

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**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:** 13.03.2026

**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 modificazione 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 armures<sup>1</sup> 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.

<sup>1</sup> 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 Armierung<sup>1</sup> 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 Haupteigenschaften jener Armierung zu bestimmen, die den vorher festgelegten Reduktionsfaktor gewährleisten.

<sup>1</sup> «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 1*, 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  $\Omega/\text{km}$

$X = 2\pi f (L_g + L_o) = \omega (L_g + L_o)$  en  $\Omega/\text{km}$

$L_g$  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

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

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

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 Übermittlungsleitung 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 1* 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  $\Omega/\text{km}$

$X = 2\pi f (L_g + L_o) = \omega (L_g + L_o)$  in  $\Omega/\text{km}$

$L_g$  Induktivität der Armierung in H/km

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

$f$  Frequenz des Störstromes in Hz

wobei

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

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

mit  $H$  Magnetfeld in A/m

$J$  Störstrom in A in der Armierung

$S_{Fe}$  tatsächlicher magnetischer Querschnitt der Armierung in  $\text{m}^2$  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 –<br>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 –<br>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 Verseilsschritt aufgebracht  
C = Zwei Stahlbänder mit 10...30% Bandabstand, in zwei übereinander aufgebrachten Lagen, wobei die Aussenlage den landfreien 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  
 $\mu_o$  perméabilité absolue du vide en H/m  
 $\mu_r$  perméabilité relative des feuillards C

$\mu_o$  Induktionskonstante des Vakuums in H/m  
 $\mu_r$  relative Permeabilität der Eisenbänder C

##### 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  $\mu_r$ .

##### 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  $\mu_r$  des Stahls.

Die Betrachtung der Formeln 2 und 3 für ein Kabel mit einfachem 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.

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  $f$ ,  $\mu_r$ ,  $H$  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

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

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

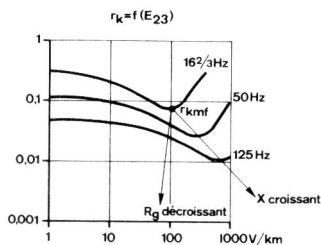


Fig. 1  
Effet d'une variation des paramètres électriques sur le facteur de réduction pour les câbles à structure simple – Auswirkung einer Veränderung der elektrischen Parameter auf den Reduktionsfaktor für ein Kabel mit einfachem Aufbau

$r_{kmf}$  facteur de réduction minimum – Minimaler Reduktionsfaktor

$X$  croissant –  $X$  zunehmend

$R_g$  décroissant –  $R_g$  abnehmend

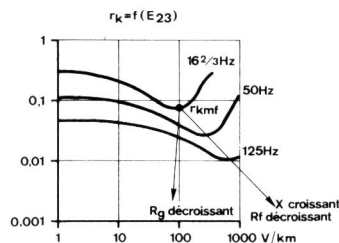


Fig. 2  
Effet d'une variation des paramètres électriques sur le facteur de réduction pour les câbles à structure générale – Auswirkung einer Veränderung der elektrischen Parameter auf den Reduktionsfaktor für ein Kabel mit Allgemeinaufbau

$r_{kmf}$  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)

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

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

ersetzt. Dies erlaubt, mit den Parametern  $f$ ,  $\mu_r$ ,  $H$  und  $L_o$ , eine einzige Kurvenschar für alle Kabel einzuzichnen.

### 6.1 Anwendung der Nomogramme

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

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

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

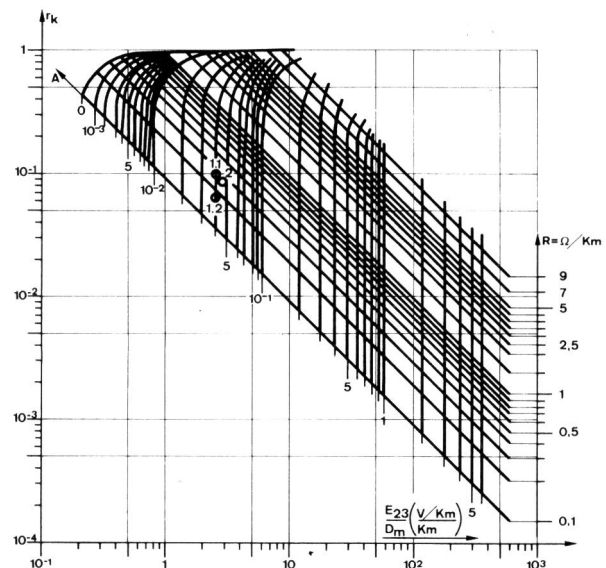


Fig. 3  
Abaque pour les câbles à structure simple (16 $\frac{2}{3}$  Hz) – Nomogramme für die Kabel mit einfachem Aufbau (16 $\frac{2}{3}$  Hz)

$R$  résistance en continu du système gaine-armure [ $\Omega/\text{km}$ ] – Gleichstromwiderstand des Systems Umhüllung-Armierung [ $\Omega/\text{km}$ ]

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

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

$D_m$  diamètre magnétique moyen – Mittlerer magnetischer Durchmesser [mm]

Paramètres – Parameter

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

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

$\mu_r$  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





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  $\Omega/\text{km}$  et une section magnétique effective comprise entre 1,6 et 3,6  $\text{m}^2$ , conformément aux calculs ci-après:

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

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

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

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

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  $\mu_r$  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 para-

mètres  $A$  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 décalage à  $45^\circ$  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  $45^\circ$  (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 2/3 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 einzig der letzte Fall zu prüfen. Es wird jedoch gezeigt, dass das Kabel mit einfachem Aufbau im allgemeinen am günstigsten ist [4].

Die Nomogramme für Kabel mit Allgemeinaufbau sind nicht so einfach im Gebrauch wie jene für Kabel mit einfachem 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 einfachem 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<br>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 <sub>Fe</sub>                   | 1,4                        | 1,5                                                 | 2,4      |
| FF1,2 <sub>Ac</sub>                | 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                      | $\infty$                                            | $\infty$ |
| $R_T = (R_g^{-1} + R_F^{-1})^{-1}$ | 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   |

|                 |                                 |                                   |  |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|--|
|                 | $R_T = R_g$ ;<br>$R_F = \infty$ | $R_T = R_g/R_F$<br>$R_F = \infty$ |  |
| 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                     |  |
| $\Delta r_k$    | +10 % +62 %                     | -42 % +5 %                        |  |
| $\Delta E_{23}$ | -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 Auteurs: 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 Cossonay, 1973, n° 1, p. 13...18.  
– Schutz von Übermittlungskabeln gegen elektromagnetische Störungen. Zürich, Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg, Cortaillod, Cossonay, 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 Cossonay, 1974, n° 2.  
– Wirtschaftliche Optimierung der auf Fernmeldekabel verwendeten Armierungen. Zürich, Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg, Cortaillod und Cossonay, 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 einfachem 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 einfachem Aufbau für f = 16 2/3 Hz      |
| $R_g =$                                         | 0,26                       | 0,245                                                   |
| $R_F =$                                         | 0,454                      | $\infty$                                                |
| $D_m =$                                         | 35,4                       | 35,6                                                    |
| 'S <sub>Fe</sub> =                              | 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 % | Poids                      | —32 %                                                   |
| Vergleich zum Kabel mit Allgemeinaufbau in %    | Coeff. de qualité          | +27 %                                                   |
|                                                 | Qualitätsziffer            |                                                         |