Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 88 (1997)

Heft: 15

Artikel: Technologie des câbles 420 kV : comparaison des câbles THT à isolation PPLP et XLPE

Autor: Contalbrigo, Edgardo / Krähenbühl, Francis

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902219

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: 11.12.2025

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

Dans le domaine des câbles 420 kV, outre le câble à isolation papier imprégné d'huile fluide, il existe aujourd'hui deux autres possibilités: les câbles à isolation PPLP (Poly Propylene Laminated Paper), où le papier est remplacé par un ruban de polypropylène laminé entre deux couches de papier, et les câbles à isolation extrudée en XLPE (polyéthylène réticulé). Les caractéristiques principales de ces deux nouveaux types de câbles sont présentées et comparées dans cet article.

Technologie des câbles 420 kV

Comparaison des câbles THT à isolation PPLP et XLPE

■ Edgardo Contalbrigo et Francis Krähenbühl

Dans les câbles 420 kV, il existe aujourd'hui deux alternatives au câble classique à isolation papier imprégné d'huile fluide:

- les câbles à isolation PPLP; il s'agit de rubans laminés tricouche de papier et de polypropylène, rubannés et imprégnés d'huile,
- les câbles à isolation extrudée en polyéthylène réticulé (XLPE), qui, grâce aux progrès réalisés dans la fabrication des matériaux de base et surtout dans la mise en œuvre, ont atteint la fiabilité nécessaire pour être utilisés dans les réseaux très haute tension (THT).

Dans le cadre de projets de liaison 420 kV, des essais de type complets ont été effectués avec succès tant pour les câbles XLPE que PPLP. Les caractéristiques principales de ces deux types de câbles sont comparées dans cet article.

Les isolations en PPLP et XLPE

Isolation en PPLP

Pour la très haute tension (400 kV et plus), de nouveaux types de rubans, appelés PPLP (Poly Propylene Laminated Paper), sont utilisés. Ils ont l'avantage de combiner la technologie de mise en œuvre traditionnelle des câbles à papier imprégné (figure 1) avec les excellentes propriétés électriques et diélectriques des isolants synthétiques. Le PPLP est une isolation tricouche constituée d'une feuille de polypropylène (PP) laminée entre deux feuilles de papier. Le PP améliore la qualité de l'isolant, alors que les feuilles de papier assurent la circulation de l'huile entre les couches. Par rapport aux isolations papier, le PPLP présente une tension de claquage plus élevée et surtout des pertes diélectriques plus faibles. Apparue à la fin des années 80, l'isolation PPLP reste réservée aux câbles de tension 400 kV et plus, en raison d'une part de son prix plus élevé que celui du papier, et d'autre part de l'utilisation de plus en plus généralisée des isolants extrudés pour des tensions jusqu'à 220 kV.

Isolation en XLPE

Le polyéthylène réticulé (XLPE) a fait son apparition dans les années 70.

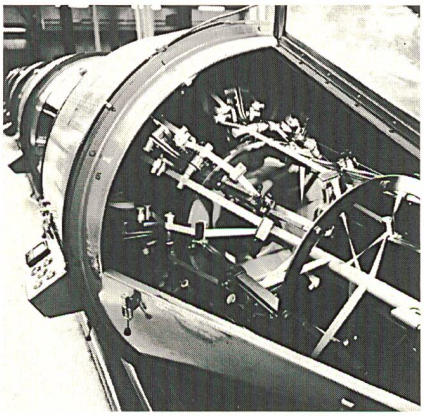


Figure 1 Ligne de rubannage pour câbles PPLP
Vue d'un des guipeurs avec l'enceinte de confinement ouverte

Adresses des auteurs
Edgardo Contalbrigo, ing. électricien, Chef Développement+labos, Câbles Transmission et Distribution, et Dr *Francis Krähenbühl,* ing. chimiste, Chef Lignes de produits Transmission et Distribution, Alcatel Cable Suisse SA, 2016 Cortaillod

D'abord utilisé pour les câbles moyenne tension, il est aujourd'hui employé comme isolant dans les câbles très haute tension (THT). Bien entendu, sa mise en œuvre aux niveaux de tension 400 kV et plus nécessite une technologie de pointe et des outils de production et d'essai très sophistiqués. Parmi les éléments importants, on peut mentionner:

- la sélection rigoureuse des matières isolantes et semi-conductrices, qui doivent être de pureté élevée,
- le filtrage contrôlé lors de la mise en œuvre,
- l'extrusion triplecouche (semi-conducteur intérieur, isolant et semi-conducteur extérieur dans un outillage unique),
- l'obtention d'interfaces isolant–semi-conducteurs parfaitement lisses,
- une protection de l'isolation contre la pénétration d'humidité,
- un essai de routine sélectif, en mesure d'éliminer tout défaut.

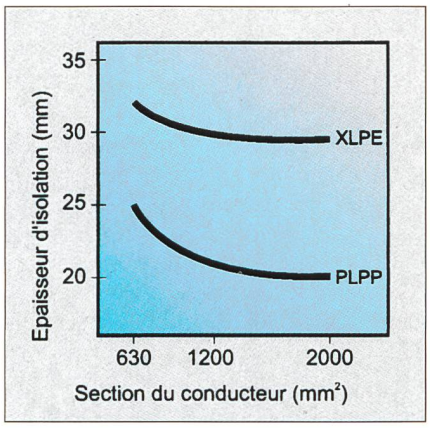


Figure 2 Epaisseur d'isolation des câbles 420 kV PPLP et XLPE

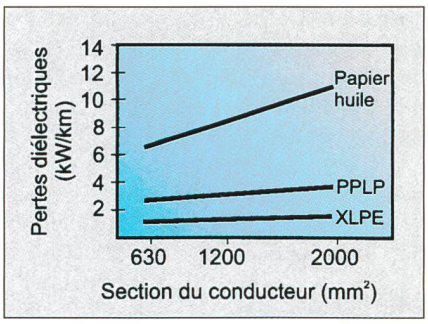


Figure 3 Pertes diélectriques par phase des câbles 420 kV

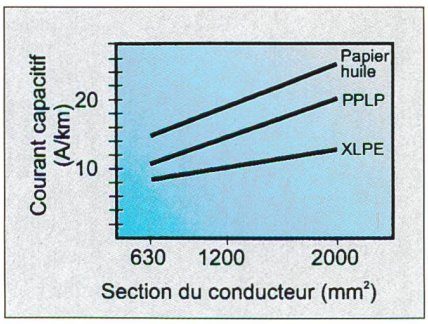


Figure 4 Courant capacitif par phase des câbles 420 kV

Comparaison des câbles PPLP et XLPE

Dimensionnement du champ électrique

Historiquement, les câbles à isolation papier et huile fluide et, par analogie, les câbles PPLP, ont été dimensionnés pour tenir le champ maximum en chocs. Cette manière de faire a donné de bons résultats à long terme en service en tension alternative.

Lors du dimensionnement des câbles à isolation XLPE, il faut tenir compte du champ maximum en choc *et* en alternatif, ainsi que de l'effet de volume sur la tension de claquage de l'isolation. Cet effet de volume dépend de la géométrie du câble et des propriétés de l'isolation. Il a pour conséquence de diminuer le champ électrique maximum admissible en passant de câbles de petite taille aux câbles de fortes dimensions.

La figure 2 illustre, à titre d'exemple, les épaisseurs d'isolation en fonction de la section du conducteur. Dans le cas des câbles PPLP, l'épaisseur d'isolation est déterminée sur la base d'un champ maximum de tenue avec la relation

$$t = r_i \cdot \left(\exp \frac{V}{r_i \cdot E_i} - 1 \right) \qquad (1)$$

où signifient

t épaisseur de l'isolation [mm]
r_i rayon interne de l'isolation [mm]
V tension appliquée [kV]
E_i champ maximum de tenue de l'isolant [kV/mm]

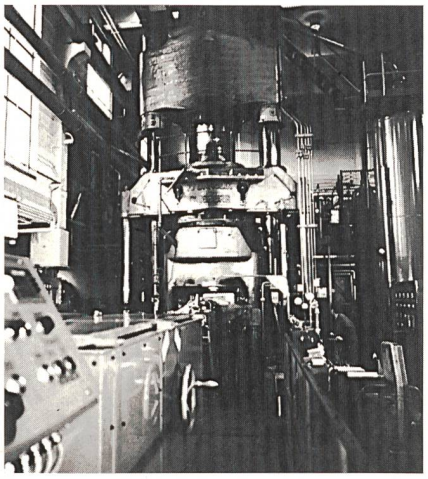


Figure 5 Presse pour l'extrusion en continu des gaines en aluminium

Dans le cas du PPLP, l'épaisseur diminue donc exponentiellement lorsque le diamètre du conducteur augmente. Par contre, pour les câbles XLPE, cette diminution est atténuée par l'influence de l'effet de volume sur le champ maximum de tenue (E_i).

Pertes diélectriques

Les pertes diélectriques à 50 Hz (W_d, en W/km) dépendent de la capacité (C, en F/km), de l'angle de pertes (tg δ) et de la tension appliquée (U_0, en V):

$$W_d = U_0^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg}\ \delta \qquad (2)$$

Pour les constructions typiques de câbles 420 kV à isolation PPLP et XLPE, les pertes diélectriques sont représentées dans la figure 3, en comparaison de celles des câbles papier imprégné d'huile.

Courant capacitif

Le courant capacitif (I_c, en A/km) à 50 Hz dépend de la capacité (C, en F/km) et de la tension appliquée (U_0, en V).

$$I_c = U_0 \cdot \omega \cdot C \qquad (3)$$

Elément	PPLP	XLPE
Conducteur	doit comporter un canal pour l'huile	sans canal, éventuellement avec étanchéité longitudinale à l'eau
Gaine métallique	extrudée en Al ou Pb avec frettage, étanche et résistante à la pression (fig. 5) l'huile doit pouvoir se propager longitudinalement entre l'isolation et la gaine	en Al, Cu ou Pb; dans les cas de pose en galerie sèche un écran composé de fils et ruban métalliques collé (AlPE ou CuPE) peut être envisagé entre gaine et isolation, il est conseillé de disposer d'éléments empêchant la propagation longitudinale de l'eau en cas d'endommagement de la gaine métallique

Tableau I Influence du type d'isolant sur d'autres éléments du câble

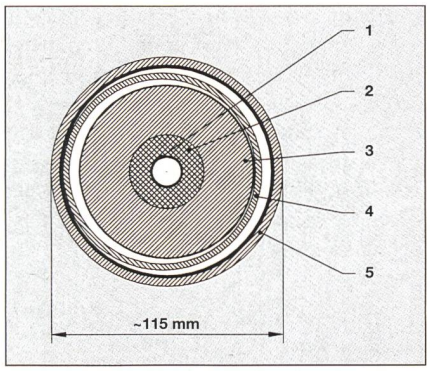


Figure 6 Coupe d'un câble PPLP 420 kV 630 mm²

1 canal pour la circulation de l'huile
2 conducteur
3 isolation PPLP
4 gaine ondulée en Al extrudé
5 gaine extérieure thermoplastique

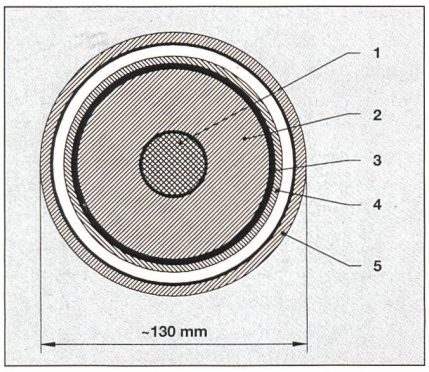


Figure 7 Coupe d'un câble XLPE 420 kV 630 mm²

1 conducteur
2 isolation XLPE
3 rubans gonflants (étanchéité longitudinale)
4 gaine ondulée en Al extrudé (étanchéité radiale)
5 gaine extérieure thermoplastique

Pour les constructions typiques de câbles 420 kV à isolation PPLP et XLPE, les courants capacitifs sont représentés dans la figure 4, en comparaison de ceux des câbles papier imprégné d'huile.

Construction des câbles

Le type d'isolation, PPLP ou XLPE, a une influence directe sur d'autres éléments du câble, comme le montre le tableau I. Les figures 6 et 7 illustrent des constructions typiques de câbles 420 kV PPLP et XLPE. Le diamètre extérieur des câbles XLPE est généralement plus élevé que celui des câbles PPLP.

Courant admissible en service

Les températures maximum de service sont de 85 °C pour le PPLP et de 90 °C pour le XLPE. Cette différence, ainsi que des pertes diélectriques plus élevées pour le PPLP, ont pour conséquence un courant maximum admissible en service légèrement plus élevé pour les câbles à isolation XLPE.

Lors du dimensionnement d'une liaison câblée THT, la section des conducteurs n'est pas uniquement déterminée sur la base du courant maximum admissible, mais souvent par rapport au coût des pertes. La petite différence au niveau du courant maximum est donc fréquemment négligée.

Accessoires

Une gamme complète d'accessoires est prévue pour les câbles PPLP et XLPE. Les techniques de construction des accessoires varieront toutefois en fonction du type d'isolation.

Extrémités

Les isolateurs, tant pour les extrémités extérieures que pour les extrémités SF_6 ou d'entrée de transformateur, sont les mêmes dans les deux cas. Dans le cas des extrémités extérieures sur câbles XLPE, il est possible d'utiliser, en plus des isolateurs en porcelaine, des extrémités composites (figure 8). Il s'agit d'isolateurs constitués d'un tube en époxy renforcé de fibre de verre et recouvert d'ailettes en élastomère.

Il est intéressant de noter que les essais et l'expérience en service ont montré que les isolateurs composites sont, de tout point de vue, au moins équivalents à la porcelaine. Ils offrent en plus l'avantage d'un poids réduit.

Le guidage du champ électrique dans les extrémités est réalisé au moyen de déflecteurs prémoulés en élastomère, enfilés sur les câbles XLPE. Pour les câbles PPLP, il s'agit soit de déflecteurs réalisés en enroulant du papier imprégné directement sur l'isolation du câble, soit de cônes condensateurs préfabriqués avec un diamètre intérieur parfaitement adapté à l'isolation. Après montage, il est nécessaire de procéder à un séchage et imprégnation sous vide.

Jonction

Dans le cas du câble PPLP, l'isolation de la jonction est réalisée par rubannage,

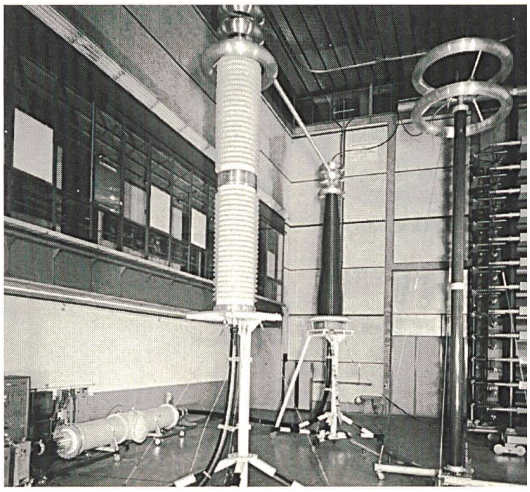


Figure 8 Extrémités 420 kV pour l'extérieur

premier plan: isolateur composite
arrière-plan: isolateur porcelaine

sur le site, soit avec du ruban PPLP, soit avec du papier HT traditionnel. Les étapes principales en sont:

- sertissage du conducteur en conservant un canal central pour l'écoulement de l'huile et en compactant la douille à sertir jusqu'à un diamètre très proche de celui du conducteur lui-même,
- reconstitution de l'isolation, avec ses couches semi-conductrices,
- rubannage de la jonction à sa forme calculée,
- reconstitution de l'écran de terre,
- pose d'une enveloppe métallique soudée à la gaine métallique du câble et parfaitement étanche,
- séchage et imprégnation.

Dans le cas du câble XLPE, la réalisation de la jonction est basée sur l'utilisation d'un corps isolant préfabriqué moulé en une seule pièce avec les électrodes incorporées (figure 9).

Jonction d'arrêt

Dans les liaisons en câbles à huile, il est parfois nécessaire d'interrompre le circuit hydraulique (fortes dénivellations,

Essais	PPLP	XLPE
Essais de tension à 50 Hz		
• pendant 24 heures	481 kV	–
• pendant 20 jours avec cycles de charge	–	440 kV
Essais de choc à chaud		
• à 90 °C, 10 chocs + et –	1425 kV	–
• à 95 °C, 10 chocs + et –	–	1425 kV
Essais de tension à 50 Hz		
• pendant 15 min	378 kV	550 kV

Tableau II Essais de tension effectués lors des essais de type dans l'ordre chronologique

	PPLP	XLPE
Dimension câbles	diamètre extérieur légèrement plus petit	diamètre extérieur légèrement plus grand
Charges admissibles	légèrement inférieures	légèrement supérieures
Courant de court-circuit	comparable	comparable
Pertes diélectriques	3 kW / km	env. 1 kW / km
Courant capacitif	env. 15 A / km	env. 10 A / km
Extrémités	construites sur place	préfabriquées
Jonctions	construites sur place	préfabriquées
Pose	comparable	comparable
Montage	plus long, en particulier pour le séchage et l'imprégnation	plus simple et plus rapide
Surveillance en service	nécessite une surveillance pour le circuit hydraulique, mais ce dernier permet de voir «vivre» le câble	ne nécessite une surveillance que pour les extrémités extérieures (SF_6); par contre peu de possibilités de contrôles (évent. mesure de la température par fibre optique)
Expérience en service	bonne et de très longue durée	bonne, mais pas encore à très long terme
Environnement	faible risque de pollution	

Tableau III Comparaison des câbles PPLP et XLPE 420 kV

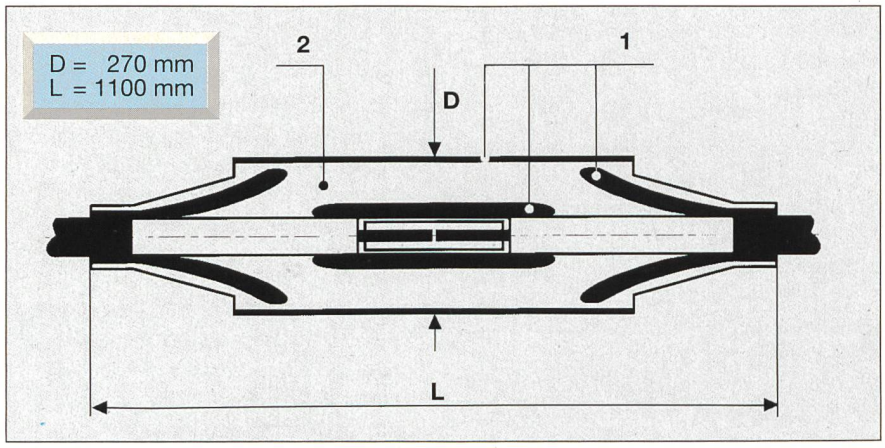


Figure 9 Corps de jonction prémoulé pour câble XLPE 420 kV

1 électrodes en élastomère semi-conducteur
2 isolation

grande longueur de liaison). Pour réaliser cette interruption, on utilise deux extrémités de type SF_6 ou d'entrée de transformateur montées dans une enceinte métallique.

Réservoirs de compensation

Dans le cas des câbles à huile, pour maintenir la pression interne dans les limites de fonctionnement malgré les variations de volume de l'huile sous l'influence de la température, on utilise des éléments de compensation. Il s'agit le plus souvent de réservoirs comportant des cellules anéroïdes prégonflées avec de l'azote. Ces réservoirs sont reliés au circuit hydraulique des câbles au moins à une des extrémités. Les pressions de fonctionnement sont généralement comprises entre 0,5 et 8 bar.

Essais de type

Des essais de type complets ont été effectués avec succès sur les câbles 420 kV PPLP, selon la norme CEI 141-1, et sur les câbles 420 kV XLPE, selon la norme CEI 840 (adaptée au niveau de tension 420 kV). Les principaux essais de tension effectués lors des essais de type figurent dans le tableau II.

Conclusion

On dispose aujourd'hui de deux types de câbles fiables pour les réseaux 420 kV: le câble à isolation PPLP, qui utilise la technologie bien éprouvée des câbles à huile fluide sur lesquels il a un avantage certain en ce qui concerne les pertes diélectriques et le câble à isolation XLPE dont l'isolant ainsi que les couches semi-conductrices interne et externe sont mis en œuvre par extrusion simultanée (triple tête).

La comparaison objective des caractéristiques de ces deux types de câbles (voir tableau III) donne un léger avantage à l'isolation XLPE, en raison de pertes diélectriques encore moins élevées que pour l'isolant PPLP, et surtout de l'absence d'huile et des problèmes qui en découlent (pollution, installation de réservoirs de compensation, etc.).

Néanmoins, lors du choix du type de câble, en particulier en ce qui concerne les grandes liaisons THT, la durée de l'expérience acquise en service dans les réseaux joue un rôle très important. Pour cette raison, les câbles PPLP – profitant des bons résultats obtenus depuis de nombreuses années par les câbles à isolation papier imprégné à huile fluide – sont souvent préférés.

Technologie der 420-kV-Kabel

PPLP- und XLPE-Höchstspannungskabel im Vergleich

Für die 420-kV-Spannungsebene stehen heute neben den Öl-Papier-Energiekabeln zwei weitere Kabeltypen im Angebot, nämlich die PPLP(Poly Propylene Laminated Paper)-Kabel, bei denen anstelle des Papiers ein zweiseitig mit Papier beschichtetes Polypropylenband eingesetzt wird (Bilder 1 und 6), und die durch Extrusion hergestellten Polyäthylen(PE)-isolierten XLPE-Kabel (Bild 7). Die beiden Kabeltypen werden im Artikel näher beschrieben (Bilder 2–9, Tab. I).

Im Rahmen eines 420-kV-Projektes wurden an Höchstspannungskabeln der Typen XLPE und PPLP komplette Typenprüfungen durchgeführt (Tab. II). Die für den praktischen Einsatz relevanten Eigenschaften dieser Kabel sind in Tabelle III einander gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, dass die Vorteile der XLPE-Kabel bei den geringeren dielektrischen Verlusten und der Abwesenheit der Ölproblematik liegen. Demgegenüber spricht die bessere Langzeiterfahrung (noch) eher für die PPLP-Kabel.

Gut gezielt

Unsere vordersten Anliegen: Rasch und präzise den Forderungen unserer Kunden entsprechen, ihre neuen Bedürfnisse frühzeitig erkennen, ihre Erwartungen erfüllen, als ihr Teampartner auftreten und ihre Projekte innert kürzester Zeit realisieren. Denn mehr als je, bei ihnen wie bei uns, gilt die Devise: Zeit ist Geld. Gemeinsam werden wir gewinnen!

ALCATEL

Alcatel Kabel Schweiz AG, CH-2016 Cortaillod, Schweiz Tel. 032 843 55 55 Fax 032 843 54 43 Web: http://www.alcatel-cable.ch

Kommunikation mit System

Das SEV/SIA-Handbuch für Kommunikationssysteme

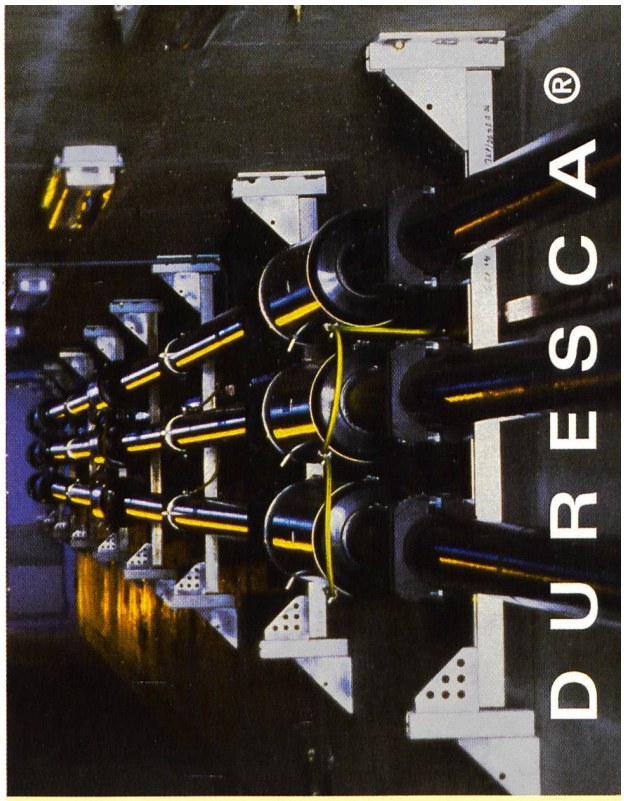
- bietet optimale Informationen und Entscheidungsgrundlagen für Bauherren, Architekten, Elektroplaner, Installateure und Systembetreiber
- ist konzentriert und übersichtlich dargestellt
- ist herstellerneutral verfasst und beschreibt den Stand der Technik vollumfänglich

Handbuch für Kommunikationssysteme	Fr. 360.–*
Spezialpaket für Elektroplaner/Installateure	Fr. 260.–*
Technischer Bericht Sprach- und Datenkommunikation	Fr. 225.–*
Kombination Handbuch für Kommunikationsverkabelung und -systeme	Fr 580.–*

*20% Rabatt für Mitglieder

Schweizerischer Elektrotechnischer Verein
Normen- und Drucksachenverkauf
Luppmenstrasse 1
8320 Fehraltorf
Fax 01/956 11 68
Tel. 01/956 11 65/66

SEV ASE



Die beste Wahl innovativer Technologie

Seit ihrer Gründung 1914 hat sich MGC zu einem führenden Hersteller von Leistungstransformatoren, Messwandlern sowie isolierten Stromschienensystemen etabliert. Vertreten in über 20 Ländern bietet MGC weltweit hochentwickelte, kundenspezifische Lösungen an. Profitieren Sie von unserem Know-how, unserer Qualität und Flexibilität. Auf Ihre Kontaktaufnahme freut sich:

MGC MOSER-GLASER

MGC Moser-Glaser & Co. AG
Energie- und Plasmatechnik
Hofackerstrasse 24
CH - 4132 Muttenz / Schweiz

Telefon 061 / 467 61 11
Telefax 061 / 467 63 11
Internet www.mgc.ch