

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegraфи svizzeri
Herausgeber:	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
Band:	52 (1974)
Heft:	11
Artikel:	Abaques pour la détermination rapide du facteur de réduction des armures de câbles = Nomogramme zur raschen Bestimmung des Reduktionsfaktors von Kabelarmierungen
Autor:	Benoît, Pierre
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-874780

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: 10.08.2025

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

Abaques pour la détermination rapide du facteur de réduction des armures de câbles

Nomogramme zur raschen Bestimmung des Reduktionsfaktors von Kabelarmierungen

Pierre BENOÎT, Cortaillod

621.315.221/.222:621.316.97.012

Zusammenfassung. Bei der Projektierung einer mit Kriechströmen beeinflussten Kabelanlage oder bei der Beurteilung einer Kabelarmierung ist es notwendig, die Größenordnung des Reduktionsfaktors des entsprechenden Kabels rasch zu kennen. Eine einfache Berechnungsmethode, die auf allgemeinen Nomogrammen beruht, wird dargestellt. Diese erlaubt es, den Aufbau einer Kabelarmierung bei Anpassung der Anlage oder Projektierung einer neuen Einrichtung rasch zu bestimmen. Der Vergleich verschiedener Konstruktionsarten oder die Folgen einer Änderung der physischen Armierungsparameter ist ebenfalls möglich.

Résumé. Lors de l'ébauche d'un projet de ligne de transmission soumise à des influences perturbatrices ou de l'étude d'une armure de câble, on désire connaître rapidement un ordre de grandeur du facteur de réduction du câble considéré. L'article présente une méthode simple et originale de calcul basée sur des abaques très généraux. Ces abaques permettent d'évaluer rapidement la construction de l'armure d'un câble lors de la modification ou de l'établissement d'un projet d'une ligne de transmission. Ils permettent aussi la comparaison de différentes constructions et l'étude de l'effet d'une variation des paramètres physiques de l'armure.

Nomogrammi per una rapida determinazione del fattore di riduzione di armature di cavi

Riassunto. Quando si progettano impianti di cavi soggetti all'influenza di correnti di dispersione superficiale oppure se si deve valutare un'armatura di cavi, è necessario conoscere rapidamente l'ordine di grandezza del fattore di riduzione del rispettivo cavo. Si espone un metodo di calcolo semplice, che si basa su nomogrammi di carattere generale. Ciò permette di determinare rapidamente l'armatura del cavo in occasione della costruzione, dell'adattamento di un impianto o in fase di progettazione di un nuovo equipaggiamento. È pure possibile confrontare tra di loro diversi generi di costruzione o stabilire le conseguenze di una modifica dei parametri fisici dell'armatura.

1. Introduction

Lors de l'étude d'un projet de ligne de transmission ou de la modification d'une installation existante, il est nécessaire de connaître le facteur de réduction des câbles concernés [1].

Le calcul du facteur de protection nécessite une très bonne connaissance des propriétés des matériaux entrant dans la composition des armures¹ et de moyens mathématiques importants. Cependant, lors de l'ébauche du projet, on peut généralement se contenter d'un ordre de grandeur du facteur de réduction, c'est pourquoi des abaques de calcul destinés à résoudre très rapidement les cas les plus courants ont été développés.

2. Application des abaques

Ces abaques permettent de déterminer le facteur de réduction d'un câble donné et inversement de connaître l'armure nécessaire pour obtenir un facteur de réduction donné. La méthode est applicable dans les cas suivants:

Projet d'une nouvelle ligne de transmission. Etant donné le tracé de la ligne, les tensions perturbatrices par section d'influence peuvent être évaluées, en connaissant la tension induite maximale admissible en bout de ligne, on peut calculer le facteur de réduction moyen pour chaque section influencée; on obtient alors facilement les caractéristiques principales de l'armure garantissant le facteur de réduction requis.

¹ On emploie le terme «armure» dans le même sens que celui «d'enveloppe» d'un câble (gaine et revêtement du câble).

1. Einführung

Beim Studium eines Projektes für eine neue Kabelanlage oder für den Umbau eines bestehenden Stranges ist es notwendig, den Reduktionsfaktor der betreffenden Kabel zu kennen [1].

Für die Berechnung des Reduktionsfaktors muss man die Eigenschaften der für die Armierung¹ verwendeten Materialien und die Anwendung erheblicher mathematischer Mittel sehr gut kennen.

Die Grobplanung des Projektes kann jedoch meistens aufgrund der Bestimmung einer Größenordnung des Reduktionsfaktors geschehen, weshalb Nomogramme entwickelt wurden, die eine rasche Behandlung der geläufigsten Fälle erlauben.

2. Anwendung der Nomogramme

Die Nomogramme erlauben es, den Reduktionsfaktor eines bekannten Kabels zu berechnen. Umgekehrt kann die zur Erreichung eines gewissen Reduktionsfaktors notwendige Armierung bestimmt werden. Diese Methode ist beispielsweise in folgenden Fällen anwendbar:

Projekt für eine neue Übermittlungsleitung. Aufgrund des Kabeltrassees können die Störspannungen je Einwirkungszone geschätzt werden. Wenn die maximal zulässige induzierte Spannung am Ende der Linie bekannt ist, wird es möglich, den mittleren Reduktionsfaktor für jede beeinflusste Zone zu berechnen. Somit ist es einfach, die Haupt-eigenschaften jener Armierung zu bestimmen, die den vorher festgelegten Reduktionsfaktor gewährleisten.

¹ «Armierung» hat dieselbe Bedeutung wie «Umhüllung» eines Kabels (das heißt Mantel und Schutzhülle)

Lors de la poursuite de l'étude, il sera naturellement nécessaire de connaître exactement le facteur de réduction des câbles, mais le travail sera facilité par cette première évaluation.

Modification d'une ligne existante. Lorsque la puissance des sources perturbatrices est augmentée (par exemple la puissance des locomotives), il y a lieu de vérifier que la protection de la ligne de transmission est toujours suffisante. Le facteur de réduction des câbles n'étant généralement pas connu, il est intéressant de pouvoir en déterminer rapidement la valeur.

Comparaison des câbles. Les deux exemples ci-dessus ne sont pas exhaustifs et l'on peut signaler l'utilisation des abaques pour la comparaison de différents câbles lors du travail d'optimisation de la ligne en projet, par exemple, ou lors du choix du câble définitif.

3. Définition des armures

Il faut distinguer deux types d'armures:

L'armure simple, composée d'une couche conductrice sous une armure magnétique, par exemple Pb-FCT et *l'armure générale*, composée d'une couche magnétique en sandwich entre deux couches conductrices, par exemple Pb-CTF.

Avant de donner un rappel théorique élémentaire des formules utilisées pour le calcul du facteur de réduction, nous avons pensé utile de définir de façon précise le rôle des différentes couches constituant l'armure dans le *tableau I*, duquel ressort également la signification des abréviations ci-dessus.

4. Rappel théorique

Le facteur de réduction d'une armure de câble est défini comme étant le rapport de la tension longitudinale induite sur un conducteur protégé (en V/km) à la tension longitudinale induite sur un conducteur non protégé (en V/km).

$$r_k = \frac{E_{12}}{E_{23}} \quad (1)$$

Pour une armure à structure simple le facteur de réduction s'écrit:

$$r_k = \frac{E_{12}}{E_{23}} = \sqrt{\frac{R_g}{R_g^2 + X^2}} \quad (2)$$

$$E_{23} = \frac{R_g \pi D_m H}{r_k} \quad (3)$$

où R_g résistance en courant continu de l'armure en Ω/km

$X = 2\pi f(L_g + L_o) = \omega(L_g + L_o)$ en Ω/km

L_g inductance de l'armure en H/km

L_o inductance de la boucle du courant de retour par la terre (valeur normalisée 2 mH/km)

f fréquence du courant perturbateur en Hz

avec

$$H = \frac{J}{\pi D_m} \quad \text{A/m} \quad (4)$$

$$L_g = \frac{'S_{Fe}}{\pi D_m} \mu_0 \mu_r \quad \text{H/km} \quad (5)$$

Bei der Ausarbeitung des Projektes muss selbstverständlich der genaue Reduktionsfaktor ermittelt werden. Dies wird jedoch durch eine erste Schätzung erheblich erleichtert.

Umbau einer bestehenden Leitung. Nimmt die Leistung der Störquellen zu (zum Beispiel die Leistung der Lokomotiven), muss festgestellt werden, ob der Schutz der Übermittlungslinie noch genügt. In einem solchen Falle ist der Reduktionsfaktor der Kabel im allgemeinen nicht bekannt, so dass eine rasche Bestimmung dessen Wertes interessant ist.

Vergleich der Kabel. Die zwei erwähnten Beispiele sind nicht die einzigen. Die Nomogramme können ebenfalls zum Vergleich verschiedener Kabel benutzt werden, zum Beispiel zur Optimierung der projektierten Anlage oder zur Wahl des definitiven Kabels.

3. Definition der Armierungen

Es sind zwei Armierungsarten zu unterscheiden:

Die *einfache Armierung*, die aus einer leitenden Schicht unter einer magnetischen Armierung besteht, zum Beispiel Pb-FCT und die *allgemeine Armierung*, die aus einer magnetischen Schicht, zwischen zwei leitenden Lagen eingebettet, zum Beispiel Pb-CTF, hergestellt wird.

Bevor die Grundformeln für die Berechnung des Reduktionsfaktors theoretisch kurz erläutert werden, halten wir es für angezeigt, die Rolle jeder einzelnen Armierungsschicht in *Tabelle I* zu umschreiben, die auch über die Bedeutung der entsprechenden Abkürzungen Auskunft gibt.

4. Theoretische Wiederholung

Der Reduktionsfaktor einer Kabelarmierung wird durch das Verhältnis der auf einem geschützten Leiter induzierten Längsspannung zur auf einem nicht geschützten Leiter induzierten Längsspannung definiert (beide Werte in V/km).

$$r_k = \frac{E_{12}}{E_{23}} \quad (1)$$

Für eine Armierung einfachen Aufbaus gilt folgende Formel:

$$r_k = \frac{E_{12}}{E_{23}} = \sqrt{\frac{R_g}{R_g^2 + X^2}} \quad (2)$$

$$E_{23} = \frac{R_g \pi D_m H}{r_k} \quad (3)$$

mit R_g Gleichstromwiderstand der Armierung in Ω/km

$X = 2\pi f(L_g + L_o) = \omega(L_g + L_o)$ in Ω/km

L_g Induktivität der Armierung in H/km

L_o Induktivität der Erdschleife (normalisierter Wert 2 mH/km)

f Frequenz des Störstromes in Hz

wobei

$$H = \frac{J}{\pi D_m} \quad \text{A/m} \quad (4)$$

$$L_g = \frac{'S_{Fe}}{\pi D_m} \mu_0 \mu_r \quad \text{H/km} \quad (5)$$

mit H Magnetfeld in A/m

J Störstrom in A in der Armierung

$'S_{Fe}$ tatsächlicher magnetischer Querschnitt der Armierung in m^2 pro 1 km Kabel

D_m tatsächlicher magnetischer Durchmesser der Armierung, gleich dem mittleren Durchmesser der Eisenbänder C in m

Tableau I. Rôle des différentes couches constituant l'armure d'un câble

Terminologie utilisée dans cet article	Rôle de la couche en général	Rôle de la couche pour le facteur de réduction	Exemples
Couche conductrice	Cette couche est formée par la gaine du câble qui doit assurer l'étanchéité du toron. Pour les câbles à bon facteur de réduction on pose sur la gaine une couche conductrice pouvant parfois être utilisée comme couche de traction pour la pose du câble	Cette couche intervient dans la résistance électrique de l'armure, notée plus loin par R_g	Pb – Cu – Pb – F –
Couche magnétique	Elle est constituée de feuillards d'acier qui assurent la résistance à l'écrasement du câble	Cette couche intervient comme couche inductive, son inductivité sera notée L_g	C
Couche conductrice de traction	Si la couche conductrice intérieure ne peut être utilisée pour la traction du câble on doit poser des méplats d'acier F sur les C.	Le rôle de cette couche étant très particulier on examinera son effet plus loin. Sa résistance électrique sera notée R_F	F

F = couche de fils métalliques méplats appliqués sans déjoint, en hélice à pas long
C = deux feuillards d'acier appliqués avec déjoint de 10..30%, en deux couches superposées, le feuillard supérieur recouvrant le déjoint du feuillard inférieur
Pb = gaine tubulaire extrudée en plomb

ALPE = gaine constituée d'un feuillard d'aluminium, posé longitudinalement avec recouvrement, comportant une couche de copolymère collant le feuillard à une gaine extrudée en polyéthylène

Tabelle I. Rolle der einzelnen Armierungsschichten eines Kabels

In diesem Artikel verwendete technische Ausdrücke	Zweck der Schicht im allgemeinen	Zweck der Schicht in bezug auf den Reduktionsfaktor	Beispiele
Leitende Schicht	Diese Schicht besteht aus dem Kabelmantel, der der Abdichtung des Aderbündels dient. Bei Kabeln mit gutem Reduktionsfaktor wird über dem Mantel eine leitende Schicht angebracht, die oft als Zugschicht für die Verlegung des Kabels dient	Diese Schicht spielt im elektrischen Widerstand der Armierung eine Rolle. Sie wird mit R_g bezeichnet	Pb – Cu – Pb – F –
Magnetschicht	Sie besteht aus Stahlbändern, die das Kabel vor dem Zerquetschen schützen	Diese Schicht dient als magnetische Schicht. Ihre Induktivität wird mit L_g bezeichnet	C
Leitende Zugschicht	Wenn die leitende Innenschicht nicht als Zugschicht verwendet werden kann, müssen Stahlflachdrähte F über der magnetischen Schicht (C) angebracht werden	Da diese Schicht einen ganz besonderen Zweck erfüllt, wird sie im folgenden näher behandelt werden. Ihr elektrischer Widerstand wird mit R_F bezeichnet	F

F = Lage metallischer Flachdrähte, schraubenförmig und aneinanderliegend mit langem Versetzungsschritt aufgebracht
C = Zwei Stahlbänder mit 10..30% Bandabstand, in zwei übereinander aufgebrachten Lagen, wobei die Außenlage den ländlichen Zwischenraum der unteren Lage überdeckt

Pb = nahtlos umspritzter Bleimantel
ALPE = der Länge nach überlappt aufgebrachtes Copolymer-kaschiertes Aluminiumblatt und damit innig verklebtem äußerem extrudiertem Polyäthylenmantel

où H champ magnétique en A/m
 J courant perturbateur traversant l'armure en A
 $'S_{Fe}$ section magnétique effective de l'armure en m^2 pour 1 km de câble
 D_m diamètre magnétique effectif de l'armure, égal au diamètre moyen des feuillards C en m
 μ_0 perméabilité absolue du vide en H/m
 μ_r perméabilité relative des feuillards C

μ_0 Induktionskonstante des Vakuums in H/m
 μ_r relative Permeabilität der Eisenbänder C

5. Auswirkungen einer Veränderung der elektrischen Parameter auf den Reduktionsfaktor

Das Verhältnis r_{kmf} wird als Minimalreduktionsfaktor bei der Frequenz f definiert. Es entspricht der maximalen Permeabilität μ_r des Stahls.

Die Betrachtung der Formeln 2 und 3 für ein Kabel mit einfacherem Aufbau (Fig. 1) erlaubt folgendes festzustellen: Nimmt R_g leicht ab, so verringert sich der Wert des Minimalreduktionsfaktors r_{kmf} , wie auch jener der Spannung E_{23} . Wird hingegen X erhöht, geht r_{kmf} zurück und die Spannung E_{23} steigt.

5. Effet d'une variation des paramètres électriques sur le facteur de réduction

Le rapport r_{kmf} est défini comme étant le minimum du facteur de réduction à la fréquence f. Ce minimum est atteint pour la valeur maximale de la perméabilité de l'acier μ_r .

L'examen des formules 2 et 3 permet de constater que pour un câble à structure simple donné (fig. 1) une diminution de R_g , entraîne une diminution du facteur de réduction minimum r_{kmf} et de la tension E_{23} . En revanche, si l'on augmente X , r_{kmf} diminue alors que E_{23} augmente.

Pour les câbles à structure générale (Fig. 2), il y a lieu d'examiner, en plus des variations de R_g et X , l'influence de la couche conductrice de traction R_f . Pour les paramètres R_g et X , les variations sont les mêmes que pour les câbles à structure simple. En revanche, il est démontré en [2] qu'une diminution de R_f influence le rapport r_{kmf} de la même façon qu'une augmentation de X .

6. Construction des abaques pour les câbles à structure simple

Le principe de l'abaque consiste à substituer dans l'équation (5) la

$$\text{variable } A = \frac{'S_{Fe}}{D_m} \cdot 10^3 \text{ et dans (3)}$$

$$\text{la variable } \frac{E_{23}}{D_m} \cdot 10^3 \text{ avec } D_m \text{ en mm et } 'S_{Fe} \text{ en m}^2$$

Il est alors possible de tracer un jeu de courbes uniques représentatives de tous les câbles, avec f , μ_r , H et L_o comme paramètres.

6.1 Utilisation des abaques

Les deux abaques ont été construits pour une inductivité de terre standard de $L_o = 2 \text{ mH/km}$ et pour

$\mu_r \text{ max} = 1470$, $H = 300 \text{ A/m}$, $f = 16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ (fig. 3) et

$\mu_r \text{ max} = 1400$, $H = 300 \text{ A/m}$, $f = 50 \text{ Hz}$ (fig. 4).

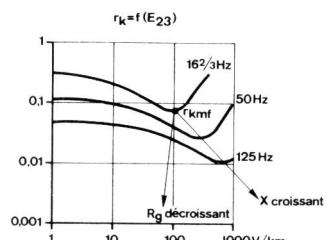


Fig. 1
Effet d'une variation des paramètres électriques sur le facteur de réduction pour les câbles à structure simple – Auswirkung einer Veränderung der elektrischen Parameter auf den Reduktionsfaktor für ein Kabel mit einfachem Aufbau

r_{kmf} facteur de réduction minimum – Minimaler Reduktionsfaktor

X croissant – X zunehmend

R_g décroissant – R_g abnehmend

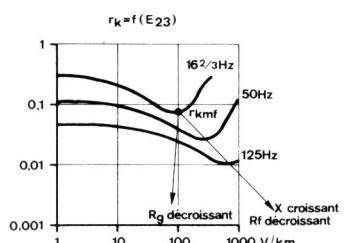


Fig. 2
Effet d'une variation des paramètres électriques sur le facteur de réduction pour les câbles à structure générale – Auswirkung einer Veränderung der elektrischen Parameter auf den Reduktionsfaktor für ein Kabel mit Allgemeinaufbau

r_{kmf} facteur de réduction minimum – Minimaler Reduktionsfaktor

X croissant – X zunehmend

R_f décroissant – R_f abnehmend

R_g décroissant – R_g abnehmend

Für die Kabel mit Allgemeinaufbau (Fig. 2) muss neben den Veränderungen von R_g und X auch der Einfluss der leitenden Schicht R_f untersucht werden. Die Parameter R_g und X ändern sich wie jene der Kabel einfachen Aufbaus. Hingegen wurde in [2] gezeigt, dass die Herabsetzung von R_f den Minimalreduktionsfaktor r_{kmf} wie eine Erhöhung von X beeinflusst.

6. Aufbau der Nomogramme für Kabel einfachen Aufbaus

Zur Berechnung des Nomogramms werden in Gleichung (5)

$$\text{die Variable } A = \frac{'S_{Fe}}{D_m} \cdot 10^3 \text{ und in (3)}$$

$$\text{die Variable } \frac{E_{23}}{D_m} \cdot 10^3 \text{ mit } D_m \text{ in mm und } 'S_{Fe} \text{ in } \text{m}^2$$

ersetzt. Dies erlaubt, mit den Parametern f , μ_r , H und L_o , eine einzige Kurvenschar für alle Kabel einzuziehen.

6.1 Anwendung der Nomogramme

Beide Nomogramme wurden für eine Standard-Erdinduktivität von $L_o = 2 \text{ mH/km}$ und

$\mu_r \text{ max} = 1470$, $H = 300 \text{ A/m}$, $f = 16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ (Fig. 3) und

$\mu_r \text{ max} = 1400$, $H = 300 \text{ A/m}$, $f = 50 \text{ Hz}$ (Fig. 4)

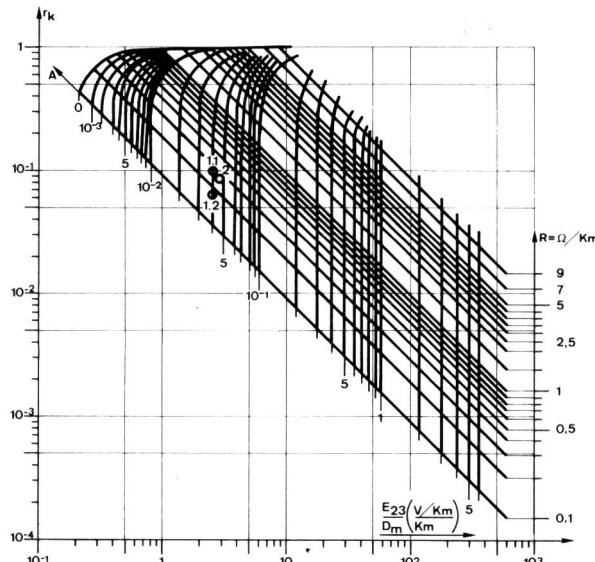


Fig. 3
Abaque pour les câbles à structure simple ($16\frac{2}{3} \text{ Hz}$) – Nomogramme für die Kabel mit einfachem Aufbau ($16\frac{2}{3} \text{ Hz}$)

R résistance en continu du système gaine-armure [Ω/km] – Gleichstromwiderstand des Systems Umhüllung-Armierung [Ω/km]

$$A = \frac{'S_{Fe}}{D_m} [\text{m}]$$

$'S_{Fe}$ section magnétique effective – Tatsächlicher magnetischer Querschnitt [m^2/km]
 D_m diamètre magnétique moyen – Mittlerer magnetischer Durchmesser [mm]

Paramètres – Parameter

f fréquence – Frequenz $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$

L_o inductivité de terre = 2 mH/km – Erdinduktivität = 2 mH/km

μ_r perméabilité relative de l'armure = 1470 – Relative Permeabilität der Armierung = 1470

H champ magnétique (pour $\mu_r = 1470$) = 300 A/m – Magnetisch, Feldstärke (für $\mu_r = 1470$) = 300 A/m

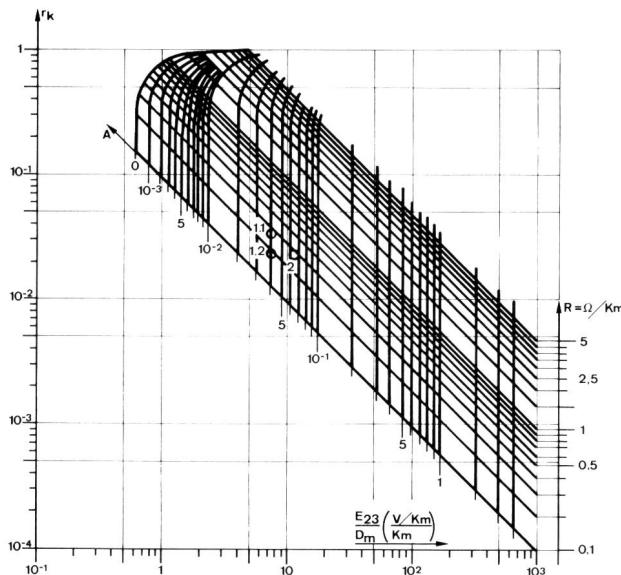


Fig. 4

Abaque pour les câbles à structure simple (50 Hz) – Nomogramme für die Kabel mit einfachem Aufbau (50 Hz)

R résistance en continu du système gaine-armure [Ω/km] – Gleichstromwiderstand des Systems Umhüllung-Armierung [Ω/km]

$$A = \frac{S_{Fe}}{D_m} [\text{m}]$$

S_{Fe} section magnétique effective – Tatsächlicher magnetischer Querschnitt [m^2/km]

D_m diamètre magnétique moyen – Mittlerer magnetischer Durchmesser [mm]

Paramètres – Parameter

f fréquence – Frequenz 50 Hz

L_o inductivité de terre = 2 mH/km – Erdinduktivität = 2 mH/km

μ_r perméabilité relative de l'armure = 1400 – Relative Permeabilität = 1400

H champ magnétique (pour $\mu_r = 1400$) = 300 A/m – Magnetische Feldstärke (für $\mu_r = 1400$) = 300 A/m

On détermine le couple de valeurs r_{kmf} , E_{23} si l'on connaît ' S_{Fe} ', D_m et R_g ou inversement.

Exemple 1. Soit un câble ayant une armure simple composée des éléments ALPE-FF1.2_{Aluman}CCT et dont les caractéristiques sont

$$R_g = 0,191 \Omega/\text{km}$$

$$D_m = 40,2 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} S_{Fe} = 2 \text{ m}^2 \\ \xi = 0,75 \end{array} \right\} \rightarrow 'S_{Fe} = S_{Fe} \cdot \xi = 1,5 \text{ m}^2$$

avec ξ facteur de remplissage de la couche magnétique.

On cherchera donc sur les graphes les couples r_k , $\frac{E_{23}}{D_m}$ définis par $R_g = 0,191 \Omega/\text{km}$

$$A = \frac{'S_{Fe}}{D_m} = 0,037 \frac{\text{m}^2}{\text{km mm}}$$

A la fréquence 16 2/3 Hz, on obtient

$$r_{kmf} = 0,071, \frac{E_{23}}{D_m} = 2,35 \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

soit $r_{kmf} = 0,071$ et $E_{23} = 94 \text{ V}/\text{km}$.

Les relevés faits avec l'appareil de mesure du facteur de réduction 7145 [3] donnent les valeurs $r_{kmf} = 0,072$ et $E_{23} = 95 \text{ V}/\text{km}$.

A 50 Hz on obtient

$$r_{kmf} = 0,0265, \frac{E_{23}}{D_m} = 6,6 \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

soit $r_{kmf} = 0,027$ et $E_{23} = 265 \text{ V}/\text{km}$, valeurs que l'on peut comparer à celles mesurées de $r_{kmf} = 0,026$ et $E_{23} = 265 \text{ V}/\text{km}$.

Exemple 2. Inversement, pour obtenir un facteur de réduction minimum de 0,1, situé vers 150 V/km à 16 2/3 Hz

ausgelegt. Wenn ' S_{Fe} ', D_m und R_g bekannt sind, wird das Paar r_{kmf} , E_{23} bestimmt oder umgekehrt.

Beispiel 1. Es sei beispielsweise ein Kabel einfacher Armierung angenommen, die sich aus ALPE-FF1.2_{Aluman}CCT zusammensetzt und nachstehende Eigenschaften aufweist:

$$R_g = 0,191 \Omega/\text{km}$$

$$D_m = 40,2 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} S_{Fe} = 2 \text{ m}^2 \\ \xi = 0,75 \end{array} \right\} \rightarrow 'S_{Fe} = S_{Fe} \cdot \xi = 1,5 \text{ m}^2$$

mit ξ Füllfaktor der Magnetschicht

Auf den Nomogrammen werden also die Paare r_k , $\frac{E_{23}}{D_m}$ gesucht, bestimmt durch $R_g = 0,191 \Omega/\text{km}$

$$A = \frac{'S_{Fe}}{D_m} = 0,037 \frac{\text{m}^2}{\text{km mm}}$$

und für 16 2/3 Hz erhält man

$$r_{kmf} = 0,071, \frac{E_{23}}{D_m} = 2,35 \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

das heisst $r_{kmf} = 0,071$, $E_{23} = 94 \text{ V}/\text{km}$.

Die mit dem Messapparat 7145 für den Reduktionsfaktor [3] vorgenommenen Messungen ergeben $r_{kmf} = 0,072$ und $E_{23} = 95 \text{ V}/\text{km}$.

Für 50 Hz erhält man

$$r_{kmf} = 0,0265, \frac{E_{23}}{D_m} = 6,6 \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

das heisst $r_{kmf} = 0,027$, $E_{23} = 265 \text{ V}/\text{km}$, was mit den Messungen verglichen werden kann, die die Werte $r_{kmf} = 0,026$ und $E_{23} = 265 \text{ V}/\text{km}$ ergeben.

Beispiel 2. Um umgekehrt einen minimalen Reduktionsfaktor von 0,1 zu erzielen, der für ein Kabel von 20 mm Durchmesser über Blei und mit einem mittleren magnetischen Durchmesser von 20 ... 30 mm, für 150 V/km bei 16 2/3 Hz liegt, muss ein Mantelwiderstand R_g von etwa 0,55 ... 0,8 Ω/km und ein tatsächlicher magnetischer Querschnitt von etwa 1,6 ... 3,6 m^2 erreicht werden, wie es folgende Berechnungen zeigen:

$$a) \frac{150}{30} = 5 \leq \frac{E_{23}}{D_m} \leq \frac{150}{20} = 7,5 \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

b) für $D_m = 20 \text{ mm}$, $A = 0,08$, ' $S_{Fe} = D_m \cdot A = 20 \cdot 0,08 = 1,6 \text{ m}^2$ ' für $D_m = 20 \text{ mm}$, $A = 0,12$, ' $S_{Fe} = D_m \cdot A = 30 \cdot 0,12 = 3,6 \text{ m}^2$ '

$$c) \text{ und für } r_k = 0,1 \text{ und } 5 \leq \frac{E_{23}}{D_m} \leq 7,5 \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

ergeben sich aus dem Nomogramm-Mantelwiderstandswert $R_g = 0,55$ und $0,8 \Omega/\text{km}$.

Beispiel 3. Um ein Kabel mit einem Reduktionsfaktor von 0,16 bei 50 Hz zu erzielen, unabhängig von E_{23} (Kabel ohne Magnetschicht), muss ein $R_g = 0,1 \Omega/\text{km}$ mit $\frac{'S_{Fe}}{D_m} = 0$ vorhanden sein.

6.2 Verallgemeinerung der Nomogramme für Kabel einfachen Aufbaus

Obwohl die beiden Diagramme für eine Permeabilität μ , von 1470 oder 1400 geschaffen sind, können sie ohne weiteres für einen andern Stahltyp oder für die Berechnung eines

pour un câble ayant un diamètre sur plomb de 20 mm et un diamètre magnétique moyen compris entre 20 et 30 mm, on devra avoir une résistance de gaine R_g comprise entre 0,55 et 0,8 Ω/km et une section magnétique effective comprise entre 1,6 et 3,6 m^2 , conformément aux calculs ci-après:

$$\text{a)} \frac{150}{30} = 5 \leq \frac{E_{23}}{D_m} \leq \frac{150}{20} = 7,5 \quad \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

b) pour $D_m = 20 \text{ mm}$, $A = 0,08$, ' $S_{Fe} = D_m \cdot A = 20 \cdot 0,08 = 1,6 \text{ m}^2$

pour $D_m = 20 \text{ mm}$, $A = 0,12$, ' $S_{Fe} = D_m \cdot A = 30 \cdot 0,12 = 3,6 \text{ m}^2$

$$\text{c) et pour } r_k = 0,1 \text{ et } 5 \leq \frac{E_{23}}{D_m} \leq 7,5 \quad \frac{\text{V}}{\text{km mm}}$$

le graphe indique des résistances de gaine de $R_g = 0,55$ et $0,8 \Omega/\text{km}$.

Exemple 3. Pour obtenir un câble ayant un facteur de réduction de 0,16 à 50 Hz, indépendant de E_{23} (câble sans couche magnétique), on devra avoir une résistance de gaine

$$R_g = 0,1 \Omega/\text{km} \text{ avec } \frac{S_{Fe}}{D_m} = 0$$

6.2 Généralisation des abaques des câbles à structure simple

Bien que les deux abaques soient construits pour une perméabilité μ_r de 1470 ou 1400, on peut facilement les utiliser pour un autre type d'acier. Pour calculer une valeur r_k différente de r_{kmf} , il suffit alors de modifier les paramètres A et $\frac{E_{23}}{D_m}$ dans les rapports suivants:

$$A_2 = A_1 \left(\frac{\mu_r \text{ modifié}}{\mu_r \text{ initial de l'abaque}} \right) \text{ et}$$

$$\left(\frac{E_{23}}{D_m} \right)_2 = \left(\frac{E_{23}}{D_m} \right)_1 \cdot \left(\frac{H \text{ modifié}}{H \text{ initial de l'abaque}} \right)$$

7. Câbles à structure générale

L'introduction d'une couche conductrice externe R_F correspond à un déplacement à 45° du réseau de courbes dans le graphe Log/Log, avec une dilatation de l'échelle A. L'utilisation des relations 2 et 3 pour les calculs des câbles à structure générale conduit à des sous-estimations non négligeables du facteur de réduction et de la tension E_{23} (de 20 à 40%). Il devient alors nécessaire d'utiliser les formules générales.

On peut montrer que l'emploi des câbles à structure générale se justifie uniquement

- si les conditions de pose nécessitent une couche de glissement externe en métal
- si la gaine thermoplastique externe doit être protégée contre le risque de perforation, par exemple, à la suite d'un coup de foudre
- si le minimum du facteur de réduction r_{kmf} doit être placé à des tensions E_{23} élevées de l'ordre de 300 V/km pour une fréquence de 16 2/3 Hz. La couche conductrice externe permettra alors de diminuer l'épaisseur de la couche magnétique.

Au plan de l'optimisation prix-performances du câble, seul le dernier cas est à examiner. On montre cependant que, la plupart du temps, le câble à structure simple est le plus économique [4].

L'utilisation des abaques des câbles à structure générale ne présente plus la simplicité de celle des abaques des

Punktes $r_k \neq r_{kmf}$ angewendet werden. Es genügt, die Parameter folgendermassen abzuändern:

$$A_2 = A_1 \left(\frac{\text{abgeänderter Wert } \mu_r}{\text{ursprünglicher Wert } \mu_r \text{ des Nomogramms}} \right) \text{ und}$$

$$\left(\frac{E_{23}}{D_m} \right)_2 = \left(\frac{E_{23}}{D_m} \right)_1 \cdot \left(\frac{\text{abgeänderter Wert } H}{\text{ursprünglicher Wert } H \text{ des Diagramms}} \right)$$

7. Kabel mit Allgemeinaufbau

Die Einführung einer äusseren leitenden Schicht R_F entspricht einer Verlagerung des Leitungsnetzes um 45° (im Nomogramm Log/Log), mit einer Vergrösserung des Massstabs A. Die Anwendung der Gleichungen (2) und (3) zur Berechnung der Kabel mit Allgemeinaufbau führen zu nicht unvernachlässigbaren Unterschätzungen des Reduktionsfaktors und der Spannung E_{23} (20 ... 40%). In diesem Fall müssen die allgemeinen Formeln benutzt werden.

Es kann bewiesen werden, dass sich die Verwendung von Kabeln allgemeinen Aufbaus nur lohnt, wenn

- die Verlegungsbedingungen eine äussere Metallgleitschicht erfordern
- die äussere Thermoplastschicht vor Durchbrüchen, beispielsweise infolge Blitzschlag, geschützt werden muss
- der minimale Reduktionsfaktor r_{kmf} bei hohen Spannungen $E_{23} \geq 300 \text{ V/km}$ und einer Frequenz von $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ liegen muss und die äussere Leitschicht daher eine Verringerung der Magnetschichtdicke erlaubt.

Wenn die günstigste Lösung betreffend Preis und Leistung des Kabels gefunden werden soll, ist einzlig der letzte Fall zu prüfen. Es wird jedoch gezeigt, dass das Kabel mit einfacherem Aufbau im allgemeinen am günstigsten ist [4].

Die Nomogramme für Kabel mit Allgemeinaufbau sind nicht so einfach im Gebrauch wie jene für Kabel mit einfacherem Aufbau. Diese können jedoch für Grobschätzungen verwendet werden, wenn man folgende Erwägungen in Betracht zieht:

Wenn die leitende Aussenschicht R_F ausser acht gelassen wird, liegt der ermittelte Reduktionsfaktor bei Punkt 1.1 der Figuren 3 und 4, während sich der tatsächliche Reduktionsfaktor bei Punkt 2 befindet.

Bei Kombinationen von R_F und R_g (Parallelwiderstände) befindet sich der ermittelte Wert r_k bei Punkt 1.2 der Figuren 3 und 4, während sich der tatsächliche Reduktionsfaktor bei Punkt 2 befindet.

Für die Wahl der einen oder anderen Methode kann man sich auf die Angaben in Tabelle II stützen.

Die Verwendung der Nomogramme erlaubt also lediglich eine Grobschätzung der Kabeleigenschaften mit Allgemeinaufbau (wobei wenn $R_F \rightarrow \infty$) die Schätzung genauer wird). Die präzise Bestimmung des Reduktionsfaktors erfordert jedoch eine genaue Berechnung.

Zum Schluss sei bemerkt, dass es eine Methode zur Verwendung der Nomogramme für Kabel mit einfacherem Aufbau gibt. Sie besteht darin, den Reduktionsfaktor eines Kabels mit Allgemeinaufbau zu messen und mit diesen Werten unter Anwendung der Gleichung (2) die entsprechende Permeabilität des Stahls zu ermitteln. Dieser fiktive Wert wird dann für die Berechnung verwendet, wobei das Vor-

câbles à structure simple. On peut cependant avoir recours à ces derniers pour d'obtenir une approximation grossière si l'on tient compte des considérations suivantes:

En négligeant la couche conductrice externe R_F , le facteur de réduction obtenu sera situé aux points 1.1 des figures 3 et 4 alors que le facteur de réduction réel se trouvera au point 2.

En combinant R_F à R_g (résistances en parallèles), le facteur de réduction obtenu sera aux points 1.2 des figures 3 et 4 alors que la valeur réelle se situera au point 2.

Le choix entre l'une ou l'autre des méthodes peut être guidé par les indications du tableau II.

L'application des abaques permet donc uniquement une évaluation grossière des caractéristiques du câble à structure générale (évaluation qui s'améliore avec $R_F \rightarrow \infty$). Une détermination exacte de celles-ci nécessite un calcul rigoureux.

Notons pour terminer qu'il existe une méthode pour appliquer les abaques des câbles à structure simple, au calcul du facteur de réduction des câbles à structure générale. Elle consiste à mesurer le facteur de réduction d'un câble à structure générale et à déterminer, partant de ces valeurs portées dans la formule (2), la perméabilité correspondante de l'acier. Cette valeur fictive est alors utilisée pour le calcul, ce qui exige naturellement des connaissances approfondies en la matière.

Finalement on peut constater l'intérêt des abaques pour la comparaison des constructions, si l'on compare les

Tableau II. Critères de choix de la méthode simplifiée pour l'application des abaques aux câbles à structure générale

Tabelle II. Kriterien für die Wahl der vereinfachten Anwendungsmethode der Nomogramme für die Kabel mit Allgemeinaufbau

Spécification	Câble à structure générale	Câble équivalent à structure simple	
Bezeichnung	Kabel mit Allgemeinaufbau	Ersatzkabel mit einfachem Aufbau	16 2/3 Hz 50 Hz
Diamètre sur plomb	29	29	29
Durchmesser auf Blei			
F Aldrey	1 x 1,2	1,3	1,3
D _m	35,4	35,6	35,6
'S _{Fe}	1,4	1,5	2,4
FF1,2 _{Ac}	2 x 1,2	—	—
Diamètre sur dernière couche	46,2	37,6	40,0
Durchmesser auf letzte Schicht			
R _g	0,26	0,245	0,239
R _F	0,454	∞	∞
R _T = (R _g ⁻¹ + R _F ⁻¹) ⁻¹	0,165	0,245	0,239
f	16 2/3	16 2/3	16 2/3
r _k	0,09	0,087	0,056
E ₂₃	97	94	147
E ₂₃ /D _m	2,73	2,64	3,99
A	0,0395	0,0421	0,0652
f	50	50	50
r _k	0,021	0,03	0,02
E ₂₃	410	270	420
E ₂₃ /D _m	11,58	7,58	11,41
A	0,0395	0,0421	0,0652
$R_T = R_g; \quad R_T = R_g//$ $R_F = \infty \quad R_F R_F = \infty$			
f	16 2/3 50	16 2/3 50	
r _k	0,099 0,034	0,062 0,022	
E ₂₃	89 253	88 253	
E ₂₃ /D _m	2,5 7,15	2,5 7,15	
A	0,0395 0,0395	0,0395 0,0395	
Δr _k	+10% +62%	-42% + 5%	
ΔE ₂₃	-8% -38%	-9,3% -38%	

gehen natürlich die genaue Kenntnis der Problematik bedingt.

Der Vorteil der Nomogramme für den Vergleich verschiedener Kabelaufbauten lässt sich schliesslich feststellen, wenn man die Punkte 1.1 und 1.2 mit Punkt 2 in den Figuren 3 und 4 vergleicht. Es wird offensichtlich, dass ein Kabel mit Allgemeinaufbau (Punkt 2) mit Erfolg durch ein Kabel einfachen Aufbaus mit den in Tabelle III angegebenen Eigenschaften ersetzt wird.

Adresse des Autors: Pierre Benoît, Kabelwerke Cortaillod, CH-2016 Cortaillod,

points 1.1 et 1.2 au point 2 des figures 3 et 4. On voit, dans ce cas, que le câble à structure générale (point 2) peut être avantageusement remplacé par un câble à structure simple, ayant les caractéristiques données dans le tableau III.

Adresse de l'auteur: Pierre Benoît, Câbleries de Cortaillod, CH-2016 Cortaillod.

Bibliographie

- [1] Benoît P. Protection des câbles de télécommunications contre les perturbations électromagnétiques. Zurich, Bulletin des Câbleries de Brugg, Cortaillod et Cossy, 1973, n° 1, p. 13...18.
– Schutz von Übermittlungskabeln gegen elektromagnetische Störungen. Zürich, Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg, Cortaillod, Cossy, 1973, Nr. 1, S. 13...18.
- [2] Benoît P. Schémas électriques équivalents des armures des câbles. Zurich, Revue de l'ASE, 1974, n° 24.
– Elektrische Ersatzschemen der Kabelarmierungen. Zürich, Bulletin SEV, 1974, Nr. 24.
- [3] Benoît P., Sigg M. Mesureur du facteur de réduction 7145. Zurich, Revue de l'ASE (document à paraître).
– Messapparat für den Reduktionsfaktor 7145. Zürich, Bulletin SEV (noch nicht publiziert).
- [4] Robert Ph. Optimisation économique des armures utilisées sur les câbles de télécommunication. Zurich, Bulletin des Câbleries de Brugg, Cortaillod et Cossy, 1974, n° 2.
– Wirtschaftliche Optimisierung der auf Fernmeldekabel verwendeten Armierungen. Zürich, Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg, Cortaillod und Cossy, 1974, Nr. 2.

Tableau III. Comparaison des propriétés d'un câble à structure générale avec celles d'un câble à structure simple

Tabelle III. Vergleich der Eigenschaften eines Kabels mit einfacher Aufbau mit jenen eines Kabels mit Allgemeinaufbau

	Câble à structure générale	Câble à structure simple équivalent, pour f = 16 2/3 Hz
	Kabel mit Allgemeinaufbau	Ersatzkabel mit einfacherem Aufbau für f = 16 2/3 Hz
R _g =	0,26	0,245
R _F =	0,454	∞
D _m =	35,4	35,6
'S _{Fe} =	1,4	1,5
f =	16 2/3	16 2/3
r _k =	0,09	0,087
E ₂₃ =	97	94
Poids – Gewicht	636,4 kg/100 m	435 kg/100 m
Coefficient de qualité prix-performance	0,73	1
Qualitätsziffer Preis-Leistung		
Relativement au câble à structure générale en %		
Vergleich zum Kabel mit Allgemeinaufbau in %		
Poids Gewicht		-32%
Coeff. de qualité		+27%
Qualitätsziffer		