Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 39 (1948)

Heft: 1

Rubrik: CIGRE : Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension : 11. Session, Paris 1946 [Fortsetzung]

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: 02.10.2025

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

CIGRE

Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension

11. Session, Paris 1946

(Fortsetzung von Bd. 38(1947), Nr. 15, S. 434) 061.3 : 621.3

2. Sektion:

Bau, Isolation und Unterhalt der Frei- und Kabelleitungen

Gruppe 20: Leitungsbau

550.372(471)

A. Spezifischer elektrischer Widerstand des Bodens und des Wassers in Finnland. Referat von *E. K. Saraoja.* Das Referat, Nr. 201 (Finnland), umfasst 4 Seiten Text mit 3 Tabellen im Text.

Der Verfasser teilt die Ergebnisse von in Finnland ausgeführten Messungen des spezifischen Bodenwiderstandes mit. Die folgenden Werte wurden nach der Vierelektrodenmethode von Wenner bestimmt.

Art des Bodens	Mittlerer spezifischer Widerstand
Lehm	40 Ω m
Kulturboden	150 Ω m
Sand	2 000 Ω m
Kies	15 000 Ω m

Die Oberflächenablagerungen auf dem finnländischen Boden erreichen höchstens eine Dicke von mehreren zehn Metern, und in zahlreichen Fällen ist der Granit sichtbar. Der spezifische Widerstand des trockenen Felsens ist von der Grössenordnung einiger Millionen Ωm, so dass sein scheinbarer spezifischer Widerstand praktisch von seiner Feuchtigkeit und den Ablagerungen in den Ritzen abhängt; er schwankt gewöhnlich zwischen 1000 und 5000 Ωm. Manche aus Moränen bestehenden Teile des finnländischen Bodens sind von einer dünnen Schicht Sumpferde bedeckt. Der Lehm und die anderen gut leitenden Böden sind ziemlich selten, so dass der Durchschnittswert des spezifischen Widerstandes des Bodens für das ganze Land ziemlich hoch ist. Messungen der Induktion zwischen Telephonleitungen und einer benachbarten 110-kV-Fernleitung ergaben einen mittleren spezifischen Widerstand des Bodens von 2700 Ωm, während man in Schweden für alle Induktionsberechnungen einen Mittelwert von 2300 Ωm einsetzt.

Der spezifische elektrische Widerstand ϱ des Bodens hängt vom Feuchtigkeitsgehalt p und dem spezifischen elektrischen Widerstand ϱ_w des Wassers nach der empirischen Beziehung von Hummels ab:

$$\varrho = \left(\frac{1{,}5}{p} - 0{,}5\right) \varrho_w$$

Der Verfasser gibt folgende Messwerte des spezifischen elektrischen Widerstandes des Wassers in Finnland an:

Art des Wassers	Mittlerer spezifischer Widerstand ϱ_w
See- und Flusswasser	250 Ω m
Wasser der Verteilleitungen	70 Ω m
Meerwasser	2,5 Ω m

Der Verfasser behandelt zum Schluss die Ergebnisse von Versuchen, bei welchen der Einfluss der Temperatur auf den spezifischen Widerstand des Bodens gemessen wurde. Der spezifische Widerstand einer an der Bodenoberfläche erstellten Erdelektrode nahm während des Winters von 2 auf 50 Ωm zu, während der einer viel tiefer erstellten Erdelektrode nur von 14 auf 18 Ωm zunahm.

621.315.1(71)

B. Fortschritte in den Fernleitungsnetzen der «Hydroelectric Power Commission» von Ontario. Referat von *A. H. Frampton* und *H. J. Muehleman.* Das Referat, Nr. 202 (Kanada), umfasst 25 Seiten Text mit 9 Figuren und 3 Tabellen im Text.

Die Verfasser schildern zuerst die Entwicklungsgeschichte der 110-kV- und 220-kV-Netze der Hydroelectric Power Commission of Ontario seit deren Bau im Jahre 1908 bzw. 1928 bis heute. Das 220-kV-Netz umfasst 1580 km einfache und 725 km doppelte Leitungen auf Metallmasten; das 110-kV-Netz umfasst 690 km einfache, 1580 km doppelte Leitungen auf Metallmasten und 1560 km einfache Leitungen auf Holzmasten.

Die in der Konstruktion dieser Leitungen erzielten Fortschritte wurden durch die Erfahrungen während Gewittern, Vereisungen und Schneestürmen ermöglicht. Es kam eine Bauweise zur Anwendung, die lange Spannweiten und grosse mechanische Spannungen in den Leitern zulässt.

Es wird der Nachweis erbracht, dass, unter Voraussetzung eines geeigneten Schutzes durch Schutzdrähte und mit Erdungen geringen Widerstandes am Fuss der Masten, die Fernleitungen so gebaut werden können, dass Blitzeinschläge nur sehr selten auftreten. Die Höhe der Schutzdrähte über den Leitern ist genau zu bestimmen; die Ueberspannungsableiter können die Schutzdrähte nicht ersetzen. In Gegenden, wo der Erdungswiderstand hoch ist, kann man die Störungen durch Blitzeinschlag herabsetzen, indem man zusammenhängende Gegengewichte vorsieht. Die Ausrüstung der Leitungen mit automatischen Schaltern und Schutzrelais von grosser Schaltgeschwindigkeit erlaubt dauernde Schäden an den Leitern zu vermeiden, so dass die Unterbrechungen wegen Blitzeinschlags nur noch kurze Zeit dauern.

Die Verschiebungen der mit Rauhreif belasteten einzelnen Leiter und die gegenseitigen Verschiebungen zwischen den Leitern wegen ungleicher Belastung durch Rauhreif können Unterbrüche von langer Dauer verursachen. Es ist also wichtig, genügend grosse horizontale und vertikale Abstände vorzusehen, auch wenn damit die Schwierigkeiten eines wirksamen Blitzschutzes wachsen.

Auftretende Pulsationen können die Betriebsdauer der Leiter stark verkürzen; allerdings kann man die Leitungen gegen diese Erscheinungen mit Hilfe von Schutzvorrichtungen oder Schwingungsdämpfern schützen, wobei die Schwingungsdämpfer vorzuziehen sind [1]).

621.315.66.00273

C. Der Kippwiderstand und die Fundamentfestigkeit der Freileitungstragwerke. Referat von *Ch. Ramelot.* Das Referat, Nr. 206 (Belgien), umfasst 17 Seiten Text mit 13 Figuren im Text.

Die üblichen Methoden zur Berechnung der Fundamente der Freileitungstragwerke verwenden einen offenkundig übertriebenen Standfestigkeitskoeffizienten, dank welchem jedoch die Standfestigkeit sichergestellt ist. Der genaue Wert dieses Koeffizienten lässt sich nicht berechnen; weiter ist die Art und Weise des Widerstandes der Erdarten in den Fundamenten völlig unbekannt, und die angenommene lineare Verteilung der Normalbeanspruchungen in den Fundamenten ist falsch. Die Wichtigkeit der Mastenfundamente darf vom wirtschaftlichen Standpunkt aus jedoch nicht verkannt werden, wenn man bedenkt, dass der Preis der Fundamente 20 % des Gesamtpreises einer Leitung ausmacht.

Mit Rücksicht auf diese Erwägungen hat die Société Intercommunale Belge d'Electricité mit Unterstützung des nationalen Fonds für wissenschaftliche Forschung in Belgien während des Krieges einen mit dem experimentellen Studium der Frage betrauten Ausschuss geschaffen. Die ersten Ergebnisse dieses Studiums werden im vorliegenden Referat zur Sprache gebracht [2]).

[1]) siehe auch *Preiswerk, M.*, und *Dassetto, G.:* Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 14, S. 375...382.

Preiswerk, M., und *Dassetto, G.:* Les systèmes de mesures pour l'enregistrement des vibrations des lignes aériennes. Bull. SEV Bd. 38(1947), Nr. 13, S. 371.. 374.

[2]) siehe auch *Sulzberger, G.:* Die Fundamente der Freileitungstragwerke und ihre Berechnung. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 10, S. 289...307.

Kohler, K.: Beitrag zur Berechnung von Einspannfundamenten für Freileitungen. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 25, S. 729...732.

Die Versuche wurden an verkleinerten Mastfundamentmodellen und vorläufig nur im trockenen Sand ausgeführt. Die erhaltenen Ergebnisse wurden nach den Aehnlichkeitsgesetzen umgerechnet. Die Theorie der Grenzschubkräfte erklärt, warum die experimentellen Ergebnisse für das Sturzmoment etwa 16mal höhere Werte als die nach andern Theorien berechneten ergeben. Anderseits haben die Aehnlichkeitsgesetze zur Bestimmung von Koeffizienten geführt, die von der Querschnittsform des Fundamentes abhängen. Auch wurde der stabilisierende Einfluss des Gewichtes und die Verteilung der Beanspruchung auf die Grundfläche untersucht. Die Versuche werden in natürlichem Boden weitergeführt.

621.315.177

D. Benützung elastischer Vorrichtungen für Freileitungen in Gebieten mit häufigen Erdbewegungen. Referat von *E.Evrard.* Das Referat, Nr. 211 (Belgien), umfasst 13 Seiten Text mit 8 Figuren im Text.

Der Verfasser gibt ein Beispiel für die Benützung elastischer Vorrichtungen, die auf den Masten einer Freileitung montiert sind und eine Verschiebung dieser Masten ohne Betriebsunterbruch bei Bewegungen des Bodens gestatten. Es handelt sich um eine 30-kV-Leitung in der Nähe einer Kohlenminenhalde, deren wachsendes Gewicht Verschiebungen des Bodens und Rissbildung hervorgerufen hat. Die besonderen Massnahmen bestanden darin, die Leiter auf den Masten mit Isolatorketten zu verspannen, die an auf Rollen aufgewickelten und durch Gegengewichte gespannten Seilen befestigt sind. Es wurde ein neuer Fundamenttyp gewählt. Die periodisch vorgenommenen Nachprüfungen haben die Wirksamkeit dieser Massnahmen erwiesen.

621.315.1.027.7

E. Vorbereitung zum Uebergang auf eine neue Spannungsstufe. Bau einer doppelten 220-kV-Leitung, die auch als einfache 400-kV-Leitung verwendbar ist. Referat von *Pierre Ailleret* und *Henri Caillez.* Das Referat, Nr. 213 (Frankreich), umfasst 14 Seiten Text mit 8 Figuren im Text.

Das stete Anwachsen der zu übertragenden Leistungen zwischen den Wasserkraft-Elektrizitätswerken im Süden und den Industriegebieten im Norden Frankreichs lässt voraussehen, dass bis 1955 die Summe dieser Leistungen 1 GW (1 Million Kilowatt) erreichen wird (1935: 0,25 GW). Dies führte zum Bau einer Uebertragungsleitung von 400 km Länge zwischen dem Unterwerk Le Breuil und dem Unterwerk Chevilly.

Die Verfasser schildern die Gründe, warum diese Leitung für eine Uebertragung von 400 kV mit 3 Leitern dimensioniert wurde, vorläufig aber mit 2×3 Leitern bei der genormten Spannung von 220 kV ausgerüstet ist. Der Uebergang von 220 auf 400 kV soll innert kurzer Zeit möglich sein und kann erfolgen, sobald die zu übertragende Leistung einen Grenzwert überschreitet und sobald es die Technik sehr hoher Spannungen, über welche Forschungen im Gange sind, erlaubt.

Die Abspannmasten sind für waagrechte Anordnung der Leiter gebaut; diese Anordnung ist am besten geeignet, um nach leichter Verkürzung der Ausleger auf die einfache Leitung zu 3 Leitern überzugehen. Die Spannweiten betragen 518 m.

Die Beanspruchung durch den Wind ist bei den verwendeten 6 Stahl-Aluminiumleitern von 26,4 mm Durchmesser angenähert gleich gross, wie bei 3 Leitern von 50 mm Durchmesser, was dem Maximalwert für eine 400-kV-Leitung entspricht. Die Verlängerung der Isolatorketten beim Uebergang auf die höhere Spannung wird durch eine Herabsetzung des Durchhangs ausgeglichen werden können, da die 400-kV-Leiter wegen ihres grösseren Durchmessers und der Mitverwendung von Stahl grösseren mechanischen Zugbeanspruchungen ausgesetzt werden können. Aus diesen Gründen wurden die Erstellungskosten der Leitung in ihrem vorläufigen Stadium nicht höher, als diejenigen zweier auf getrennten Masten verlegter Leitungen. Dagegen ist die Betriebssicherheit geringer.

Für die Umstellungsarbeiten von 220 auf 400 kV gibt es zwei Möglichkeiten: 1. Demontage der sechs Leiter, hierauf Montage dreier neuer Leiter mit grösseren Querschnitten; dies würde die Stillegung des Betriebes während vier Monaten nötig machen. 2. Zusammenlegung von je zwei Leitern; hier würde sich der Koronaeffekt stark nachteilig auswirken. (Um seinen Umfang zu bestimmen, wurden Versuche durchgeführt, bei denen eine gewöhnliche Dreiphasenleitung von einer einzigen Spannweite unter eine Spannung von 500 kV gesetzt wurde.)

Die Frage, welchen Aufbau das für die 400-kV-Uebertragung vorgesehene Stahl-Aluminium-Seil aufzuweisen hat, ist noch nicht gelöst. Die gegenwärtigen Versuche erstrecken sich auf zwei Lösungen. Bei der ersten wurde ein Rohr aus plastischem Stoff benützt, um welches zunächst eine Lage Stahldrähte, dann eine Lage Aluminiumdrähte verseilt waren. Bei der zweiten Ausführung waren um ein zentrales Stahlseil Aluminiumadern verseilt, die aus spiralförmig gedrehten Aluminiumbändern bestanden.

Bei der Zusammenlegung von je zwei Leitern ist die Bestimmung der zulässigen Abstände wichtig, um eine Berührung der Leiter infolge Windeinwirkung und Einfluss elektrodynamischer Kräfte zu verhüten.

Die Erdung jedes Mastes erfolgt durch ein galvanisiertes Stahlseil, das jeden der vier Füsse des Mastes in einer mittleren Tiefe von 2,20 m umgibt, und durch ein weiteres Seil, das um den Erdaushub gelegt und an den Grundrahmen angeschlossen ist. Ausserdem weist die Leitung zwei auf 15 m Höhe verlegte Erdseile auf.

621.315.1.056.1

F. Diagramm für die Berechnung des Durchhangs und der mechanischen Beanspruchung der Leiter von Freileitungen. Referat von *Fr. Jacobsen.* Das Referat, Nr. 214 (Norwegen), umfasst 11 Seiten Text mit 4 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Die vom Verfasser beschriebene graphische Methode zur Berechnung des Durchhangs und der mechanischen Spannung der Leiter geht von der Theorie der Kettenlinie aus und wird in einem Nomogramm ausgewertet, das auch für Spannungen zwischen Masten verschiedener Höhe anwendbar ist, und sich auf eine früher von G. Silva [3]) dargelegte Theorie gründet.

621.315.174

G. Beanspruchungen der Abspannvorrichtungen der ausgespannten Leiter in den Freiluft-Unterwerken. Referat von *Giuseppe Quilico.* Das Referat, Nr. 217 (Italien) umfasst 20 Seiten Text mit 8 Figuren im Text.

Die modernen an die Verbund-Fernleitungen angeschlossenen Freiluft-Unterstationen enthalten häufig Spannweiten, die Kettenlinien geringer Länge darstellen. Die Leiter sind mit Isolatorketten an den Abspannvorrichtungen befestigt, deren Abmessungen auf Grund der mechanischen Beanspruchungen berechnet werden, die diese Leiter ausüben können. Der wichtigste Faktor zur Bestimmung der Beanspruchung ist der maximale Durchhang. Je grösser dieser ist, desto grösser ist die Höhe, welche die Abspannvorrichtungen haben müssen, aber um so kleiner ist deren Beanspruchung. Die geeignete Wahl des maximalen Durchhangs bestimmt daher die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

Benützt man für einen gegebenen Durchhang die gewöhnlichen Formeln, um die von den Leitern ausgeübte Höchstbeanspruchung bei minimaler Temperatur und Ueberlast zu berechnen, so erhält man Werte, die, wenn die Isolatorketten genügend lang sind, mehr als das Doppelte der wirklich auftretenden Werte erreichen. Dies führt zum Bau erheblich stärkerer Abspannungen als eigentlich nötig wäre. Der Verfasser schlägt daher die beschriebene Berechnungsmethode vor, die am Schluss des Berichtes durch ein Zahlenbeispiel ergänzt wird.

Gruppe 21: Erdkabel

621.315.211.3

A. Das Hochspannungs-Flachkabel. Referat von *J. Mollerhoj.* Das Referat, Nr. 204 (Dänemark), umfasst 10 Seiten Text mit 4 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Die Flachkabel, von denen hier die Rede ist, weisen z. B. den folgenden Aufbau auf: Dreiphasenkabel bestehend aus drei einzeln isolierten und mit einem Bleimantel ver-

[3]) *Silva, G.:* Calcul mécanique des conducteurs des lignes aériennes. CIGRE 1939, Bd. II, Referat Nr. 211.
Silva, G.: Calcul mécanique des conducteurs de lignes électriques aériennes. Rev. gén. Electr. Bd. 47(1940), Nr. 13/14, S. 235...261.

selienen Leitern, die parallel und in ein und derselben Ebene angeordnet sind. Eine gemeinsame Umhüllung aus imprägniertem Papier und Leinen ist mit zwei Lagen Bronze- oder Kupferband umwickelt. Längs den Flachseiten des Kabels liegen zwei elastische in der Querrichtung gerippte Bronzebänder, die die ganze Flachseite des Kabels decken und die durch eine Kupfer- oder Bronzedrahtwicklung an das Kabel gepresst werden. Das ganze Kabel wird bitumiert und mit einer Umwicklung von bitumierter Jute geschützt. In diesem ölgefüllten Kabel werden die Druckschwankungen, die zwischen 2...6 kg/cm² liegen, durch die Elastizität der gerippten Bänder aufgenommen.

Die Biegsamkeit eines solchen Kabels ist höher als die eines Dreiphasenkabels mit Kreisquerschnitt.

Die Verlegung dieser Kabel geschieht ähnlich wie bei gewöhnlichen Oelkabeln. Die Induktivität zwischen den drei Polleitern kann man dadurch ausgleichen, dass man in den Verbindungskästen den Mittelleiter mit jedem der beiden äusseren Leiter kreuzt.

Der in den Flachkabeln zulässige Wert des Spannungsgradienten kann um ungefähr 25 % höher sein als bei gewöhnlichen Oelkabeln; er erreicht also 10...12,5 kV/mm. Für ein 66-kV-Flachkabel von 3×95 mm² mit einer Isolationsdicke von 6,5 mm beträgt die Durchschlagspannung 175 kV.

Der Verfasser berichtet über Belastungsversuche an 66-kV-Flachkabeln, bei denen ein täglicher Belastungszyklus eines Netzes unter ungünstigeren Temperaturverhältnissen als den in der Praxis vorkommenden angenommen wurde. Die Ergebnisse geben für die Lebensdauer des Kabels befriedigende Werte.

Das flache Oelkabel, dessen besonderer Hauptvorteil die Einsparung der für die gewöhnlichen Oelkabel erforderlichen Oelbehälter ist, kann für Spannungen bis zu 150 kV hergestellt werden.

621.315.211

B. Kabel für sehr hohe Spannungen; In Grossbritannien erzielte Fortschritte. Referat von *P. Dunsheath* und *C. H. Jolin*. Das Referat, Nr. 207 (Grossbritannien), umfasst 27 Seiten Text mit 15 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Der Verfasser beschreibt im ersten Teil die in Grossbritannien erfolgte Entwicklung der Hochspannungs-Erdkabel mit Isolierung durch unter Druck stehendem Oel. Mehrere Konstrukteure haben aber auch Kabel mit Gasfüllung studiert, die man gegenwärtig in drei Hauptklassen unterteilen kann: 1. Kabel, in welchem die Fuge zwischen dem normal imprägnierten Papierdielektrikum und dem Bleimantel unter Gasdruck (z. B. Stickstoff) von etwa 14 kg/cm² steht; 2. Kabel mit nicht kompaktem Papierdielektrikum, dessen Hohlräume unter Gasdruck gesetzt werden (Innendruckkabel); 3. Kabel, bei welchem der Zwischenraum zwischen einem inneren und einem äusseren Bleimantel unter Gasdruck steht (Aussendruckkabel).

Alle diese Kabeltypen wurden für Spannungen bis zu 132 kV konstruiert. Für die Berechnung der Isolationsdicke bei den Kabeln der ersten Kategorie gilt die maximale Beanspruchung von 8,5 kV/mm.

Die für Innendruckkabel gewählte Konstruktion erlaubt eine senkrechte Verlegung des Kabels ohne Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Diese Kabel können, ohne Schaden zu erleiden, Leitertemperaturen bis zu 100 ° C aushalten und dürfen mit Spannungen bis zum doppelten Wert der normalen Betriebsspannung betrieben werden, ohne dass Ionisation auftritt. Der Druck des Gases an der Oberfläche des Leiters bleibt für alle Betriebstemperaturen annähernd gleich.

621.315.211.3

C. Kabel von 400 kV. Referat von *L. Domenach*. Das Referat, Nr. 210 (Frankreich), umfasst 12 Seiten Text mit 6 Figuren im Text.

Die Verwendung der 400-kV-Kabel kann nur für Teilstücke von einigen Kilometern Länge und in der Nähe grosser Verbrauchergruppen (z. B. Städte) ins Auge gefasst werden. Diese Begrenzung ist durch den hohen Blindleistungsverbrauch dieser Kabel bedingt. Das Studium der Probleme führte aber auch zu einer Vervollkommnung der Oelkabel geringerer Spannung (220 kV und 150 kV), von denen mehrere Typen seit einigen Jahrzehnten im Betrieb sind.

Der Verfasser teilt die Ergebnisse von Versuchen mit, die in Zusammenarbeit mit der «Société d'exploitation des câbles électriques, Cortaillod», von den «Câbles de Lyon» zur Bestimmung der Durchschlagsfestigkeit von ölgetränkten Papierproben verschiedener Art und Dicke bei verschiedenem Oeldruck unternommen wurden. Die Durchschlagsfestigkeit (kV/mm) bei Versuchen mit 50 Hz und Stössen von 1|50 μs nimmt bei zunehmender Dicke der Isolationsschichten ab. Dies beweist die Wichtigkeit der Lamellierung der Isolation. Für ein und dieselbe Papierdicke nimmt die Durchschlagsfestigkeit mit wachsendem Oeldruck bedeutend zu. Mit einem Oeldruck von 15 kg/cm² lassen sich in der Nähe des Leiters Spannungsgradienten bis zu 20 kV/mm erhalten. Solche Kabel würden für eine Betriebsspannung von 500 kV und 50 Hz Durchmesser und Gewichte von derselben Grössenordnung ergeben, welche bei den jetzigen 220-kV-Kabeln vorliegen. Die Verwendung eines Drucks von über 20 kg/cm² verschafft hingegen keinen merklichen Gewinn mehr. Der Druck darf aber auch nicht zu niedrig werden, damit bei den durch plötzliche Laständerungen hervorgerufenen Druckschwankungen eine untere Grenze nicht unterschritten wird. Wegen der Kompaktheit des aus sehr dünnen Papierschichten gebildeten Dielektrikums sind bei einem 400-kV-Kabel grössere Druckverluste zu erwarten als bei einem 220-kV-Kabel.

Der Verfasser beschreibt ein ausgeführtes 400-kV-Kabel. Um einen zentralen Oelkanal von 13 mm Durchmesser liegt der Leiter von 350 mm² Querschnitt und 28 mm Aussendurchmesser. Die 24 mm starke, imprägnierte Papierisolation ist mit einer Bleihülle umgeben, die auf der Innenseite mit Längskanälen versehen ist. Durch diese zusätzliche Möglichkeit der Oelzirkulation werden die im Betrieb vorkommenden Druckschwankungen verringert. Der Betriebsdruck beträgt 15 kg/cm². Die Bleihülle ist mit Kupferbändern umwickelt, die dem Kabel genügende Festigkeit geben, um einem Innendruck von über 100 kg/cm² standhalten zu können. Als weiterer Schutz ist ein zweiter armierter Bleimantel vorgesehen. Ein Dreiphasennetz aus drei Kabeln dieses Typs könnte, bei einer zulässigen Uebertemperatur von 50 °C, eine Leistung von 250 000 kW übertragen. Der Strom je Phase würde bei Vollast 370 A betragen, und man müsste mit Verlusten von 22 W je Meter Kabellänge rechnen.

Die für die Speisung eines solchen Kabels erforderlichen Oelbehälter bestanden aus einer Anzahl kommunizierender ölgefüllter Zellen, die in einem mit Stickstoff unter Druck von 15 kg/cm² gefüllten Gefäss untergebracht waren.

Versuchsweise wurden Kabelabschnitte von 15 m Länge eines 400-kV-Kabels, das in einer Gesämtlänge von 100 m fabriziert worden war, während mehrerer Stunden mit 600 kV und kurzzeitig mit 800 kV betrieben. Ein bei Brown, Boveri & Cie. in Baden geprüfter Kabelabschnitt wurde 22 min lang einer Spannung von 800 kV ausgesetzt. Das Dielektrikum erreichte eine Temperatur von 80 °C. Nach einer Abkühlungszeit von 24 h wurde das Kabelstück mit 920 kV betrieben, worauf nach 3 min ein Durchschlag erfolgte. Stoßspannungsversuche mit 2000 kV, 1|50 μs ergaben keine Durchschläge.

621.315.211.4

D. Energieübertragung mit einem imprägnierten, unter Druck stehenden Dreileiter-Erdkabel von 132 kV. Referat von *L. C. Brazier*. Das Referat, Nr. 212 (Grossbritannien), umfasst 14 Seiten Text mit 8 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Es wird ein 132-kV-Dreiphasen-Erdkabel von 1720 m Länge beschrieben, das 1944 in der Nähe des Flugplatzes Broadwell, bei Oxford, installiert wurde. Das Kabel hat eine Leistung von 90 MVA zu übertragen und ist mit Stickstoff bei einem Druck von 14 kg/cm² gefüllt. Das Dielektrikum besteht aus imprägniertem Papier, das 60 % Manilahanf und 40 % Holzstoff enthält.

Jeder Leiter weist eine 12,7 mm starke Isolation auf, so dass sich bei der Spannung von 132 kV ein Spannungsgradient von 9,35 kV/mm ergibt. Die drei isolierten Leiter sind gemeinsam von einer perforierten metallüberzogenen Papierschicht umgeben, die das Trocknen und Imprägnieren des Kabels gestattet. Der Bleimantel von 3,22 mm Dicke ist mit zwei Stahlbandlagen von je 29 mm Dicke verstärkt, die Deformationen des unter Druck stehenden Kabels in Längs- und Querrichtung verhindern sollen. Verschiedene Schichten aus Kautschuk und bitumierter Baumwolle bilden den Korrosionsschutz.

In einem der Zwischenräume zwischen den Leitern und dem Bleimantel liegt ein bleiernes Verbindungsrohr, das dem

Stickstoff als Durchgang von einer Verbindungsstelle zur folgenden dient. Ein anderer Zwischenraum wird von einem Zweileiter-Steuerkabel eingenommen, das einen Meldestromkreis für eventuelle Druckverluste in den Verbindungsstellen bildet. In jede Verbindungsstelle ist deshalb ein Ventil eingebaut, das mit Kontakten versehen ist.

Das Gewicht dieses Kabels beträgt 34,8 kg/m. Die zulässige Höchsttemperatur ist 85 °C. Die übertragbare Leistung des 1 m tief verlegten Kabels beträgt 105 MVA, was einem Strom von 450 A entspricht.

In Längen von 155 m hergestellt, wurde dieses Kabel in 1,06 m Tiefe auf einer 6...7 cm dicken Schicht ausgesiebter Erde verlegt und mit einer Erdschicht gleicher Art und Dicke bedeckt. Vor dem Auffüllen des Grabens mit der Aushuberde wurde das Kabel durch eine Abdeckung feuerfester Ziegel geschützt.

An den Verbindungsstellen wurde das Dielektrikum auf 90,5 mm verstärkt. Der zylindrische Verbindungskasten von 279 mm Durchmesser besteht aus einem Hartkupfergehäuse, das eine Bleimuffe enthält. Der Raum zwischen Gehäuse und Bleimuffe wird mit entgastem Bitumen ausgefüllt. Diese Anordnung erlaubt, jede Verbindungsstelle einzeln auf Dichtigkeit zu prüfen. Erst nach Fertigstellung sämtlicher Verbindungen wird das Kabel mit Stickstoff gefüllt und unter Druck gesetzt.

Für die Kabelendverschlüsse werden für jeden Polleiter ein Isolatorkörper mit 8 Tellern verwendet. Die Ueberschlagspannung beträgt im trockenen Zustand 355 kV und 284 kV bei Beregnung.

621.315.211.3

E. Kabel mit Oelfüllung für 150 kV. Referat von *C. F. Proos*. Das Referat, Nr. 216 (Holland), umfasst 20 Seiten Text mit 15 Figuren im Text.

Zwei 150-kV-Kabel verschiedener Typen, das eine mit hohlem Leiter und Oelzirkulation, das andere mit vollem Leiter und stationärer Oelfüllung, wurden untersucht. Der Verfasser kommt zu folgenden Hauptergebnissen:

1. Für eine genaue Feststellung der Veränderungen, die in einem papierisolierten und mit Oel von geringer Zähigkeit getränkten Kabel auftreten, müssen die Messungen bei möglichst niedrigen Spannungen, und bei Temperaturen über 60 °C ausgeführt werden.

2. Bei steigender Betriebsspannung kann der Leistungsfaktor infolge Anwesenheit leitender Partikel zwischen den Papierschichten abnehmen.

3. Die Zunahme der dielektrischen Verluste bei steigender Betriebsspannung kann auf die Anwesenheit von Oxydationsprodukten des Oels zurückgeführt werden. Diese Stoffe können sich bei genügender Erwärmung des Oels bilden.

4. Die Oxydationsprodukte, die sich zwischen den Papierschichten befinden, können durch das elektrische Feld an den Papierschichten festgehalten werden und die Zunahme des Leistungsfaktors hervorrufen.

Gruppe 22: Isolatoren

621.315.626

A. Fortschritte in der Konstruktion der Kondensatordurchführungen. Referat von *H. Kappeler*. Das Referat, Nr. 208 (Schweiz), umfasst 16 Seiten Text mit 10 Figuren im Text.

Die für die höchsten Spannungen benützten Durchführungsisolatoren bestehen aus Zylindern von bakelisiertem oder ölgetränktem Papier, deren Durchmesser vom Mittelteil an gegen die Enden hin abnimmt. Werden Metalleinlagen zur Festlegung einer gewünschten Verteilung des elektrischen Feldes verwendet, so spricht man von Kondensatordurchführungen. Für Freiluftaufstellung sind sie im Innern eines Porzellanisolators montiert, der häufig mit Oel gefüllt wird.

Eine gründlichere Kenntnis der dielektrischen Erscheinungen und des Verhaltens der Isoliermittel hat zu einer weitgehenden Vervollkommnung der Kondensatordurchführungen beigetragen. Unter den Problemen, die in den letzten Jahren restlos gelöst wurden, ist dasjenige der Alterung des Dielektrikums im Laufe des Betriebes von besonderer Bedeutung.

Um die Frage zu beantworten, in welcher Weise die Alterung des Dielektrikums von der Höhe der angelegten Spannung abhängt, wurden Messungen an kleinen Durchführungsklemmen durchgeführt, die mit bakelisiertem Papier von einigen mm Dicke isoliert waren. Bei diesen Messungen wurde die Beanspruchungsdauer von einigen μs bis zu einigen Jahren variiert. Es zeigte sich, dass die Durchschlagsfestigkeit keine Konstante ist; vom Höchstwert von 100 kV/mm an (für Stösse sehr kurzer Dauer) nimmt sie in Funktion der Beanspruchungsdauer ständig ab, um einer Grenze von ungefähr 2 kV/mm im Dauerbetrieb zuzustreben. Diese Kurve lässt sich in vier Zonen unterteilen, eine Zone des rein elektrischen Durchschlags (1 bis 1000 μs), eine Uebergangszone, eine Zone des durch thermische Vorgänge verursachten Durchschlags (1 s bis 1000 h) und eine Zone des Durchschlags durch Erosionserscheinungen am Isolationsmaterial hervorgerufen, wobei der Koronaeffekt mitbeteiligt ist.

Andere Versuche, die mit Plättchen aus bakelisiertem Papier verschiedener Dicke ausgeführt wurden, welche zwischen Metallbelägen eingespannt waren, die die Plättchen nicht vollständig bedeckten, haben zur Aufstellung von Formeln geführt, die die Einsatzspannung für das Auftreten der Koronaerscheinung und der Gleitfunken berechnen lassen.

Die Verwendung sehr dünner halbleitender Schichten, die während des Aufwickelns nach einem besonderen Verfahren unmittelbar auf das Isolierpapier aufgetragen werden, bildet ein anderes Mittel, die Betriebsspannung zu erhöhen. Auf diese Weise kann die Dauerspannung um 30...40 % höher gewählt werden.

Durchführungsklemmen mit einer ölimprägnierten Papierisolation weisen kleine radiale Abmessungen auf, da die Einsatzspannung des Koronaeffekts in Oel ungefähr 3,5mal höher ist als in Luft. Im Fall der Durchführungsisolatoren für Transformatoren, deren unteres Ende im Oel eintaucht, kann der untere Teil der Isolation so auf der Drehbank bearbeitet werden, dass die Ränder der Metalleinlagen frei werden; man erhält dadurch eine beträchtliche Verkürzung des unteren Teils der Durchführung. Dieses Verfahren ist aber nur bei Anwendung der halbleitenden Einlagen anwendbar.

621.317.333.8:621.315.62

B. Auswahl der für Kraftwerke geeigneten Isolatoren durch Stoßspannungsversuche. Referat von *P. M. Ross*. Das Referat, Nr. 209 (USA), umfasst 36 Seiten Text mit 18 Figuren und 4 Tabellen im Text.

Der Verfasser legt die in Amerika herrschenden Bestrebungen dar, das in den Elektrizitätswerken benützte Installationsmaterial in Isolationsklassen einzuteilen und zu koordinieren.

Man ist gegenwärtig bestrebt, moderne Schutzvorrichtungen so zu disponieren, dass z. B. die von Blitzschlägen erzeugten Ueberspannungen an im voraus festgelegten Stellen zum Ueberschlag führen und ein gewisses Spannungsniveau nicht übersteigen.

Diese Klassifikation der Schutzgeräte erlaubt es, das gesamte Installationsmaterial nach bestimmten Isolationsgraden einzuteilen. Alle an der Isolation beteiligten Einzelteile einer gegebenen Nennspannung müssen beim Stossversuch einen gewissen Grenzwert der Ueberschlagspannung erreichen oder überschreiten.

Ob ein Isolator die Bedingungen eines bestimmten Isolationsgrades erreicht oder überschreitet, kann durch einen einfachen Laboratoriumsversuch nachgewiesen werden. Die Vorschrift AIEE Standard Nr. 41, 1944, setzt die für diese Versuche an Isolatoren gültigen Regeln fest.

Sollten in einem praktischen Fall die bestehenden Schutzvorrichtungen die durch Blitzschlag erzeugten Ueberspannungen nicht auf der vorgesehenen Höhe begrenzen können, oder wenn überhaupt keine Schutzvorrichtungen bestehen, kann durch richtige Koordination der Isolation die Ueberschlagstelle örtlich begrenzt und vorausbestimmt werden. Auf diese Weise können Schäden an Geräten und Unterbrüche des Betriebes auf ein Mindestmass herabgesetzt werden.

Die in den Firmenkatalogen angegebenen Ueberschlagswerte sind im allgemeinen mit Vorsicht zu verwenden. Die Streuungen sind oft derart, dass bei einer Anlage die örtliche Vorausbestimmung des Ueberschlages nicht immer möglich ist. Es hat sich gezeigt, dass man vom mittleren, arithmetischen Ueberschlagswert ausgehen und die aus zahlreichen Versuchen bestimmten Abweichungen berücksichtigen muss, um nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung den Ort des

Ueberschlags mit befriedigender Genauigkeit festlegen zu können. Laboratoriumsversuche haben die Richtigkeit dieser Bestimmungsmethode bestätigt.

Gruppe 23: Fernmeldeübertragungen

621.396.44

A. Fortpflanzung der Hochfrequenzträgerwellen auf Hochspannungsleitungen. Referat von *A. Chevallier.* Das Referat, Nr. 305 (Frankreich), umfasst 8 Seiten Text mit 4 Figuren im Text.

Bekanntlich werden die Hochspannungsleitungen auch für Nachrichtenübermittlung, Fernmessungen, Fernsteuerungen usw. benützt. Der Autor erklärt an Hand theoretischer Untersuchungen einige Uebertragungserscheinungen, die im Widerspruch mit den bisherigen Erkenntnissen zu stehen schienen.

Bei den meisten Hochfrequenzverbindungen wird nur *ein* Polleiter verwendet, wobei die Erde als Rückleitung dient. In diesem Fall entsteht gleichzeitig mit der Welle, die den Boden als Rückleiter benützt (homopolare Welle), eine zweite Welle, die sich zwischen dem am Sender angeschlossenen Leiter und den beiden andern Polleitern des Dreiphasennetzes fortpflanzt (zyklische Welle).

Messungen [4]), die später an einer Leitung von 133 km Länge (von Eguzon nach La Môle) nachgeprüft wurden, zeigten in einem gewissen Abstand vom Sender eine starke Dämpfung der homopolaren Welle. Demgegenüber ist die Scheitelhöhe der zyklischen Welle im gleichen Abstand bedeutend höher.

Wenn die Schalter an den beiden Enden der Leitung offen sind, oder auch wenn sich in der Leitung eine durch Hochfrequenzglieder überbrückte Trennstelle befindet, entsteht bei einer Verbindung, die einen Polleiter und die Erde verwendet, eine zusätzliche Dämpfung, da die zyklische Welle, die auf den beiden anderen Polleitern keine Hochfrequenzbrücken besitzt, sehr stark gedämpft wird.

Im Gegensatz dazu bleibt bei einer Uebertragung zwischen den Polleitern die Dämpfung nahezu konstant, gleichgültig ob die Schalter in und am Ende der Leitung offen oder geschlossen sind.

Wenn in einem weitverzweigten Netz eine Uebertragung für eine genaue Phasenwinkelmessung erforderlich ist, scheint es richtig, sie zwischen den Polleitern herzustellen, um die gewollte Stabilität zu erhalten. Eine hohe Trägerwellenfrequenz ist in solchen Fällen günstig, da einerseits die Sperrkreise für hohe Frequenzen grosse Impedanzen aufweisen und anderseits die Wirkung der reflektierten Wellen, die im Fall von Schleifenschluss eintreten, klein ist.

Die theoretische Untersuchung und die angegebenen Messergebnisse erklären auch den Fortpflanzungsvorgang von Wellen, die durch eine atmosphärische Entladung oder durch Blitzschlag erzeugt werden können.

621.396.44 :621.394.326

B. Ein neuer Fernschreiber. Beitrag zur Entwicklung des Trägerwellensystems auf Hochspannungsleitungen. Referat von *J. Coquelet.* Das Referat, Nr. 315 (Belgien), umfasst 10 Seiten Text mit 5 Figuren im Text.

Die Bedeutung der Verbindungsmittel zwischen den Kraftwerken, sowohl für die Nachrichten- als auch für die Messwertübertragung, nimmt immer mehr zu. Besondere Vorteile bietet die schriftliche Nachrichtenübermittlung, z. B. durch Fernschreiber, der gegen atmosphärische Störungen weitgehend unempfindlich ist.

Der vom Autor beschriebene Fernschreiber kann über eine Drahtverbindung, aber auch drahtlos eingesetzt werden. Das Sendegerät besitzt eine Schreibmaschinentastatur. Das Niederdrücken einer Taste bewirkt das Anschwingen einer Blattfeder, die in den Luftspalt eines mit einer Wicklung versehenen Magneten ragt. Die mit der Schwingungsfrequenz der Blattfeder entstehende Spannung wird verstärkt und dem Empfangsgerät übermittelt. Dieses enthält eine Reihe schwingender Blattfedern, analog denen des Senders, welche sich im Feld eines Magneten befinden, dessen Spule vom Empfangsstrom durchflossen wird. Diejenige Blattfeder, deren Eigenfrequenz der Frequenz des Empfangsstromes entspricht, schwingt an und löst den entsprechenden Typenhebel des Schreibmechanismus aus.

[4]) *Chevallier, A.:* Propagation d'ondes à haute fréquence le long d'une ligne triphasée symmétrique. Rev. gén. Electr. Bd. 54(1945), Nr. 1, S. 25...32.

621.317.083.7 : 621.317.373

C. Fernübertragung der Phasendifferenz in zusammengeschalteten Netzen. Referat von *C. Martinet.* Das Referat, Nr. 325 (Frankreich), umfasst 21 Seiten Text mit 12 Figuren im Text.

Beim Betrieb grosser zusammengeschalteter Netze ist es wichtig, die Dauer eventueller Unterbrüche möglichst herabzusetzen. Eine beträchtliche Besserung in diesem Sinn kann dadurch erhalten werden, dass an den Schaltstationen die Phasendifferenzen der Spannungen zwischen den einzelnen zusammenzuschaltenden Werken bekannt sind. Als Beispiel einer besonders beachtenswerten Lösung beschreibt der Verfasser eine Anlage in Lannemezan (Hautes-Pyrénées). Durch Fernübertragung wird der Phasenwinkel der 220-kV-Spannung des Unterwerks Rueyres (Aveyron) an diese Verteilstelle übermittelt. Diese Anlage erlaubt bei eingetretenen Unterbrüchen eine sehr rasche Wiederzusammenschaltung der Netze Pyrénées und Massif Central, über die sich meistens ein sehr bedeutender Energieaustausch vollzieht. Mit der Spannung von 220 kV der Sammelschienen des Unterwerks Rueyres wird eine Hilfsfrequenz von 2760 Hz moduliert, mit der in zweiter Stufe die Trägerwelle von 72,5 kHz moduliert wird. Im Unterwerk Godin wird die Trägerfrequenz, je nach dem benützten Uebertragungsweg auf 60,5 oder 35 kHz transponiert. In Lannemezan findet der Empfang der modulierten Trägerwelle statt. Frequenz und Phase der Spannung der Sammelschienen von Rueyres können in Lannemezan an Instrumenten abgelesen und mit den Werten der eigenen Energieproduktion verglichen werden. Die Phasen- und Frequenzwerte werden in ähnlicher Weise dem Regulierkraftwerk des Sees von Oô übermittelt.

Die vorzüglichen Eigenschaften dieser Vorrichtung zeigten sich bei zahlreichen Versuchen rascher Abtrennungen und Wiedereinschaltungen grösserer Netze. Auch die erhöhte Sicherheit, mit welcher das Betriebspersonal bei solchen Zwischenfällen einschreiten kann, ist zu erwähnen. Der Verfasser bespricht mehrere Zwischenfälle, bei denen die Kürze des Unterbruchs auffällt. Früher musste, wenn in einem Unterwerk die Leitung eines grösseren Kraftwerks auf ein in Betrieb stehendes Netz geschaltet werden sollte, das Kraftwerk benachrichtigt werden, die Schaltung selbst vorzunehmen. Heute, mit der Uebermittlungsmöglichkeit der Phase des energieliefernden Werkes, kann die Schaltung direkt im Unterwerk durchgeführt werden, was viel weniger Zeit erfordert.

Der Verfasser meint, dass die durch diese Anlagen erhaltenen Erkenntnisse dazu führen werden, in den Umschaltstationen für jede grössere abgehende Leitung automatische Parallelschaltungsgeräte vorzusehen, die mit dem bekannten Distanzschutz verriegelt sind. So würde sich, bei einer automatischen Abtrennung eines Sektors, die Leitung gleich vom Zwischenfall an in Wiedereinschaltstellung befinden, und da das System der Phasenregulierung unmittelbar auf die Maschinen der Regulierkraftwerke wirkt, könnte die Wiedereinkupplung in sehr kurzer Zeit ausgeführt werden.

Gruppe 24: Fernmeldestörungen

621.395.823

A. Entstehung der durch Starkstromleitungen verursachten industriefrequenten Induktionsströme auf Fernsprechleitungen. Referat von *P. B. Frost* und *E. F. H. Gould.* Das Referat, Nr. 301 (Grossbritannien), umfasst 19 Seiten Text mit 1 Tabelle im Text.

In den Jahren 1934...1944 wurden in England Versuche durchgeführt über die bei Fehlern oder Störungen an Starkstromleitungen mit Industriefrequenz in benachbarten Fernsprechleitungen entstehenden Störungen. Diese Störungen können sowohl Unfälle des Personals, als auch materielle Schäden zur Folge haben.

Es ist praktisch unmöglich, die auf Fernsprechleitungen induzierte Spannung auf einen für das Personal ungefährlichen Wert zu beschränken. In der Praxis ergibt sich der durch die Ueberspannungsableiter gegebene Grenzwert von 300 V. Die an der Fehlerstelle der Hochspannungsleitung auftretende Stromstärke ist abhängig von der Betriebsspannung des Netzes, von der Impedanz der Leitung bis zur Fehlerstelle, vom Widerstand zwischen Fehlerstelle und Erde, von den Impedanzen von Transformator und Generator und

von der Erdungsart des Netzes. Die Stromdauer hängt von den vorhandenen automatischen Abschalt- und Sicherheitsvorrichtungen ab.

Die auf der Fernsprechleitung induzierte Spannung hängt von der Länge der Parallelführung, von der Entfernung von der Hochspannungsleitung, von der Leitfähigkeit des Bodens und von eventuell vorhandenen, der Abschirmung dienenden, anderen Leitern ab. Eine möglichst rasche Abschaltung der Hochspannungsleitung, in welcher der Fehler auftrat, kann die Entstehung grösserer Materialschäden und die Brandgefahr bei den Fernsprechleitungen herabsetzen, nicht aber die Gefahr beseitigen, der das Personal ausgesetzt ist, das gerade mit Arbeiten am Fernsprechnetz beschäftigt ist.

Der Höchstwert der induzierten Spannung ist durch die erste Halbwelle des Kurzschlußstromes gegeben, die auf einfache Art aus den Betriebsdaten der Wechselstromgeneratoren, Transformatoren und der Leitung berechnet werden kann. Zur Bestimmung des Höchstwertes der induzierten Spannung ist noch der Kopplungsfaktor zwischen der Hochspannungs- und Fernsprechleitung zu berechnen. Zu diesem Zweck unterteilt man die Leitungen in einzelne kurze Abschnitte, die möglichst gleichmässige Abstände von der Hochspannungsleitung aufweisen. Nach den Kurven, die auf den Formeln von Carson-Pollaczek basieren, können die Gegeninduktivitätskoeffizienten der einzelnen Abschnitte bestimmt und der Kopplungsfaktor zwischen den ganzen Leitungslängen berechnet werden. Hiezu muss auch der spezifische Widerstand der Erde bis in beträchtliche Tiefe hinunter bekannt sein.

In den Hochspannungsnetzen können folgende Mittel zur Herabsetzung der unerwünschten Induktionserscheinungen angewendet werden:

a) Anwendung von Erdungswiderständen und Erdungsspulen zur Herabsetzung der Erdschlußströme
b) Vergrösserung des Abstandes zwischen Hochspannungs- und Fernsprechleitung, was nur für erst geplante Leitungen möglich ist
c) Bildung einer Abschirmung mit Hilfe von Erdseilen
d) Streckenunterteilung durch Transformatoren mit einem Uebersetzungsverhältnis 1 : 1
e) Anwendung eines nicht geerdeten Netzes

Alle diese Mittel führen zu Kompromissen mit andern technischen und finanziellen Erwägungen.

Die Fernsprechleitungen können durch folgende Mittel vor allzu schädlichen Störeinflüssen geschützt werden:

a) Ersatz der Freileitungen durch Erdkabel
b) Anwendung von Kabeln mit Kupfermänteln zur Abschirmung
c) Anwendung von Kabeln mit zusätzlicher Isolation zwischen Leitern und Mantel und gut isolierten Abschlusstransformatoren und Pupinspulen
d) Unterteilung der Leitungen durch Transformatoren mit dem Uebersetzungsverhältnis 1 : 1
e) Anwendung von Ueberspannungsschutzgeräten

Auch die Durchführung dieser Massnahmen verursacht technische Nachteile auf anderen Gebieten und eine allgemeine Verteuerung der Anlage und des Betriebes. Es werden zahlreiche Versuche beschrieben, die in England mit Hochspannungsleitungen von 132 und 33 kV ausgeführt wurden. Sie führten zu einer Berechnungsmethode der in benachbarten Fernsprechleitungen induzierten Störspannungen, die mit den Messresultaten gut übereinstimmen. In dieser Berechnungsart spielt der Wert des spezifischen Erdwiderstandes eine wichtige Rolle. Bedeutende Gefahr- und Zerstörungsmöglichkeiten ergeben sich für Fernsprechkabel, die in der Nachbarschaft eines Unterwerks verlegt sind. Im Fall eines Defektes an der Erdung des Hochspannungsnetzes erhält die Erde und mit ihr der Mantel des Fernsprechkabels, der mit dem Boden in Berührung steht, ein höheres Potential. Die zwischen dem Mantel und den Leitern des Kabels entstehende Spannung kann zu einem Durchschlag führen. Zur Vermeidung dieser Störungen wurden in den Unterwerken des britischen Nationalnetzes, die eine Spannung von 33 kV oder mehr führen, die Kabelumhüllungen der Fernsprechkabel innerhalb der gefährlichen Zone von der Erde isoliert. Diese Zone umfasst das Gelände in einem Abstand von 6 m von der Erdelektrode oder von den an dieselbe angeschlossenen Metallteilen.

621.395.823 : 621.315.024

B. Schwedische Versuche einer Gleichstromübertragung mit Rückleitung durch den Boden. Referat von *R. Lundholm*. Das Referat, Nr. 134 (Schweden), umfasst 13 Seiten Text mit 7 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Die bei Gleichstromübertragungen mit sehr hoher Spannung in Frage kommende Rückleitung des Stroms durch die Erde verursacht eine Reihe verschiedenartiger Störungserscheinungen. In verschiedenen Gegenden Schwedens wurde ein Gleichstrom, dessen Stärke zwischen 20 und 170 A variierte, durch zwei voneinander entfernt liegende Elektroden in den Boden geleitet. An einer grossen Zahl von Orten wurden folgende Messungen ausgeführt:

1. Die Stromstärke in den Bleimänteln der Fernsprechkabel der Telegraphenverwaltung.
2. Die Stromstärke in den Schienen gewisser Bahnstrecken.
3. Die Stromstärke in den Signalrelaiskreisen dieser Bahnstrecken.
4. Der Potentialunterschied zwischen gewissen Punkten an der Bodenoberfläche.

Die erhaltenen Messwerte wurden auf eine Gleichstromstärke von 1000 A umgerechnet, entsprechend dem für eine Energiegrossübertragung vorgesehenen Wert.

Der bedeutendste dieser Versuche wurde 1944 zwischen Hallsberg und Ljusdal ausgeführt. Die Elektroden lagen in einem Abstand von 315 km voneinander und wurden über Gleichrichter an eine 3-Phasen-200-kV-Fernleitung angeschlossen. Der Gleichstrom betrug 170 A, die Spannung 1800 V. An den Signalrelais des Bahnnetzes ergaben die Messungen, dass bei einem Strom von 1000 A (umgerechnet) Störungen in einem Umkreis von ungefähr 150 km um die Elektroden aufgetreten wären. In Entfernungen von 7 bis 45 km müsste mit schwerwiegenden Störungen für den Bahnbetrieb gerechnet werden. In Schienenabschnitten in 10 km Entfernung von einer Elektrode wurde ein Strom von 16 % des Gesamtstromes gemessen. Bei Einführung der Gleichstromenergieübertragung mit Rückleitung durch den Boden würde demnach eine grundlegende Aenderung des Signalsystems für Bahnanlagen nötig werden.

Die Messungen am Bleimantel des Fernsprechkabels von Oerebro (28 km von Hallsberg entfernt) nach Gothenburg hätten im Fall einer Uebertragung von 1000 A einen Strom von 9 A erreicht.

Die Potentialmessungen an der Bodenoberfläche wurden in der Nähe der Elektroden mittels Sonden und in grösseren Entfernungen unter Verwendung der Bleimäntel der Fernsprechkabel durchgeführt. Die in Oerebro (28 km von Hallsberg) und in Söderhamm (287 km von Ljusdal) gemessene Spannung betrug 7,2 V. Die beobachteten Spannungsunterschiede waren im allgemeinen ziemlich gross und liessen sich durch die Erdbeschaffenheit des Geländes erklären, in das die Elektroden gesetzt waren.

Versuche, bei denen das Meer für die Stromrückleitung verwendet wurde, haben hinsichtlich des Umfangs der Störungen bedeutend bessere Resultate ergeben.

621.396.823 : 621.315.024

C. Koronaverluste und Rundspruchstörungen bei Hochspannungs-Gleichstromübertragung mit Leitern grossen Querschnittes. Referat von *B. Henning*. Das Referat, Nr. 135 (Schweden), umfasst 16 Seiten Text mit 6 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Am Forschungsinstitut für Hochspannungsfragen der Universität Uppsala wurden Versuche über Koronaverluste und Rundspruchstörungen bei einer Gleichstrom-Hochspannungsleitung durchgeführt. Die Versuchsleitung war 480 m lang und bestand aus drei Aluminiumseilen von 28 und 34 mm Durchmesser, die an Isolatorketten von 2,30 m Länge im Abstand von 6 m an Holzmasten montiert waren.

Der Gleichstrom von 10...20 mA und 600 kV wurde von einem Gleichrichter geliefert, der mit einem Pol an Erde gelegt war. Es wurde jeweils nur ein einziger Leiter gespiesen, während die beiden andern mit der Erde verbunden waren.

Die Rundspruchstörungen wurden mit Hochfrequenzgeräten gemessen. Mit einer Rhombusantenne wurde die Feld-

stärke der Störung aufgenommen. Ein Lautsprecher gab den Charakter der Störungen wieder.

Es wurden auch Vergleichsmessungen mit Wechselstrom durchgeführt, für die ein Transformator mit einer Leistung von 1000 kVA und einer Spannung von 500 kV verwendet wurde. Bei einer dritten Versuchsreihe wurde die Leitung mit Gleichstrom gespiesen, dem ein Wechselstrom von 500 Hz überlagert wurde.

Die Versuche zeigten, dass die Verluste bedeutend stärker von den atmosphärischen Bedingungen abhängen, wenn die Leitung den negativen Pol darstellt und die Erde den positiven, als umgekehrt.

Die Verluste bei Gleichstrombetrieb überschreiten niemals diejenigen bei Wechselstrombetrieb und wachsen auch bei zunehmender Spannung weniger rasch an.

Bei einer Beschränkung der zulässigen Verluste bei günstiger Witterung auf 0,3 kW pro Kilometer Länge des einfachen Leiters darf der Scheitelwert der Spannung bei Wechselstrombetrieb 200 kV und bei Gleichstrombetrieb 270 kV nicht überschreiten. Bei Gleichstrom von positiver Polarität (270 kV) und bei den während der Versuche herrschenden atmosphärischen Bedingungen erreichten die Verluste 0,7 kW/km. Bei negativer Polarität und 270 kV würden sich bei schönem Wetter 0,1 kW/km, und bei den während der Versuche herrschenden atmosphärischen Bedingungen bis höchstens 1 kW/km ergeben. Dem Verlauf der erhaltenen Kurven lässt sich entnehmen, dass bei negativer Polarität und sehr ungünstigen atmosphärischen Verhältnissen die Verlustzahlen des Wechselstrombetriebes bei einem Scheitelwert von 200 kV nicht überschritten werden. Die Spannung bei Gleichstrombetrieb kann also um ungefähr 35 % höher gewählt werden als der Scheitelwert der Spannung bei Wechselstromübertragung.

Was die Rundspruchstörungen betrifft, haben die Versuche gezeigt, dass bei Gleichstromübertragungen positiver Polarität die Betriebsspannung 10 % höher sein kann als der Spannungsscheitelwert einer Wechselstromübertragung, ohne dass die Störungen grösser werden. Gleichstromübertragungen negativer Polarität verhalten sich bezüglich Rundspruchstörungen bedeutend günstiger.

Die Gleichstromversuche mit überlagertem Wechselstrom haben gezeigt, dass sowohl die Koronaverluste, als auch die Rundspruchstörungen nur im Verhältnis des Ansteigens der Scheitelspannung des überlagerten Wechselstromes zunehmen. Die Scheitelwerte der überlagerten Wechselspannungen betrugen rund 4% der Gleichspannung.

Gruppe 25: Elektrolytische Korrosion

621.316.973

A. Der Schutz eines Hochspannungskabelnetzes gegen Beschädigungen durch vagabundierende Ströme. Referat von *E. Foretay*. Das Referat, Nr. 203 (Schweiz), umfasst 19 Seiten Text mit 9 Figuren im Text.

Die vagabundierenden Ströme haben ihren Ursprung in den Geleiseanlagen der mit Gleichstrom betriebenen Bahnstrecken. Die Fahrschienen sind am negativen Pol der Stromquelle angeschlossen. Das Potential wächst von dieser Verbindungsstelle an bis zu den Rädern des Fahrzeugs (Strassenbahn, Lokomotive), und da diese Schienen nicht vom Boden isoliert sind, treten Teilströme in den Boden über und suchen den Weg des geringsten Widerstandes, indem sie Metallumhüllungen elektrischer Kabel, Wasser- und Gasleitungen usw. benützen. Die Eintrittspunkte des Stromes in solche Leiter bilden jeweils eine Kathode, während der Boden die Rolle des Elektrolyten spielt. An diesen Stellen entstehen keine schädlichen Erscheinungen. Hingegen zeigen sich bei den Austrittspunkten des Stromes (Anoden) sogenannte Korrosionserscheinungen. Die Korrosionsstellen sind selbstverständlich nicht gleichmässig auf der ganzen Oberfläche des verwendeten Leiters verteilt. Wegen der verschiedenen Leitfähigkeit des Bodens und wegen des wechselnden Uebergangswiderstandes (z. B. entstehende Schutzschicht) entstehen in der Leiteroberfläche Löcher und Ritzen, welche leitende Kanäle bilden, in denen die Stromdichte sehr hoch sein kann. Diese Korrosionserscheinungen führen zur langsamen Zerstörung der Kabelmäntel oder Leitungsröhren.

Die Leitungs- und Kabelanlagen können mit folgenden Mitteln gegen die Korrosionseinwirkungen geschützt werden:

1. Isolierung des Kabels gegen den Boden (ein kostspieliges und oft unwirksames Verfahren).

2. Einführung von Isolierstellen zur Unterteilung des Kabelmantels in einzelne Längen (schwierige Anwendung, bei Hochspannungskabeln oft undurchführbar).

3. Kabelmantel an bestimmten Stellen mit dem Bahngeleise elektrisch verbinden, um den Strom am Uebergang in den Boden zu verhindern.

4. Spezialverfahren (z. B. Ueberziehen des Bleimantels mit einer korrosionsfesten, jedoch leitenden Schicht aus Gummi und Graphit; Anlegen einer Hilfsspannung zwischen Bleimantel und Erde, so dass der Bleimantel immer negatives Potential gegenüber dem Boden aufweist; Verwendung von speziellen Bleilegierungen).

Jeder Einzelfall muss besonders untersucht werden, damit man das bestgeeignete Verfahren oder eine günstige Kombination der verschiedenen angegebenen Methoden für den Korrosionsschutz bestimmen kann.

Der Verfasser beschreibt ein 50-kV-Kabelnetz mit einer Länge von 5406 m, das vom Elektrizitätswerk der Stadt Winterthur installiert und zum Teil sehr nahe den Strassenbahnlinien verlegt wurde. Diese Kabel sind mit imprägniertem Papier isoliert und sind über dem Bleimantel mit einer Schicht aus asphaltiertem Papier und einer Umspinnung asphaltierter Jute versehen. Drei dieser Einleiterkabel sind gemeinsam in einem Kabelkanalsystem aus Zement verlegt. In den Jahren 1942 und 1946 wurden Messungen durchgeführt, um die Stärke der in den Bleimänteln fliessenden Ströme zu bestimmen. Durch eine einzige Erdung des Bleimantels an einer günstig gewählten Stelle des Netzes konnte das Auftreten der vagabundierenden Ströme verhindert werden.

621.316.973

B. In Italien angewendete Schutzmethoden für Erdkabel gegen die elektrolytische Korrosion. Referat von *E. Soleri* und *C. Galimberti*. Das Referat, Nr. 334 (Italien), umfasst 7 Seiten Text mit 1 Figur und 2 Tabellen im Text.

Unter den verschiedenen Methoden, elektrische Leitungsanlagen gegen die Korrosionserscheinungen zu schützen, die in den 1937 vom Internationalen Beratenden Ausschuss für Nachrichtenübermittlung (CCIF) ausgearbeiteten «Empfehlungen» genannt werden, ist die elektrische Drainage eine Methode, die in Italien in grossem Maßstabe angewendet wurde, so dass die damit erworbenen Erfahrungen Schlüsse von allgemeiner Bedeutung erlauben.

Unter der elektrischen Drainage versteht man die Methode, bei der das zu schützende Kabel und die Fahrschiene an gewissen Stellen derart metallisch miteinander verbunden werden, dass der Strom von den Kabeln zu den Schienen direkt durch diese Leiter geht, also nicht mehr den Weg über den Boden wählt.

Das in zahlreichen italienischen Netzen benützte System ist die abgestufte Drainage, in welchem man in den Leiter, der den Mantel der zu schützenden Leitungsanlage mit der Fahrschiene verbindet, in Serie liegende regulierbare Widerstände einführt. Auf diese Weise überschreitet der aus dem Kabelmantel austretende Strom einen vorbestimmten Wert nicht, und es kann infolgedessen kein bedeutender Potentialunterschied zwischen Kabelmantel und Boden entstehen. Ausserdem sind die Kabelmäntel durch Isolierstösse in einzelne Abschnitte getrennt, die wiederum zur Vermeidung zu grosser Potentialunterschiede durch Widerstände überbrückt sind.

Die erhaltenen Ergebnisse haben die Brauchbarkeit dieses Systems auf den italienischen Netzen gezeigt. Die Drainagen müssen jedoch überwacht werden, was bei städtischen Netzen verhältnismässig leicht ist, wo geschützte Kabelpaare als Hilfsleiter benützt werden können, die man in einer Zentrale an fest installierte Voltmeter anschliesst. Diese Voltmeter sind mit Kontakten versehen, die ein Alarmsignal auslösen können, sobald die Spannung einen gewissen Wert überschreitet oder wenn die Polarität des Kabelmantels wechselt. Es sind auch Vorrichtungen entwickelt worden, die die Drainageleitung im Fall eines Polaritätswechsels unterbrechen.

(Fortsetzung folgt)