



(11) **EP 2 259 271 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.12.2010 Patentblatt 2010/49

(51) Int Cl.:
H01B 7/30^(2006.01) H01B 9/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10005479.0**

(22) Anmeldetag: **27.05.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME RS

(71) Anmelder: **nkt cables GmbH**
51063 Köln (DE)

(72) Erfinder: **May, Hans-Peter**
51467 Bergisch-Gladbach (DE)

(30) Priorität: **06.06.2009 DE 102009024149**
30.01.2010 DE 102010006352

(54) **Hochspannungsdrehstromsystem und einadrige Drehstromkabel mit Schirmung für das System**

(57) Es wird eine Einleiterkabel-Konstruktion für ein Hochspannungsdrehstromsystem in Einebenenordnung vorgestellt. Das Kabel weist einen vergrößerten Querschnitt des Metallschirms 20 in der Größenordnung des Querschnitts des Leiters 12 sowie eine hochpermeable Schicht 22 oberhalb dieses Metallschirms 20 auf. Mit diesem Kabeltyp lassen sich - unabhängig vom Atemabstand der Kabel - extrem hohe Schirmungsfaktoren erzielen, mit denen alle denkbaren Auflagen zur Magnetfeldbeschränkung erfüllt werden können. Damit wird der

Einsatz eines solchen Kabels im Falle extremer Magnetfeldrestriktionen interessant und ist hierbei anderen Lösungen, wie Schirmungen mit Stahlrohren oder Stahlkanälen, überlegen. Zudem bietet das Einleiterkabel in Bereichen, in denen das Führen der Kabel in einem Stahlrohr zwingend ist - wie beispielsweise beim Unterqueren von Bahn-Anlagen - eine Möglichkeit, die einzelne Kabelader in einem Stahlrohr zu verlegen, was ohne diese Konstruktion aufgrund der dann extremen Stromwärmeverluste unzulässig ist.

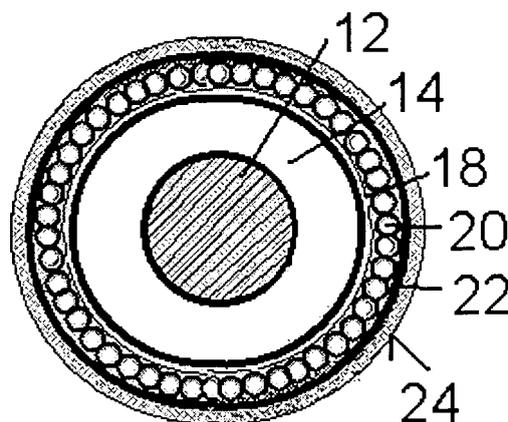


Fig. 1A

EP 2 259 271 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Hochspannungsdrehstromsystem in Einebenenanordnung und einadrige Elektrokabel mit integrierter elektromagnetischer Schirmung für das Hochspannungsdrehstromsystem.

[0002] Zur Verringerung des äußeren Magnetfeldes von Drehstromkabeln bei 50 oder 60 Hz können unterschiedliche Schirmungsmaßnahmen zum Einsatz kommen. Eine zusammenfassende Darstellung von Maßnahmen wurde unlängst von CIGRE (Paris, 2008) veröffentlicht: CIGRE TF C4.204; "Mitigation techniques of power-frequency magnetic fields originated from electric power systems", technical brochure. Je nach gestellter Anforderung können solche Maßnahmen mit verhältnismäßig geringem Aufwand durchgeführt werden, wie z.B. der Einsatz von Kompensationsleitern (z.B. P. Maioli, E. Zaccone, "Passive Loops Technique for Electromagnetic Field Mitigation, Applications and Theoretical Considerations" in Jicable-Conf. 2007, Versailles, pp. 231-236). Teilweise ist der Aufwand aber auch als erheblich zu bezeichnen - wie bei der Schirmung der Kabel mit einem Stahlrohr oder in einem Stahlkasten (WO 2004/034539; EP 1598911 A1) - und mit nachteiligen Auswirkungen auf Zusatzverluste und Strombelastbarkeit verbunden.

[0003] Es ist schon vorgeschlagen worden, ein flexibles Kabel mit einem aus einem Geflecht gebildeten Kupfer-Schirm zu versehen, wobei - zum Zwecke magnetischer Abschirmung - in das Geflecht Teilchen hoher Permeabilität eingepresst oder die Teilchen mit dem Geflecht verklebt sind (DE 19807527 A1). Die Konstruktion ist besonders für Schleppkettenleitungen gedacht, da die Flexibilität der Leitung im Vordergrund steht. Eine quantitative Abschätzung der Abschirmwirkung ist in dem Dokument nicht dargelegt. Weiterhin sind andere Anordnungen zur magnetischen Abschirmung unter Verwendung von Folien oder Bändern aus Material mit hoher Permeabilität bekannt. Beispielsweise wird ein Dreileiterkabel in einem Rohr geführt, welches mit dem genannten Material ausgekleidet ist (WO03-003382 A1). Eine andere Konstruktion besteht darin, die Adern eines Dreileiterkabels unmittelbar mit einer Hülle eines Materials mit hoher Permeabilität zu versehen (DE 102006013553 B3). Die genannten Konstruktionen haben den Nachteil, dass entweder die Übertragungsleistung des Kabels begrenzt ist und/oder hohe elektrische Zusatzverluste vorhanden sind.

[0004] Es ist für den Fall sehr hoher Anforderungen an die magnetische Abschirmung einer Starkstrom-Kabelanlage die Aufgabe der Erfindung, eine Anlagenvariante vorzulegen, bei der eine hochwirksame elektromagnetische Schirmung in die Konstruktion integriert ist, deren Verlustbeitrag stark gemindert ist, bei gleichbleibend wirksamer magnetischer Abschirmung.

[0005] Die Lösung der Aufgabe findet sich in den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in Unteransprüchen formuliert.

[0006] Die erfindungsgemäße Konstruktion zur Verminderung des elektrischen Verlustbeitrags im Metallschirm eines Einleiterkabels besteht darin, dass statt eines Kabelschirms mit 'üblichem' Querschnitt ein wesentlich größerer Querschnitt, vorzugsweise aus gut elektrisch leitfähigem Material für den Metallschirm gewählt ist, somit der Leitwert des Kabelschirms gegenüber den sonst in Kabeln üblichen Werten vergrößert ist, wobei die Metallschirme an ihren Enden Kontaktmittel aufweisen zum Kontaktieren der Metallschirme untereinander. Mit einem Metallschirm, der gegenüber üblichen Kabeln einen vergrößerten elektrischen Leitwert hat, sind Schirmströme induzierbar, die im Grenzfall in Höhe des Kabelleiterstroms liegen. Eine obere Grenze liefert allenfalls die technisch bedingte Grenze der Strombelastbarkeit der Kabel.

[0007] Der Metallschirm ist radial über dem Einleiterkabel angeordnet und hat einen entsprechenden elektrischen Leitwert oder einen entsprechenden Leiterquerschnitt, so dass Schirmströme in der genannten Größenordnung induzierbar sind. Somit kann anstelle des als erfinderisches Merkmal genannten elektrischen Leitwerts ebenso der Metallschirmquerschnitt betrachtet werden. Leitwert und Leiterquerschnitt sind proportionale physikalische Größen. Äquivalent sind also Aussagen, in denen entweder von vergrößertem Schirmquerschnitt oder von vergrößertem Leitwert des Metallschirms gesprochen wird.

[0008] Der Metallschirm kann auch in Form einer Armierung ausgebildet sein. Als Material für den Metallschirm kommen Stromleitermetalle wie Kupfer oder Aluminium infrage. Der Metallschirm kann kontaktiert werden - entweder innen oder außen - mit einer als Folie oder Bandwicklung ausgebildeten metallischen Kontaktschicht, vorzugsweise aus Aluminium. Die Kontaktschicht dient einerseits als ein die Leitfähigkeit zwischen den Elementen des Metallschirms ausgleichender Querverbinder und andererseits als Wasserdampfsperre.

[0009] Je nach wirtschaftlichen Aspekten oder nach Anforderungen aus Vorschriften zu magnetischen Abschirmungen kann jeweils eine Wahl eher an der Obergrenze oder eher an der Untergrenze des genannten Bereichs des Metallschirms vorgenommen werden. So ergeben sich beispielsweise durch Austausch von im Preis teuren Leitermetallen gegen preisgünstige Metalle (z.B. Kupfer gegen Aluminium) Querschnittsunterschiede um den Faktor 1,6, was dem Unterschied der Leitfähigkeiten der beiden Metalle entspricht. Die Verwendung eines Materials mit hoher elektrischer Leitfähigkeit würde die Masse des Metallschirms begrenzen.

[0010] Als Ergänzung oder besondere Ausführungsform der Erfindung werden folgende Einzelheiten aufgeführt. Diese Einzelheiten können einzeln oder gemeinsam verwirklicht sein.

[0011] Der elektrische Leitwert des Metallschirms kann im Bereich 80 % bis 150 % des elektrischen Leitwerts des Kabelleiters liegen. Der elektrische Leitwert des Metallschirms kann auch gleich dem elektrischen Leitwert des Kabel-

leiters gewählt werden.

[0012] Der Metallschirm kann dabei aus metallischen Einzel-Drähten oder aus einer Metallschicht bestehen, wobei ein Schichtaufbau als Rohr gebildet wird. Die einen Metallschirm bildenden Einzel-Drähte können mit Schlag aufgebracht sein oder aus einem Geflecht der Einzel-Drähten bestehen.

[0013] Auf der Kunststoffisolierung eines jeden Einleiterkabels kann der Metallschirm mit erhöhtem Leitwert als Armierung angeordnet sein, oder es kann der Metallschirm auf einem Trägerrohr angeordnet sein, in welches jeweils ein Einleiterkabel mit Kunststoffisolierung eingezogen ist. Eine Trägerrohrkonstruktion könnte etwa folgende Dimensionierung haben: Durchmesser eines Rohrs aus Kunststoff ca. 25 cm zum Einziehen einer Kabelader; Ausbildung des Metallschirms aus Aluminium entweder als Drahtgeflecht oder als zylindrische Schicht auf dem Rohr mit einer Dicke, die den Leiterquerschnitt des Kabelleiters (zum Beispiel 2500 mm² Aluminium) deutlich übersteigt (Querschnitt je nach angestrebter Verlustbeitragsminderung 3000 bis 4000 mm² Aluminium).

[0014] Das Prinzip der ferromagnetischen Schirmung beim Ausführungsbeispiel Trägerrohr besteht hier aus einem Kunststoffrohr zum Verlegen oder Einziehen von Drehstrom-Kabeladern mit einer leitenden Schicht (auch Armierung) großen Querschnitts und mit darüber liegendem magnetisch permeablen, vorzugsweise hochpermeablem Material. Es lassen sich extrem hohe Schirmungsfaktoren erzielen, mit denen auch besonders strenge Auflagen zur Magnetfeldbeschränkung erfüllt werden können.

[0015] Der erfindungsgemäß ausgebildete Metallschirm ist mit einer hochpermeablen Bebänderung lückenlos umwickelt. Für die Bebänderung wird bevorzugt eingesetzt: überlappend gewickelte, dünne Bänder aus einem Spezialstahl, die eine relative Permeabilität von einigen 10.000 aufweisen. Diese Bänder zeichnen sich neben ihrer hohen magnetischen Schirmwirkung durch geringe Wirbelstrom- und Ummagnetisierungsverluste aus. Die Bebänderung sollte korrosionsgeschützt untergebracht sein, also mit einer Korrosionsschutzschicht bedeckt sein.

[0016] Mit diesem Kabeltyp lassen sich - unabhängig vom Achsabstand der Kabel - extrem hohe Schirmungsfaktoren erzielen, mit denen alle denkbaren Auflagen zur Magnetfeldbeschränkung erfüllt werden können. Damit wird der Einsatz solcher Kabel im Falle extremer Magnetfeldrestriktionen (Werte um 0,2 μT) interessant und ist hierbei anderen Lösungen überlegen, wie Schirmungen mit Stahlrohren oder Stahlkanälen, mit ganz erheblichen Vorteilen im Hinblick auf die Strombelastbarkeit.

[0017] Zudem bieten die erfindungsgemäßen Konstruktionen in Bereichen, in denen das Führen der Kabel in einem Stahlrohr zwingend ist - wie beispielsweise beim Unterqueren von Bahn-Anlagen - eine Möglichkeit, die einzelne Kabelader in einem Stahlrohr zu verlegen, was ohne diese Konstruktion aufgrund der dann extremen Stromwärmeverluste unzulässig ist.

[0018] Somit besteht das erfindungsgemäße Hochspannungsdrehstromsystem aus drei Einleiterkabeln, vorzugsweise in Einebenenordnung, wobei die drei Metallschirme (entweder die der Einleiterkabel oder die auf den Trägerrohren) an beiden Enden miteinander kurzgeschlossen sind. Durch das Kurzschließen der drei Metallschirme an beiden Enden werden in sie hinein Ströme induziert, die den jeweiligen Leiterströmen (nahezu) entgegengerichtet sind und deren Größe sich mit zunehmendem Querschnitt bzw. zunehmendem Leitwert des Metallschirms dem Leiterstrom (asymptotisch) annähert.

[0019] Die Erfindung wird in Zeichnungen dargestellt, wobei die Figuren im Einzelnen zeigen

Fig. 1A und 1B: Aufbau in einem Kabel oder in einem Verlegerohr,

Fig. 2: Schirmverlustfaktor γ_1 als Funktion des Querschnitts des Metallschirms aus Kupfer;

Fig. 3: Abhängigkeit der drei Schirmströme vom Metallschirmquerschnitt aus Kupfer 'ohne' und 'mit' magnetischer Bebänderung;

Fig. 4: ergänzend zu Fig. 3: Schirmverlustfaktoren in Abhängigkeit des Metallschirmquerschnitts;

Fig. 5: horizontale Verteilung der magnetischen Induktion oberhalb Erdoberfläche;

Fig. 6: maximale magnetische Induktion oberhalb der Erdoberfläche in Abhängigkeit vom Metallschirmquerschnitt und

Fig. 7: Strombelastbarkeit als Funktion des Achsabstands s der Kabel in Einebenen-Anordnung.

[0020] Die Figuren 1A und 1B verdeutlichen den erfindungsgemäßen Aufbau: über einem Kabelleiter 12 liegt eine Kunststoffisolierung 14 mit innerer und äußerer Leitschicht. Statt eines normalen Schirms (aus Kupfer oder Aluminium) mit Querschnitt zwischen etwa 50 mm² und 200 mm² wird ein Metallschirm 20 mit wesentlich größerem Leitwert, bzw. Querschnitt (aus Kupfer oder Aluminium) eingesetzt. Im Kabelaufbau entspricht der Metallschirm 20 der sonst üblichen Armierung oder Bewehrung.

[0021] Der vorzugsweise aus Drähten gebildete Metallschirm wird kontaktiert - entweder innen oder außen - mit einer als Folie oder Bandwicklung ausgebildeten Kontaktschicht 18, vorzugsweise aus Aluminium. Die Kontaktschicht dient einerseits als Wasserdampfsperre und andererseits als ein die Leitfähigkeit zwischen den Elementen des Metallschirms ausgleichender Querverbinder. Der Metallschirm 20 wird umwickelt mit einer hochpermeablen Bebänderung 22. Solche Elektrobänder, wie sie im Transformatoren- und Elektromaschinenbau verwendet werden, bestehen aus Silicium-Stahl-

blech mit geringem Siliciumanteil und werden in einer Dicke von 0,02 bis 0,04 mm hergestellt. Nach außen wird die Konstruktion mit einem Schutzmantel 24, insbesondere mit Korrosionsschutz abgeschlossen. Die Isolierung des Kabelleiters ist vorzugsweise aus VPE, wobei eine innere und eine äußere Leitschicht - wie üblich - vorhanden ist.

[0022] In Fig. 1B ist ein Verlege- oder Trägerrohr 15 dargestellt, in welches jeweils ein Einleiterkabel ohne Metallschirm eingezogen wird. Die verwendeten Bezugszeichen entsprechen denselben Teilen wie in Fig. 1A. Diese Ausführungsform eignet sich besonders für kürzere Verlegestrecken, wo das Trägerrohr im Voraus verlegt wird, und das Kabel später eingezogen wird. Der Metallschirm 20 und die Befähigung 22 auf dem Trägerrohr 15 liegen hier also mit geringem Abstand zum Kabel und nicht unmittelbar auf der Kabelisolierung.

[0023] Die beiden zur magnetischen Schirmung eingesetzten erfindungsgemäßen Merkmale sind somit ein Metallschirm mit großem Leiterquerschnitt und eine darüber aufgebrachte Befähigung aus hochpermeablen Werkstoff. Mit einer solchen Konstruktion können, unabhängig vom Legeabstand der Kabeladern, extrem hohe Schirmungsfaktoren erreicht werden.

[0024] Für die Installation eines Hochspannungsdrehstromsystem werden drei solcher Einleiterkabel vorzugsweise in einer horizontalen Eiebenenordnung verlegt, wobei die Enden der Metallschirme jeweils untereinander verbunden werden.

[0025] Zum Einfluss des bezüglich des Leitwerts vergrößerten Metallschirms werden drei Drehstrom-Einleiterkabel in einer horizontalen Eiebenenordnung betrachtet. Nach Herstellen der Kurzschluss-Schleife zwischen den drei Metallschirmen 20 (Armierung) werden in sie hinein Ströme induziert, die den jeweiligen Leiterströmen (nahezu) entgegengerichtet sind und deren Größe sich mit zunehmendem Schirmquerschnitt dem Leiterstrom annähert. Dies führt in einem Bereich der Kupfer-Schirmquerschnitte bis zu etwa 500 mm² zu einer Abhängigkeit der Schirmverluste (hier: als Schirmverlustfaktor γ_1 auf die Leiterverluste bezogen), wie sie in der Fig. 2 für ein 110-kV-VPE-Kabel mit einem Aluminiumleiterquerschnitt von 2500 mm² wiedergegeben sind. Ausgegangen wurde hierbei von einer Legetiefe von 1,2 m und einem horizontalen Achsabstand s der Kabeladern von $s = 0,5$ m.

[0026] Die Fig. 2 zeigt den Schirmverlustfaktor γ_1 (mittlere Kabelader) als Funktion des Querschnitts A_S der Kupferschirme bei einem 110-kV-Einleiterkabel mit 2500 mm² Aluminiumleiter und einem horizontalen Aderabstand $s = 0,5$ m. Mit dieser Figur wird verdeutlicht, dass bei dieser Legeanordnung

- bei einem Schirmquerschnitt A_S von etwa 100...200 mm² ein Maximum der Schirmverluste mit mehr als dem Sechsfachen der Leiterverluste auftritt und
- dass jenseits dieses Maximums bei weiterer Steigerung des Schirmquerschnitts (bzw. des Leitwerts) die Schirmverluste wieder abnehmen.

[0027] Dieses Verhalten lässt sich dadurch erklären, dass zunächst - bei kleinen Schirmquerschnitten - mit zunehmendem Querschnitt die Schirmströme rasch anwachsen und sich dem Leiterstrom annähern. Dies ist in der Fig. 3 mit den drei Kennlinien 'ohne' wiedergegeben. Die Figur stellt die Abhängigkeit der drei Schirmströme vom Querschnitt A_S der Kupferschirme 'ohne' und 'mit' magnetischer Befähigung dar; bei einer horizontalen Eiebenenordnung mit Aderabstand $s = 0,5$ m; der Leiterstrom beträgt $I_c = 1108$ A.

[0028] Aus Fig. 3 wird auch ersichtlich, dass die drei Schirmströme unterschiedlich groß sind. In einem Schirmquerschnittsbereich von 500...1000 mm² (Cu) wird etwa die Größe des Leiterstromes angenommen, so dass eine weitere Querschnittsvergrößerung sich nicht mehr in einer Stromerhöhung, sondern sich nur noch einer entsprechenden Abnahme der Schirmverluste auswirkt.

[0029] Für einen Querschnittsbereich von $A_S > 400$ mm² sind in Fig. 4 diese mit wachsendem Schirmquerschnitt A_S fallenden Schirmverlustfaktoren γ_1 wiedergegeben. Im vorliegenden Beispiel lassen sich bei entsprechend großen Schirmquerschnitten von > 2500 mm² Schirmungsfaktoren SF von weniger als 40 % erreichen. Der Schirmungsfaktor SF ist das Verhältnis der magnetischen Induktion (etwa direkt oberhalb an der Erdoberfläche) des ungeschirmten Kabels zum geschirmten Kabel.

[0030] Die sich für einen symmetrischen Leiterstrom von 1108 A einstellenden magnetischen Induktionen sind in der Fig. 5 wiedergegeben: Horizontale Verteilung der magnetischen Induktion in 0,2 m oberhalb der Erd-Oberfläche 'ohne' und 'mit' magnetischer Befähigung ($x = 0$ m ist die Koordinate der mittleren Kabelader).

[0031] Der Fig. 5 (a und b) ist zunächst die ohne Schirmströme gegebene Verteilung der magnetischen Induktion zu entnehmen: sie reicht dicht (0,2 m) oberhalb der Erdoberfläche und direkt oberhalb der Kabel mit rd. 120 μ T spürbar über den gesetzlichen Grenzwert von 100 μ T hinaus. Außerdem sind in Fig. 5 die Verteilungen für Schirmquerschnitte von $A_S = 400$ mm² (a) und für $A_S = 2500$ mm² (b) wiedergegeben (man beachte die sich um den Faktor 30 unterscheidenden Achsbeschriftungen!).

[0032] Ergänzend sind in der Fig. 6 die maximalen, direkt oberhalb der Kabel auftretenden magnetischen Induktionen in 0,2 m oberhalb der Erdoberfläche in Abhängigkeit vom Schirmquerschnitt A_S 'ohne' und 'mit' magnetischer Befähigung zusammengestellt.

[0033] Nach Fig. 5 und Fig. 6 beträgt die höchste magnetische Induktion für einen Schirmquerschnitt von 400 mm²

noch mehr als 25 μT und von 2500 mm^2 noch mehr als 4 μT . In Anbetracht des hohen konstruktiven Aufwandes und der hohen Zusatzverluste erscheint die Schirmwirkung noch nicht als sehr befriedigend.

[0034] Eingesetzt für die hochpermeable Bebänderung werden überlappend gewickelte, dünne Bänder aus einem Spezialstahl. Deren relative Permeabilität sollte bei einigen 10.000 liegen. Die Wirkung dieser oberhalb des Kupferschirms aufgebrauchten Bänder sind den Figuren 3 bis 6 zu entnehmen:

[0035] Nach Fig. 3 erzwingt die hochpermeable Schicht in den Kabeln bereits bei geringen Schirmquerschnitten Schirmströme, die nahezu die Größe des Leiterstromes erreichen. Bei hinreichend großen Schirmquerschnitten von $> 400 \text{ mm}^2$, bei denen dies auch bei den Kabeln ohne Bebänderung der Fall ist, werden nach Fig. 4 die Verluste der Kabel mit und ohne Bebänderung vergleichbar. Dies liegt daran, dass die zusätzlichen Verluste in der magnetischen Schicht mit weniger als 1 W/m vernachlässigbar gering bleiben.

[0036] Anders als bei sonstigen Kabeln mit magnetischer Umhüllung, z.B. bei Stahlrohrkabeln, werden bei der vorliegenden Konstruktion nicht die Leiterzusatzverluste aufgrund einer Feldkonzentration innerhalb der magnetischen Hülle vergrößert.

[0037] Nach Fig. 5 und 6 wird schon mit einem Schirmquerschnitt von $A_S = 400 \text{ mm}^2$ eine extrem hohe Schirmwirkung erreicht; allerdings treten bei einem solchen Schirmquerschnitt auch extrem hohe Schirmverluste von mehr als dem Doppelten der Leiterverluste auf, vergl. Fig. 4.

[0038] Vergrößert man den Schirmquerschnitt auf $A_S = 2500 \text{ mm}^2$, so wird die magnetische Induktion direkt oberhalb der Kabel außerordentlich gering: nach Fig. 5 und 6 wird ein extremer Grenzwert von 0,2 μT , wie er beispielsweise in einigen Regionen Italiens vorgeschrieben wird, dicht oberhalb der Erdoberfläche mit großer Sicherheit eingehalten. Der hierbei auftretende Schirmverlustfaktor liegt unterhalb von 40%.

Tabelle: Schirmungsfaktoren SF bei wachsenden Schirmquerschnitten A_S
'ohne' magnetischer Bebänderung 'mit' magnetischer Bebänderung

Schirmquerschnitt A_S in mm^2	SF	SF
400	5	280
1200	14	750
2500	28	1350

[0039] In der Tabelle sind für den Aufpunkt in 0,2 m Höhe über dem Erdboden, direkt über dem horizontalen Kabelsystem in Einebenenordnung die Schirmungsfaktoren als Funktion des Schirmquerschnitts A_S wiedergegeben, und zwar ohne und mit einer hochpermeablen Schicht oberhalb des Kupferschirms. Ohne magnetische Bebänderung werden, je nach Schirmquerschnitt Schirmungsfaktoren bis zu rund 30 erreicht. Wird hingegen zusätzlich eine hochpermeable Schicht oberhalb des Kupferschirms aufgebracht, so ergeben sich extrem hohe Schirmungsfaktoren, die bis zu etwa 1400 reichen.

[0040] Im weiteren wird diskutiert, inwieweit Auflagen zur Magnetfeldbeschränkung und die hieraus folgenden Schirmungsmaßnahmen nach den vorangegangenen Betrachtungen die Strombelastbarkeit der Kabel beeinträchtigen. Hierzu wird wieder von dem bereits diskutierten 110 kV-VPE-Einleiterkabel in einer Legetiefe von 1,2 m bei einem Belastungsgrad von $m = 0,85$ ausgegangen. Der Kabelgraben sei thermisch stabilisiert.

[0041] In der Fig. 7 wird die Strombelastbarkeit als Funktion des Adernabstandes s der Kabel in Einebenen-Anordnung dargestellt.

gestrichelte Linie: Kabel mit ausgekreuzten Schirmen mit Schirmquerschnitt von 50 mm^2

kräftige Linie: Einleiterkabel nach der Erfindung mit Schirmquerschnitt 2500 mm^2

Parameter: Magnetfeldrestriktion (dünne Kennlinie: ohne Restriktion)

[0042] In dieser Figur zeigen zunächst die dünne und die gestrichelte Kennlinie die Strombelastbarkeit des Kabels mit einem "normalen" Schirmquerschnitt von 50 mm^2 bei zyklischem Auskreuzen der Schirme (cross-bonding), als Funktion des Adernabstandes der Kabel in horizontaler Einebenenordnung. Während die dünne Kennlinie keine Magnetfeldrestriktion berücksichtigt, zeigt die dicke gestrichelte Kennlinie ab Adernabständen von etwa $s > 0,25 \text{ m}$ die erforderliche Stromminderung für den Fall, dass ein Höchstwert der magnetischen Induktion von $100 \mu\text{T}$ in 0,2 m Höhe über der Erdoberfläche vorgegeben wird. Eine in thermischer Hinsicht günstige Abstandsvergrößerung der Kabel führt hierbei zu einer Verminderung des höchstzulässigen Stromes.

[0043] Der schwarze Punkt in Fig. 7 gibt die Belastbarkeit dieses Kabels wieder für den Fall einer extremen Magnetfeldrestriktion von 0,2 μT , wobei eine dichte Legung der Kabel in einem Stahlrohr vorausgesetzt wurde. Hierbei wirkt sich nicht nur die thermisch ungünstige Anordnung, sondern auch die Zusatzverluste des Stahlrohres in einer Größenordnung von 20 % und die durch das Stahlrohr im Kabel hervorgerufenen Zusatzverluste belastbarkeitsmindernd aus.

[0044] Die dicke Kennlinie in Fig. 7 zeigt die vom Adernabstand abhängige Strombelastbarkeit des vorliegenden Einleiterkabels, hier mit einem Kupferschirmquerschnitt von 2500 mm^2 . Nach Fig. 5b bewirkt dieses Kabel selbst bei

großen Adernabständen eine höchste magnetische Induktion von weniger als $0,1 \mu\text{T}$, so dass sich eine Fallunterscheidung hinsichtlich der Magnetfeldrestriktion erübrigt.

[0045] Nach Fig. 7 übertrifft für eine Magnetfeldrestriktion von $100 \mu\text{T}$ die Strombelastbarkeit des Einleiterkabels der vorliegenden Anmeldung diejenige eines 'normalen' Kabels zwar für Adernabstände von mehr als 1 m, jedoch ist der hierzu erforderliche Aufwand (Konstruktion, Grabenbreite) vergleichsweise groß.

Bezugszeichen

[0046]

12	Kabelleiter
14	Isolierung (Kunststoff, VPE)
15	Trägerrohr, Verlegerohr
18	metallische Kontaktschicht (Querverbinder, Begleitwickel)
20	Metallschirm (Armierung), aus Kupfer oder Aluminium
22	Bebänderung (Folie) aus hochpermeablem Material
24	Korrosionsschutz und/oder Kabelmantel
A_S	Querschnitt Metallschirm (meistens Kupfer)
y_1	Verlustfaktor
s	Adernabstand

Patentansprüche

1. Magnetische Abschirmanordnung für elektrische Einleiterkabel in einem Hochspannungsdrehstromsystems mit folgendem Aufbau:

- wobei jedes Einleiterkabel einen Kabelleiter (12) und eine Kunststoffisolierung (14) mit innerer und äußerer Leitschicht umfasst,

und die Abschirmanordnung jeweils für ein Einleiterkabel besteht

- aus einem oberhalb des Einleiterkabels angeordneten das Einleiterkabel radial umgebenden Metallschirm (20), und
- aus einer den Metallschirm (20) umgebenden, lückenlosen Bebänderung (22) aus hochpermeablem Material,

dadurch gekennzeichnet, dass die Metallschirme (20) an ihren Enden Kontaktmittel aufweisen zum Kontaktieren der Metallschirme untereinander, und dass zur Verminderung des elektrischen Verlustbeitrags im Metallschirm (20) der Metallschirm (20) mit einem vergrößerten elektrischen Leitwert ausgebildet ist, so dass Schirmströme induzierbar sind, die im Grenzfall gleich dem Leiterstrom des Kabelleiters (12) sind.

2. Magnetische Abschirmanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Aufnahme induzierter Schirmströme der elektrische Leitwert des Metallschirms (20) im Bereich 80 % bis 150 % des elektrischen Leitwerts des Kabelleiters (12) liegt.

3. Magnetische Abschirmanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektrische Leitwert des Metallschirms (20) gleich dem elektrischen Leitwert des Kabelleiters (12) ist.

4. Magnetische Abschirmanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallschirm (20) von einer als Folie oder Band gebildeten metallischen Kontaktschicht (18) berührend umgeben ist.

5. Magnetische Abschirmanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bebänderung (22) aus überlappend gewickelten, dünnen Bändern besteht aus Spezialstahl mit einer relativen Permeabilität von einigen 10.000.

6. Magnetische Abschirmanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

EP 2 259 271 A2

die Befähigung (22) mit einer Korrosionsschutzschicht bedeckt ist.

7. Magnetische Abschirmanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallschirm (20) aus Kupfer oder aus Aluminium besteht.

5 8. Magnetische Abschirmanordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallschirm (20) aus metallischen Einzel-Drähten oder aus einer Metallschicht besteht.

10 9. Magnetische Abschirmanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallschirm (20) aus einem Geflecht besteht.

10. Magnetische Abschirmanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf der Kunststoffisolierung (14) eines jeden Einleiterkabels der Metallschirm (20) als Armierung angeordnet ist.

15 11. Magnetische Abschirmanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallschirm (20) der Abschirmanordnung auf einem Trägerrohr (15) angeordnet ist, in welche jeweils ein Einleiterkabel mit Kunststoffisolierung (14) eingezogen ist.

20 12. Hochspannungsdrehstromsystem bestehend aus drei Einleiterkabeln, vorzugsweise in Einebenenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die drei Metallschirme (20) der Einleiterkabel oder die drei auf den Trägerrohren (15) angeordneten Metallschirme (20) an beiden Enden miteinander kurzgeschlossen sind.

25

30

35

40

45

50

55

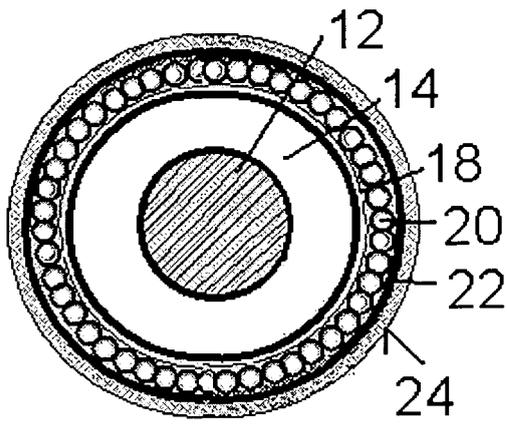


Fig. 1A

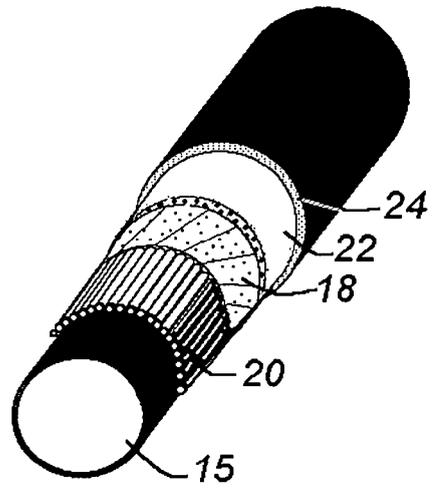


Fig. 1B

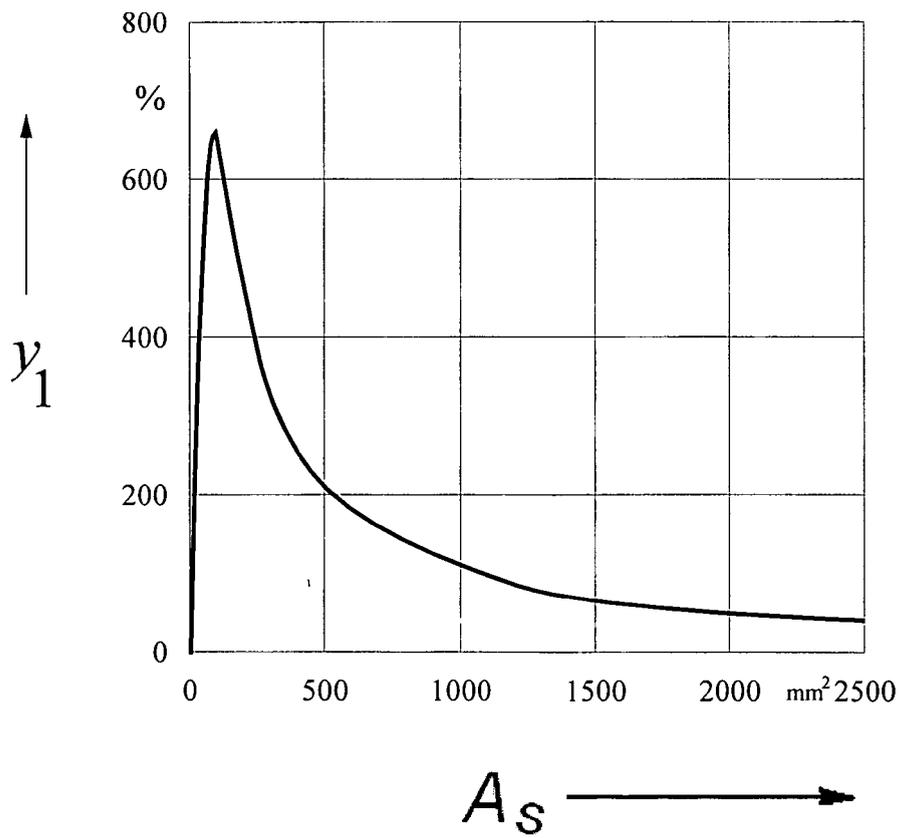


Fig. 2

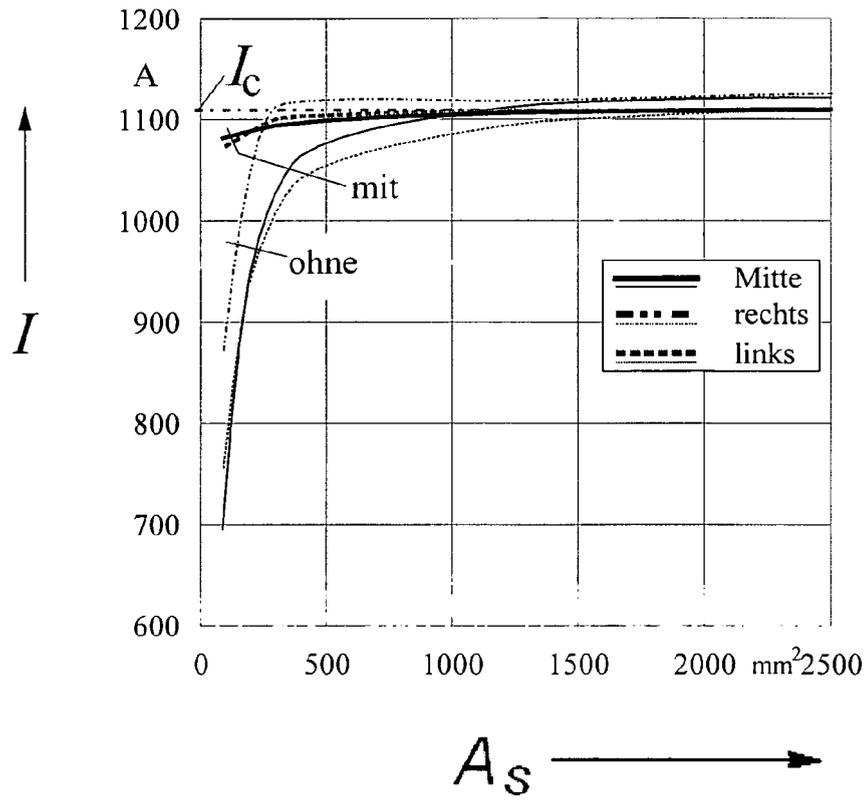


Fig. 3

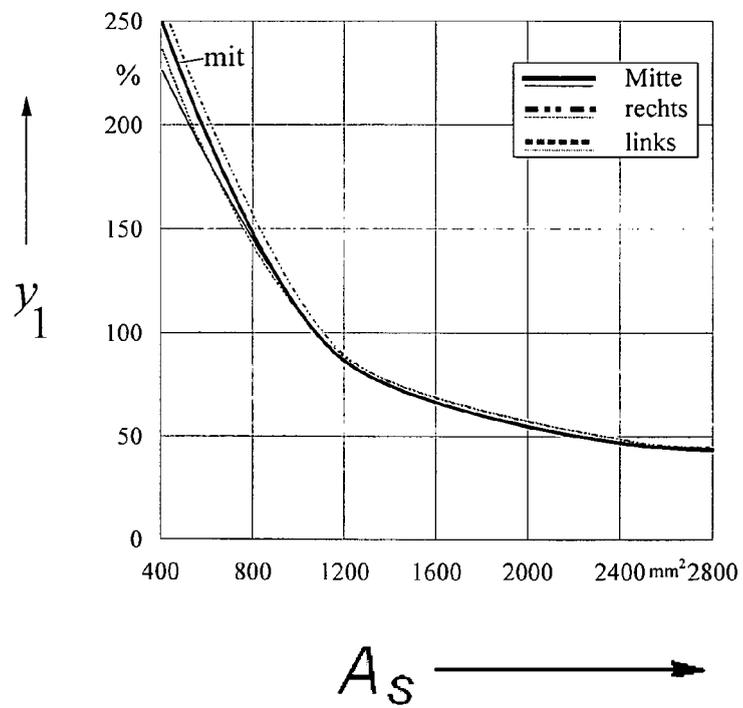


Fig. 4

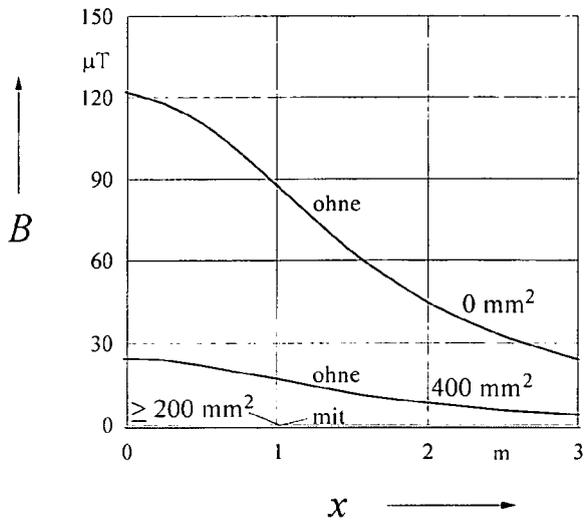


Fig. 5a

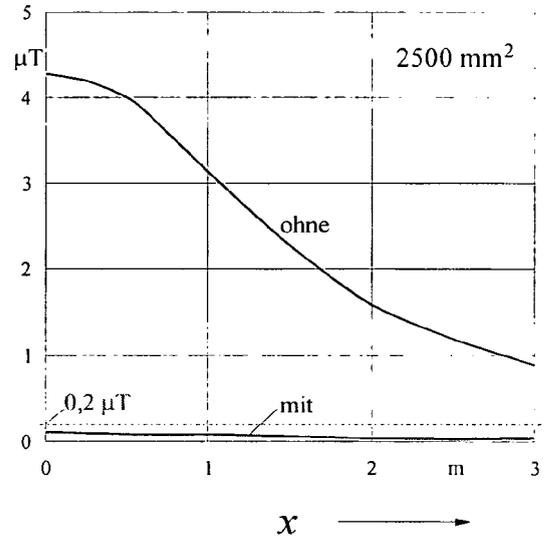


Fig. 5b

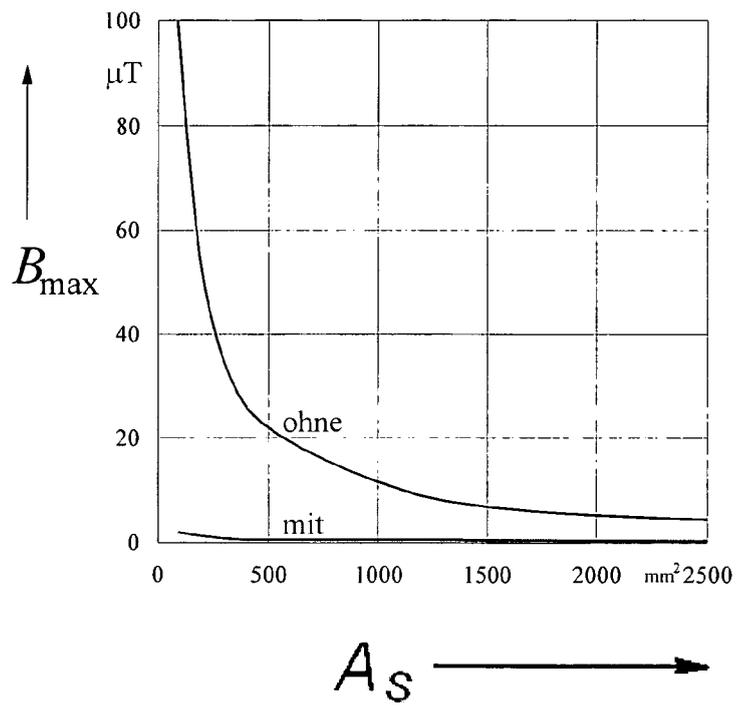


Fig. 6

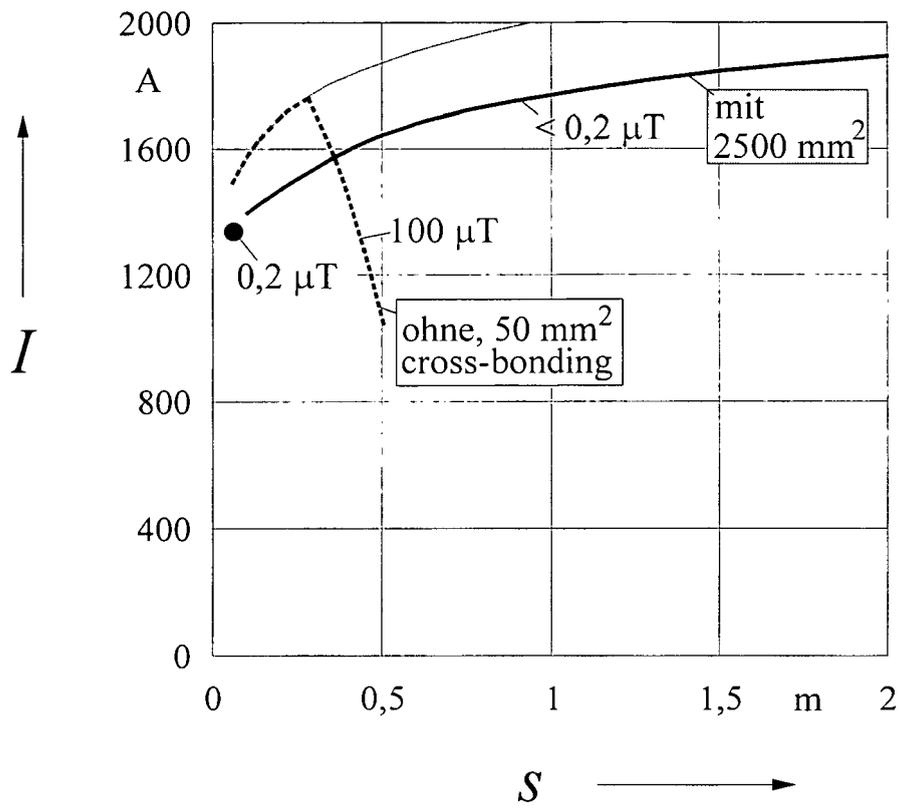


Abb. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2004034539 A [0002]
- EP 1598911 A1 [0002]
- DE 19807527 A1 [0003]
- WO 03003382 A1 [0003]
- DE 102006013553 B3 [0003]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **P. Maioli ; E. Zaccone.** Passive Loops Technique for Electromagnetic Field Mitigation, Applications and Theoretical Considerations. *Jicable-Conf.*, 2007, 231-236 [0002]