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: 76 (1985)

Heft: 4

Artikel: Internationale Fachtagung über Polymer-isolierte Kabel "Jicable 84"

Autor: Wyler, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904566

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: 24.08.2025

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

Internationale Fachtagung über Polymer-isolierte Kabel «Jicable 84»

C. Wyler

Die technischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Qualitäten von Energiekabeln mit synthetischen Isolationen führen heute zu deren immer breiterer Anwendung in elektrischen Leitungs- und Energieverteilnetzen sowie in Kraftwerken und Unterwerken. Der Einsatz neuer Werkstoffe, die Einführung neuer Fabrikationstechniken, die zunehmenden Kenntnisse über das dielektrische, thermische und thermomechanische Verhalten und neue Betriebsanforderungen sind Faktoren, die eine rapide technologische Entwicklung dieser Bauteile bewirken.
Mit dem Ziel eines weltweiten Informationsaustauschs zwischen allen Interessenten aus der Produktion, der Anwendung und der Forschung von Nieder- bis Hochspannungskabeln mit synthetischer Isolation wurde eine internationale Fachtagung vom 3. bis 9. März 1984 in Versailles organisiert, über die der nachfolgende Beitrag eine Übersicht gibt.

Les câbles conducteurs d'énergie avec isolation synthétique ont des qualités sur les plans technique, économique et d'exploitation qui font que ceux-ci sont aujourd'hui de plus en plus employés dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie ainsi que dans les centrales électriques et les sous-stations. L'utilisation de nouveaux matériaux, l'introduction de nouvelles techniques de fabrication, les connaissances de plus en plus vastes sur le comportement diélectrique, thermique et thermomécanique ainsi que de nouvelles exigences d'exploitation constituent autant de facteurs qui entraînent un développement technologique rapide de ces composants.
Une conférence professionnelle internationale a été organisée du 3 au 9 mars 1984 à Versailles dans le but d'établir un échange international d'informations entre les intéressés travaillant à la production, à l'application et à la recherche pour les câbles basse à haute tension avec isolation synthétique. L'article ci-après donne une présentation générale de cette conférence.

Adresse des Autors
Charles Wyler, Câbles Cortaillod, Energie et Télécommunications, 2016 Cortaillod

1. Nieder- und Mittelspannungskabel

In Europa ist das Leitermaterial in 85% der Fälle Aluminium gegenüber 15% Kupfer. Dieses Verhältnis hat sich in den letzten Jahren, trotz des hohen Aluminiumpreises, noch stärker ausgeprägt, im Gegensatz zur Schweiz, wo die Anteile der Leitwerkstoffe gerade umgekehrt liegen.

Bei Freileitungsnetzen mit isolierten Leitern kristallisieren sich zwei Tendenzen für den Nulleiter heraus: In Frankreich ist er aus Almelec, gleichzeitig Leiter und Tragelement, in Deutschland dagegen sind alle Leiter, Phasen wie Nulleiter identisch und tragen zusammen. Das Aufhänge- und Abspannmaterial ist dementsprechend in beiden Fällen unterschiedlich.

Bei Mittelspannungskabeln werden innere und äussere Halbleiterschichten sowie die Isolation extrudiert, und zwar mit Einfach- und Doppelspritzköpfen oder im Triplexverfahren. Eine deutsche Besonderheit ist, für den Inlandmarkt fast nur Kabel mit äusserem verschweisstem Halbleiter anzubieten, im Gegensatz zur generellen weltweiten Tendenz, die der schälbaren Halbleiterschicht den Vorzug gibt. Eine präzise Erklärung für diese deutsche Wahl wird nicht gegeben. Es wird nur gesagt, dass die Schäl- und Konus-Schneidwerkzeuge für die Zubehörmontage zur Verfügung stehen und durchentwickelt sind und somit ein schälbarer Halbleiter unnütz ist. (Die Kostenfrage wird keinen unerheblichen Einfluss spielen, da das schälbare Halbleitermaterial erheblich teurer ist als das gewählte.)

Vermehrte Beachtung wird dem Schirmquerschnitt der Kabel mit synthetischer Isolation geschenkt, der dem Leitvermögen der Bleimäntel der alten papierisolierten Kabel angepasst wird.

Der bis jetzt dominierende PVC-Aussenmantel wird vermehrt durch Polyäthylen ersetzt, das gegen Abrieb widerstandsfähiger ist. Auch hier helfen neue Werkzeuge, diesen harten Mantel leichter abzunehmen.

Das Problem, einen wasserdichten, d.h. metallischen Mantel zu benützen, um die «Water-treeing»-Phänomene zu vermeiden, wird ebenfalls angesprochen. Dabei wird die Notwendigkeit der Längsdichtigkeit betont, was unter Berücksichtigung der Dehnungskoeffizienten bei unterschiedlichen Temperaturen nicht einfach ist.

Die Kabelmantelprobleme, verbunden mit der Dehnung der Isolation, werden separat behandelt. Sie führen zu konstruktiven Massnahmen wie z.B. beim äusseren Halbleiter. Die Durchmesseränderungen des Aussenmantels werden durch solche Massnahmen wesentlich herabgesetzt.

2. Hochspannungskabel

Der Einsatz von Kabeln mit Trockenisolation ist heute in vielen Ländern üblich.

Solche Kabel sind schon bis 275 kV mit PE-Isolation und bis zu 150 kV mit EPR-Isolation in Betrieb. Die Entwicklungen für noch höhere Spannungen mit PE-Kabeln zeigen, dass Kabel mit diesem Isoliermedium bis 500 kV denkbar sind. Die max. Betriebsspannung von EPR-Kabeln scheint jedoch tiefer begrenzt zu sein, da in diesem Falle die dielektrischen Verluste Übergewicht erhalten.

Alle Kabel für Spannungen über 60 kV werden mit dichten Mänteln versehen. Diese sind aus Blei, Aluminium hergestellt oder als Schichtenmantel ausgebildet.

3. Werkstoffe und Kabelkomponenten

Metalloplastische Hüllen, sogenannte Schichtenmäntel, sind hinreichend bekannt. Sie erlauben, die Bieg-

samkeit eines plastischen Mantels mit der mechanischen Festigkeit, vor allem der Undurchlässigkeit eines Metallbandes, zu kombinieren. Der plastische Überzug des Metalls verhilft zur innigen Verklebung des Metallmantels während seiner Aufbringung um das Kabel. Die so geschaffene Sperre ist gegen Feuchtigkeit dicht.

Die aus Aluminium und Kopolymer zusammengesetzten Bänder sind seit mindestens 20 Jahren bekannt. Es gibt heute auch überzogene Kupferbänder, die an einem Polyäthylenmantel haften. Die Vorteile des Kupfers gegenüber Aluminium brauchen keiner besonderen Erwähnung.

Die kontinuierliche Erdung der Kabelabschirmungen durch einen halbleitenden Mantel ist keine neue Idee. Abgesehen von den im allgemeinen ungenügenden mechanischen Qualitäten mit Russ beaufschlagter üblicher Plaste, gibt es auch Änderungen der elektrischen Eigenschaften, die mit der Korrosion des Schirmes und der Oxidation der leitenden Zusätze zusammenhängen.

Das Erscheinen neuer, stark leitender Schwarzstoffe auf dem Markt erlaubt Mischungen mit mechanischen und Beständigkeitseigenschaften, die dem klassischen Mantelpolyäthylen vergleichbar sind. Anderseits sichert ein Bindemittel gleicher Leitfähigkeit die Dichtigkeit zwischen Mantel und Abschirmung.

Eine gründliche Analyse mehrerer Typen vernetzter Polyäthylene, die aus verschiedenen Vernetzungsverfahren, unter Dampfdruck, unter Stickstoffdruck und durch Silane stammen, wird wiedergegeben. Die Vorteile der Trokkenvernetzung unter Stickstoff werden bestätigt.

4. Einfluss von Wasser auf synthetische Isolationen

Der negative Einfluss von Wasser auf die dielektrischen Eigenschaften für Energiekabel gebräuchlicher synthetischer Isolationen, seien es Polyäthylen (PE), vernetztes Polyäthylen (VPE) oder Äthylen-Propylen (EPR), ist bekannt. Die Voraussage über das Langzeitverhalten von Kabeln mit extrudierten Isolationen in Abhängigkeit der Feuchtigkeitsmenge, verbunden mit der Betriebstemperatur und dem Spannungsgradienten, ist hingegen komplex und war bis heute Gegenstand zahlreicher sich oft widersprechender Publikationen.

Das Problem der Feuchtigkeitsauswirkung in Isolationen ist mit der Bildung und dem Wachstum elektrochemischer Bäumchen verbunden, die ihrerseits der Ausgangspunkt für gefährliche, da zum Isolationsdurchschlag führende, elektrische Bäumchenbildung werden können.

Bäumchen des «Bowtie»-Typs entwickeln sich aus Fremdeinschlüssen oder Mikrovakuolen in der Isolation; Bäumchen des «Vented»-Typs hingegen finden ihren Ausgang an der Grenzschicht zwischen Halbleiter und Isolation.

Man stellt fest, dass diese «Vented trees» in Funktion der Zeit wachsen und wahrscheinlich die Ursache von Durchschlägen sind, währenddessen das Weiterwachsen der «Bowtie trees» sich im Laufe der Zeit verlangsamt und scheinbar keine ernste Gefahr bildet.

Bäumchen bilden sich unter gleichzeitiger Präsenz einer Inhomogenität der elektrischen Feldstärke und eines bedeutenden Feuchtigkeitsgrades in der Isolation. Die Entstehungs- und Wachstumsmechanismen der Bäumchen haben noch keine unwiderlegbare Erklärung gefunden. Es ist jedoch anerkannt, dass diese Bäumchen die dielektrischen Isolationseigenschaften beeinträchtigen. Ihre Aufdeckung mit der visuellen Methode ist leicht; die indirekten Methoden wie die Messung des tgδ, der Teilentladung oder mit Neutronenaktivierung ist nicht evident.

Drei Hilfsmittel zur Verringerung des Feuchtigkeitseinflusses werden vorgeschlagen:

1. Applizierung adäquater Fabrikationsverfahren mit Verwendung von superglatten Halbleitern, Isoliermaterialfiltrierung zur Vermeidung von Fremdeinschlüssen, Trockenvernetzung zur Herabsetzung der Anzahl Vakuolen und des Feuchtigkeitsgehaltes in der Isolation.

2. Wahl eines angepassten Ausgangsmaterials, wenig empfindlich auf Bäumchenbildung, wie vernetzte Polyäthylene des Typs «tree retardant» oder EPR.

3. Kabelaufbauten, die mit einem dichten metallischen Mantel das Eindringen von Feuchtigkeit verhindern. Letzteres, allerdings wirksames Verfahren lässt den Kabelpreis leider merkbar ansteigen.

5. Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall

Kabel (isolierte Elektroleiter im weitesten Sinn) können Brände auslösen, sie können das Feuer weiterleiten, sie können durch Bildung von Rauch und von giftigen Gasen Personen gefährden und den Feuerwehreinsatz erschweren, und sie können durch Abgabe von aggressiven Stoffen Folgeschäden durch Korrosion verursachen.

Die ersten unter Verwendung von Naturstoffen (Baumwolle, Seide, Papier, Guttapercha, Gummi, Harze und Öle usw.) hergestellten Kabel waren leicht brennbar, hatten also ein ungünstiges Verhalten im Brandfall.

Die chlorhaltigen Kunststoffe (PVC, Chloroprene usw.) brachten eine wesentliche Verbesserung. Als die Forderung erhoben wurde, vor allem auf dem Sektor Massentransporte (Untergrundbahnen, Schiffe), Kabel mit noch besserem Verhalten in bezug auf Brandrisiken zu entwickeln, wurde zuerst versucht, die branddämpfende Wirkung des Chlors zu verstärken durch Zugabe von Antimonverbindungen oder von Phosphorsäure- oder Borsäurekomplexen. Solche Kabel sind effektiv schwer zu entzünden, und sie leiten das Feuer nicht weiter. Werden sie aber durch ein Fremdfeuer, d.h. Brand anderer Materialien in ihrer Nähe, zerstört, so werden Chlor und andere säurebildende Stoffe freigesetzt. *Halogenfreie* Kabel mit *verbessertem Brandverhalten* waren die Antwort der Kabelentwicklung auf diese Forderungen.

Diese halogenfreien Kabel basieren alle auf dem Schutzeffekt des Aluminiumtrioxihydrats ($Al(OH)_3$) und anderer wasserabspaltender mineralischer Füllstoffe. Das bei erhöhten ($> \sim 200$ °C) Temperaturen freigesetzte Wasser kühlt die dem Feuer ausgesetzten Materialien, der Wasserdampf verdrängt den Sauerstoff, und der hohe Mineralstoffanteil verringert den Heizwert, also die bei der Verbrennung freiwerdende Energiemenge.

Als organische Kunststoffkomponente werden Polyäthylen-Kopolymere (EVA usw.) und EPDM verwendet, meistens in vernetztem Zustand.

Das verbesserte Brandverhalten (Feuerausbreitung) wird heute beinahe ausschliesslich in praxisnahen Prüfungen an auf Pritschen oder Leitern montierten Kabelbündeln nachgewiesen. Als neuester Stand der Entwicklung darf dabei wohl die CEI-Empfehlung 332-3 (1982) angesehen werden.

Darin werden nicht nur die Menge der Prüflinge, die Zündbedingungen, sondern auch die übrigen Brandbedingungen (Luftzutritt, thermische Eigenschaften der Kammerwände, Leiterkonstruktion usw.) genau umschrieben.

Die Giftbildung der Rauchgase ist schwierig zu beurteilen. Erfahrungsgemäss sind Kohlenmonoxid und Sauerstoffmangel die Hauptursachen aller Rauchgasvergiftungen. Nun geben aber alle kohlenstoffhaltigen Isoliermaterialien Kohlenmonoxid ab, wenn sie unter Luftmangel hohen Temperaturen ausgesetzt werden. Man prüft deshalb durch detaillierte chemische Analyse der Rauchgase, ob noch andere giftige Stoffe gebildet werden. Aus der Konzentration und den individuellen Toxizitätswerten kann für jedes Rauchgasgemisch ein Schädlichkeitsindex errechnet werden.

Die Korrosivität der Brandgase, also die Tendenz der Materialien, im Feuerfalle Sekundärschäden zu verursachen, hängt von der Bildung von sauren Gasen ab. Zur Messung werden die Rauchgase unter genau festgelegten Bedingungen durch Wasservorlagen geleitet. Leitfähigkeit und pH-Wert der Kondensate sind ein Mass für die Säurebildung, Normen legen die Grenzwerte fest.

6. Atelier «HT 84»

Im Rahmen der «Jicable» wurde ein zusätzliches, Spezialisten vorbehaltenes Seminar abgehalten, dessen Thema folgendermassen definiert war:

«Ist es sinnvoll und möglich, Hochspannungskabel mit synthetischer Isolation temporär oder dauernd auf hohe Betriebstemperaturen zu bringen?»

Die zur Herstellung der Kabel herangezogenen Werkstoffe verformen sich unter dem Einfluss äusserer Beanspruchungen, sobald die Temperatur 90 bis 100 °C erreicht hat. Mehrere Methoden zur Kontrolle der zulässigen Grenzen wurden vorgestellt, und zwar vor allem von japanischen und französischen Herstellern, die, obwohl von unterschiedlichen Kriterien ausgehend, zur folgenden gemeinsamen Schlussfolgerung gelangen: «Die Verformung von Werkstoffen, bei denen eine Temperatur von 105 °C nicht überschritten wird, verursacht keine unzulässigen Beanspruchungen. Für höhere Temperaturen müssen in Verbindung mit den Kabelbetriebsbedingungen neue Untersuchungen angestellt werden.»

In elektrischer Hinsicht nimmt die Qualität von VPE-Isolationen bis zu einer Temperatur von 120 °C rapid ab, um sich in der Folge zu stabilisieren. Der Temperatureinfluss ist bei Beanspruchung mit Stosswellen stärker als mit Wechselspannung.

Die Temperaturerhöhung von Isolationen beschleunigt die auf die Oxidierung zurückzuführende Alterung; dieses Phänomen kann allerdings durch die Verwendung von Antioxidantien begrenzt werden.

Die Teilnehmer sind sich in der Annahme einig, dass die Temperatur starken Einfluss auf quasi alle elektrischen wie mechanischen Phänomene hat, die die Lebensdauer von Kabeln mit synthetischer Isolation beeinträchtigen, und dass hohe Betriebstemperaturen zu angepassten Kabelkonstruktionen, Verlegungen und Fabrikationsparametern zwingen.

Besonders hervorgehoben wurde, dass:

- der Gehalt an Wasser begrenzt werden muss, was zu Kabelaufbauten mit dichten Mänteln führt. Demzufolge ist vor der Ummantelung eine Entgasung von VPE-Kabeln unumgänglich, damit eine auf das Entweichen von Vernetzungsprodukten zurückzuführende Unterdrucksetzung der Kabel vermieden wird;
- wegen der starken Dehnung von VPE bei hohen Temperaturen eine nachgiebige Polsterung zwischen Isolation und Aussenmantel eingelegt werden muss;
- starke Längsbeanspruchungen bei hohen Temperaturen auftreten und zu Kompressionseffekten in engen Kurven führen können.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Nutzung von Kabeln bei Dauerbetriebstemperaturen höher als 80 oder 90 °C höchstwahrscheinlich unwirtschaftlich ist. Für den Ausnahmebetrieb und unter besonderen Bedingungen kann eine temporäre Nutzung bei hoher Temperatur wirtschaftlich vertretbar sein. Eine Leitungsverdoppelung bietet jedoch oft grössere Vorteile, vor allem hinsichtlich der Netzsicherheit.

7. Zusammenfassung

Die aus 30 Ländern an die «Jicable» gekommenen gegen 500 Teilnehmer hatten während dieser Tage Gelegenheit, alle aktuellen, für den Kabelverbraucher wie den Kabelhersteller interessanten Themen zu erörtern. Die geführten Diskussionen haben gezeigt, dass sowohl die Herstellungstechniken wie das Wissen um die spezifischen Phänomene grosse Fortschritte gemacht haben, aber einige Gebiete immer noch unerforscht sind, vor allem was die Lebensdauer der Kabel unter speziellen Betriebsbedingungen anbelangt.

Die Delegierten aus unserem Lande konnten die Feststellung machen, dass trotz der vergleichsweise bescheidenen Forschungsmittel unsere Kenntnisse in diesem Bereich der Technik auf dem Niveau der am weitesten entwickelten Nationen liegen und die Anwendungskriterien in der Schweiz die aktuellen Tendenzen repräsentieren.