdot (9{,}94)^2/(0{,}537) = 552$ W/km

Kabel Ab: $3 \cdot (8{,}2)^2/(0{,}537) = 376$ W/km

250 A

Kabel Aa:

$3 \cdot (16{,}58)^2/(0{,}557) = 1481$ W/km

Kabel Ab:

$3 \cdot (13{,}67)^2/(0{,}557) = 1006$ W/km

150 A

Kabel B: $3 \cdot (8{,}2)^2/(1{,}22) = 165$ W/km

Kabel B: $3 \cdot (13{,}67)^2/(1{,}33) = 421$ W/km

Die Totalverluste betragen (IEC 287):

150 A

Kabel Aa: $P_T = 5{,}92$ kW/km

Kabel Ab: $P_T = 5{,}74$ kW/km

250 A

Kabel Aa: $P_T = 16{,}99$ kW/km

Kabel Ab: $P_T = 16{,}51$ kW/km

150 A

Kabel B: $P_T = 5{,}53$ kW/km

250 A

Kabel B: $P_T = 15{,}93$ kW/km

Gewinn des erhöhten Schirmwiderstandes in bezug auf die Totalverluste:

150 A ⇒ Kabel Aa: 6,5 %
Kabel Ab: 3,7 %

250 A ⇒ Kabel Aa: 6,2 %
Kabel Ab: 3,5 %

Gewinn berechnet auf 1 Jahr

Energiepreis 0,10 Fr./kWh

150 A

Kabel Aa: 8760×0,1×(0,552−0,165) = 339 Fr./km

Kabel Ab: 8760×0,1×(0,376−0,165) = 185 Fr./km

250 A

Kabel Aa: 8760×0,1×(1,481−0,421) = 928 Fr./km

Kabel Ab: 8760×0,1×(1,006−0,421) = 512 Fr./km

Reduktion der Verlustkosten durch Einbau einer Impedanz

In diesem Fall fällt der Gewinn höher aus, da die Verluste in den Schirmen praktisch gänzlich vermieden werden können. Der Gewinn bezogen auf die Totalverluste beträgt in diesem Fall:

150 A ⇒ Kabel Aa: 9,3 %
Kabel Ab: 6,5 %

250 A ⇒ Kabel Aa: 8,7 %
Kabel Ab: 6,1 %

150 A ⇒ Kabel B: 3,0 %

250 A ⇒ Kabel B: 2,6 %

Gewinn berechnet auf 1 Jahr
Energiepreis 0,10 Fr./km

150 A ⇒ Kabel Aa: 483 Fr./km·Jahr
Kabel Ab: 329 Fr./km·Jahr

250 A ⇒ Kabel Aa: 1297 Fr./km·Jahr
Kabel Ab: 881 Fr./km·Jahr

150 A ⇒ Kabel B: 145 Fr./km·Jahr

250 A ⇒ Kabel B: 369 Fr./km·Jahr

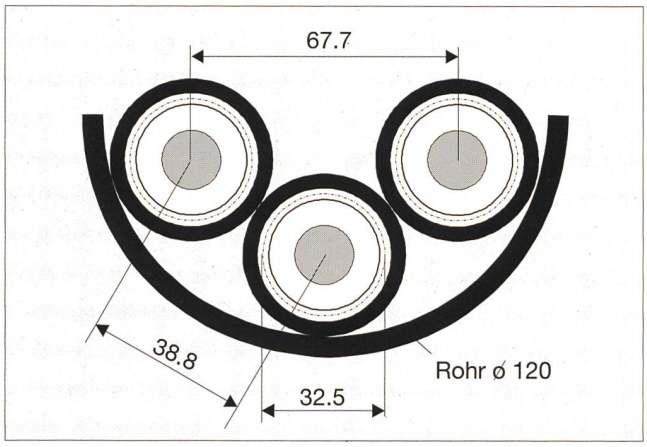
Bemerkung

Es ist selbstverständlich, dass sich die Gewinne, welche aus einer Verminderung des Schirmquerschnittes und aus der einseitigen Schirmerdung resultieren, nicht kumulieren lassen.

Folgerungen

Die zu erzielenden Gewinne, berechnet auf 1 Jahr, bleiben relativ bescheiden. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Kabel (Typ A) mit beidseitiger Schirmerdung, welche aus betrieblicher Sicht die einfachste und sicherste Lösung darstellt, weisen alle anderen Varianten bei bestimmten Netzkonfigurationen Nachteile auf.

Bild 7 Ungebündelte Kabel in Rohr



Kabel mit hohem Schirmwiderstand bzw. geringem Schirmquerschnitt

Der im Schirm zirkulierende Strom kann im Störungsfalle eine thermische Überlastung bewirken, was im Extremfall bis zur Zerstörung des Kabels führt. Dieses Risiko besteht sowohl bei einseitiger wie bei beidseitiger Schirmerdung. Bei beidseitiger Erdung trägt ein Kabel mit schwachem Schirmquerschnitt weniger zur Erdverbindung bei als ein konventionelles Kabel.

Erdung über eine Impedanz

Bei beiden geschilderten Methoden trägt der Kabelschirm nichts zur Netzerdung bei. Da keine durchgehende Erdverbindung besteht, ist der Schirm auch nicht in der Lage, den Einfluss auf benachbarte, parallel liegende Nachrichtenleitungen zu vermindern. Diese Nachteile lassen sich zum Teil durch die Verlegung eines Erdleiters (parallel zu den Mittelspannungskabeln) ausgleichen, dessen Querschnitt der Summe der Schirmquerschnitte entspricht.

Erdung mittels Überspannungsableiter: Diese Methode erlaubt die Unterdrückung der Schirmverluste und garantiert, dass die Überspannungen auf den Schirmen keine unzulässigen Werte erreichen.

Erdung mittels Widerstand: In bezug auf Überspannungen ist diese Lösung mit der einseitigen Schirmerdung ohne Zuhilfenahme von Überspannungsableitern zu vergleichen. Die in den Schirmen induzierte Spannung wird nicht begrenzt. Hingegen werden durch den Einbau eines Widerstandes die Berührungsspannungen, dank der Möglichkeit zur Erdung der Schirme beiderseits des Widerstandes, eliminiert (Personenschutz).

			SCHIRMERDUNGSSYSTEM				
Var.	Kabeltyp		①	②	③	④	⑤
				mit Überspannungsableiter	mit Widerstand	mit Überspannungsableiter + Leiter 120 mm²	mit Widerstand + Leiter 120 mm²
A	XKT berührend (Schirm 35 mm² Cu)	Fr./Jahr	9'285.–	9'035.–	8'999.–	9'550.–	9'514.–
B	XKT gebündelt (Schirm 35 mm² Cu)	Fr./Jahr	9'175.–	9'035.–	8'999.–	9'550.–	9'514.–
C	XKT-YT (Schirm 35 mm² Cu)	Fr./Jahr	9'578.–	9'439.–	9'403.–	9'954.–	9'918.–
D	XDMZ (Schirm 24 mm² Al)	Fr./Jahr	9'449.–	9'439.–	9'403.–	9'954.–	9'918.–
A	XKT berührend	%	96,9	94,3	94,0	99,7	99,3
B	XKT gebündelt	%	95,8	94,3	94,0	99,7	99,3
C	XKT-YT	%	**100**	98,5	98,2	103,9	103,5
D	XDMZ	%	98,7	98,5	98,2	103,9	103,5

Tabelle I Länge = 700 m, Kabel 20 kV, 3×1×240 mm², Last = 150 A

Von allen untersuchten Fällen erweist sich der Einsatz von drei Einleiterkabeln als die wirtschaftlichste Lösung. In bezug auf die Jahreskosten ergeben sich nur geringe Unterschiede, die technischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Lösungen stehen somit im Vordergrund.

Zusammenstellung der Jahreskosten für die verschiedenen Lösungen

Die Berechnungen basieren auf einer Kabelverbindung mit einem Leiterquerschnitt von 240 mm², belastet mit 150 A und von einer Länge von 700 m.

Variante A
Einleiterkabel XKT
240 mm² Cu rm 35 Cu berührend

Variante B
Einleiterkabel XKT
240 mm² Cu rm 35 Cu im Dreieck gebündelt

Variante C
Dreileiterkabel XKT-YT
240 mm² Cu rm 35 Cu

Variante D
Dreileiterkabel XDMZ
240 mm² Cu rm 24 Al

Bedingungen:
Kabelpreise (November 1996)
– XKT: Fr. 3320.–/100 m
– XKT-YT: Fr. 10 800.–/100 m
– XDMZ: Fr. 10 800.–/100 m
Energiepreis: Fr. 0,10/kWh
Amortisation: 30 Jahre
Lebensdauer der Anlage: 30 Jahre
Zinssatz: 5 %

Investitionskosten (ohne Tiefbauarbeiten, L = 700 m)
Kabel XKT
Material: 700 (3×Fr. 33.20/m)
Montage: Fr. 3500.–

Kabel XKT-YT oder XDMZ
Material: 700×Fr. 108.–/m
Montage: Fr. 3000.–

Endverschluss
Material: 6×Fr. 221.–
Montage: Fr. 800 .–

Überspannungsableiter MVR 3.0
Material: 3×Fr. 330.–
Montage: Fr. 250.–

Widerstand
Material: 3×Fr. 120.–
Montage: Fr. 400.–

Kabel 120 mm² Typ G
Material: 700×Fr. 9.10/m
Montage: Fr. 500.–

Die Jahreskosten werden mittels folgender Formel berechnet:

$$K_G = \frac{K_D(T + T_k)}{100} \qquad (14)$$

mit

K_D Investitionskosten
T 6,505%
T_k Unterhaltskosten: 1%

Verlustkosten bei beidseitiger Erdung

Variante A
Verluste: 5,92 kW/km
Jahreskosten: Fr. 3630.–/Jahr

Varianten B+C
Verluste: 5,74 kW/km
Jahreskosten: Fr. 3520.–/Jahr

Variante D
Verluste: 5,53 kW/km
Jahreskosten: Fr. 3391.–/Jahr

Verlustkosten bei einseitiger Erdung
Alle Varianten
Verluste: 5,36 kW/km
Jahreskosten: Fr. 3287.–/Jahr

Pertes dans les gaines des câbles moyenne tension

Les gaines des câbles moyenne tension sont soumis à un champ électromagnétique provoqué par les courants de phase. Une tension en cas de mise à terre en un point ou un courant en cas de double mise à terre sera donc induit dans les écrans métalliques. L'auteur définit les paramètres et les méthodes de calcul permettant pour différents types de câble et modes de pose de déterminer la valeur des tensions induites ou les courants de circulation ainsi que les pertes engendrées dans les gaines métalliques. Les différentes possibilités de réduire ces pertes sont présentées et l'impact économique est analysé sur la base d'exemples concrets. L'étude montre que l'influence sur les coûts annuels reste très modeste et que la diminution ou la suppression des courants de gaine peut présenter certains inconvénients sur la fiabilité et la sécurité.

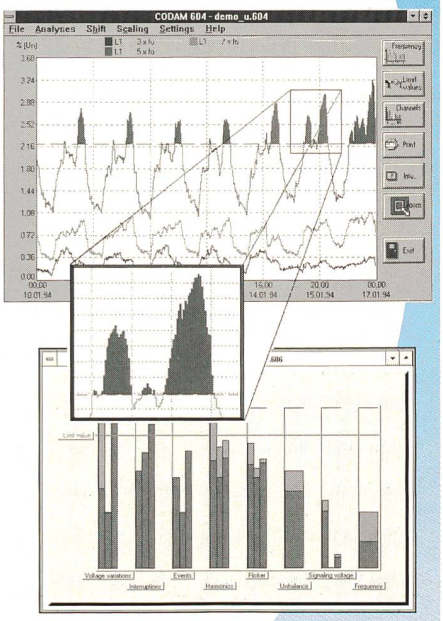
Der SEV auf dem Internet:
http://www.sev.ch

MEMOBOX 686

Das ideale Werkzeug zur Beurteilung Ihrer Spannungsqualität

MEMOBOX 686
erfasst:

- Spannungsänderungen
- Unterbrechungen
- Ereignisse
- Oberschwingungen
- Zwischenharmonische
- Flicker
- Unsymmetrie
- Signalspannungen
- Netzfrequenz



Software-Erweiterung
ANALYSIS PLUS zu CODAM 686
für aussagekräftige Details-
auswertung, bereits ab
Fr. 350.–.

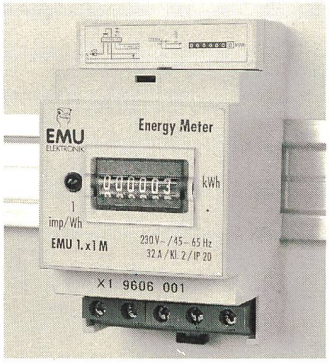
LEM ELMES AG
Bahnhofstrasse 15
8808 Pfäffikon SZ
Tel. 055/415 75 75
Fax 055/415 75 55

LEM

Mit uns können Sie rechnen

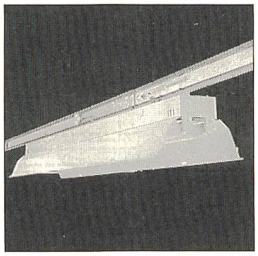
Einphasiger Energie-Zähler EMU 1.x1M

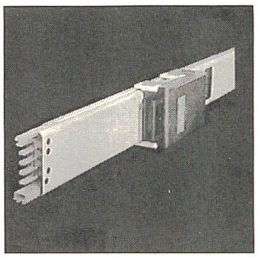
- 7-stellige Anzeige 000000.0 kWh (mechanisch)
- I max.: 32 A
- UN: 230 V (176–276 V)
- Frequenz: 45–65 Hz
- Eigenverbrauch: 0,6 W
- Festmengen-Impulsausgang Klemmen und Optisch (LED) 1 imp/Wh
- Genauigkeit: Kl. 2
- Auf Anfrage: Amtliche Zulassung
- Aufschnappbar auf Hutschiene DIN EN50022-35
- Gewicht: 125 g



EMU Elektronik AG
Gewerbestrasse 5a
CH-6314 Unterägeri
Tel. +41 (0)41 750 30 79
Fax +41 (0)41 750 15 88

EMU ELEKTRONIK





LANZ Beleuchtungs- und Verteil-Stromschienen 25–900 A

Für die preisgünstige Lampenmontage und für die unkomplizierte, änder- und erweiterbare Stromanschlussmöglichkeit der Geräte, Apparate und Maschinen in Fabrikationsräumen, Fertigungsstrassen, Versuchslokalen, Labors, Garagen, Lager- und Speditionshallen, Sportanlagen, Supermärkten etc. Einfach montierbar. Montagematerial, Anschluss- und Abgangskästen werden mitgliefert.
Verlangen Sie Beratung und Offerte vom Spezialisten
lanz oensingen 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24

Bitte senden Sie Unterlagen:

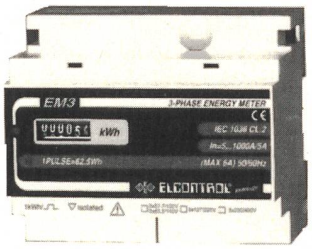
- ☐ Beleuchtungs- und Verteil-Stromschienen 25–900 A
- ☐ LANZ G-Kanäle und kleine Gitterbahnen
- ☐ LANZ BETOBAR Stromschienen 380–6000 A
- ☐ LANZ Kabelträger aus galv. Stahl/Inox/Polyester
- ☐ LANZ Doppelböden für Büros/techn. Räume
- ☐ LANZ Brüstungskanäle
- ☐ LANZ UP/AP-Dosen
- ☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name/Adresse/Tel.: _____

23

lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen · Telefon 062 388 21 21

EM3 kWh-Zähler



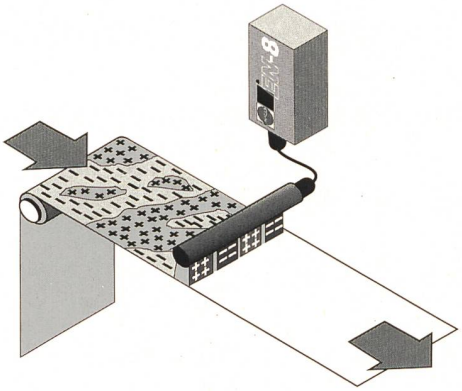
Die kleinen, statischen Zähler registrieren den Verbrauch an elektrischer Energie in 1phasigen oder 3phasigen, symmetrisch oder unsymmetrisch belasteten, Netzen. Ausführungen ohne oder mit kWh-Impulsrelais. Wert immer 1 kWh, für Doppeltarif und solche mit 2-fach Zähler (kWh + kVarh) lieferbar.

detron ag

Industrieautomation - Zürcherstrasse 25 - CH4332 Stein
Telefon 062-873 16 73 Telefax 062-873 22 10

HAUG SWISS MADE

HAUG-Ionisationssysteme beseitigen störende statische Elektrizität.



Statische Aufladungen führen in vielen Fertigungsprozessen zu Störungen. HAUG-Ionisationssysteme lösen dieses Problem bei der Folien- und Papierverarbeitung sowie in der Textil- und Kunststoffindustrie.

HAUG BIEL AG
Johann-Renfer-Strasse 60 • Postfach 52 • CH-2500 Biel-Bienne 6
Telefon 032/341 67 67-68 • Telefax 032/341 20 43

Ingenieurschule Burgdorf

ISB

Nachdiplomstudium
Energietechnik

Pestalozzistr. 20
3400 Burgdorf
Telefon 034 426 43 70
Telefon 034 426 41 41
Telefax 034 426 43 93

Interessiert Sie

Energietechnik ?

Dann interessiert Sie auch das

Nachdiplomstudium Energietechnik

Mehr Energiekompetenz für Ingenieure und Architekten als

→ Energie-Ingenieur
→ Projektleiter
→ Betriebsleiter

Das einjährige Vollzeit-Studium bietet:

- ✓ umfassendes, technisches Fachwissen
  - ✓ naturwissenschaftliche Denkweise
- ✓ ökologische Sensibilität
  - ✓ betriebswirtschaftliche Kompetenz
- ✓ effizientes Projektmanagement

Das Studium ist in vier abgeschlossene Quartale unterteilt. Studienbeginn ist Mitte April. Weitere Informationen und Anmeldeformulare senden wir Ihnen gerne zu.

Rufen Sie doch einfach an! ☎ 034 426 43 70