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: 68 (1977)

Heft: 24

Rubrik: Technische Mitteilungen = Communications de nature technique

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: 05.01.2026

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

Technische Mitteilungen – Communications de nature technique

Grundlagen – Sciences et techniques de base

Kernfusion: Tokamak im Blickfeld

621.039.619 (73);

[Nach *Don Steiner:* Nuclear Fusion, focus on Tokamak, IEEE Spectrum, 14(1977)7, p. 32...38]

Der Aufsatz behandelt die Probleme, die in den USA zurzeit bearbeitet werden, um bis zum Jahr 2000 ein betriebsfähiges Kernkraftwerk auf der Basis der Kernverschmelzung (Fusion) zu erstellen.

Um bei der Fusion Energie gewinnen zu können, muss ein Plasma auf eine bestimmte, sehr hohe Temperatur gebracht werden und während einer genügenden Zeit in einem bestimmten Volumen verdichtet bleiben. Das kleinste Produkt aus Dichte und Zeit wird mit einer Mischung Deuterium-Tritium erreicht: $10^{13}...10^{14}$ cm^{-3} s. Diese Verdichtung kann auf zwei verschiedene Arten erzielt werden, nämlich durch ein Magnetfeld oder durch Trägheit der Plasmateilchen. Im Tokamak wird die Magnetverdichtung angewandt, wobei Dichten von 10^{14} bis 10^{15} während 1 s erreicht werden sollen. Die entsprechenden Zahlen für die Trägheitsverdichtung wären $10^{25}...10^{26}$ während 10^{-9} s.

Man unterscheidet zwischen kontinuierlich und pulsierend arbeitenden Systemen bezüglich der Art der Energiezufuhr. Auch muss die Aufheizzeit, die Reaktionszeit und die Dauer der Entfernung des nichtverbrauchten Plasmas in Rechnung gesetzt werden.

Von den benötigten Brennmaterialien findet man das Deuterium in reichen Mengen im Wasser. Tritium muss mit Hilfe von Deuterium und Lithium in einem Kernreaktor hergestellt werden. Auch Lithium steht reichlich zur Verfügung.

Vom wirtschaftlichen Standpunkt ist es vorteilhaft, mehrere (2...5) Fusionsreaktoren in einer Zentrale zu vereinigen, da die Hilfsanlagen gemeinsam benutzt werden können. Für die folgenden Betrachtungen wird mit 2 Reaktoren von je 750 MW_{el} gerechnet. Man benötigt zwei energieliefernde Maschinen, eine für den Plasmastrahl und eine für den Neutronenstrahl, der das Plasma aufheizen muss. Diese Anlage muss noch entwickelt werden.

Bei einem Tokamakgenerator rechnet man mit 20 min Brennzeit und 1 min Abkühlzeit. Bei zwei Reaktoren in einer Zentrale müsste also alle 10 min während etwa 10 s Energie zur Einleitung der Fusion geliefert werden, d. h., dass die Generatoren zweckmässig mit Energiespeichern versehen werden. Die ringförmigen Reaktionsgefässe haben einen ovalen Querschnitt (1,5 auf 6 m) und werden mit D-förmigen, supraleitenden Spulen von 7×10 m Abmessung umgeben, die eine Induktion von 8 T erzeugen müssen. So grosse Spulen sind bisher noch nie gebaut worden.

Das Reaktorgefäss soll eine Wandstärke von 80 cm aus nichtrostendem Stahl besitzen. Ein zweites Gefäss von 70 cm Wandstärke wird das erste umschliessen, um die supraleitenden Spulen vor streuenden Strahlungen zu schützen. Die Wärmeübertragung erfolgt in 2 Stufen mittels zirkulierender Salzlösungen. Die 2. Stufe erhitzt dann den Dampf für die Turbinen (Wirkungsgrad der Wärmeübertragung 35 %). Es scheint zweckmässig, die gesamte Anlage in einen evakuierten Raum einzuschliessen, denn man kann das Reaktortoroid damit einfacher dicht halten, da wenig Druckdifferenz besteht. Die Wahl eines Materials, das das Neutronenbombardement ohne zu grossen Schaden ertragen kann, ist noch zu treffen. Es scheint, dass austenitischer Stahl am besten geeignet ist. Der Umweltschutz ist beim Fusionsreaktor leichter zu bewältigen als beim Fissionsreaktor.

Zuerst muss aber noch bewiesen werden, dass im Tokamak die Fusion überhaupt möglich ist. Die im Bau befindliche Versuchsanlage soll 1981 den Beweis erbringen. Wenn dieser Versuch gelingt, so wird man den Bau des ersten Fusionskraftwerkes beginnen. Die Bau- und Versuchskosten werden auf 10 bis 15 Mia $ geschätzt. Die Anlage sollte dann im Jahre 2000 betriebsbereit sein. *R. Goldschmidt*

Dielektrische Verluste von Isolierstoffen bei Tiefsttemperaturen

537.226.3 : 536.483

[Nach *W. E. Anderson und R. S. Davis:* Measurement of AC Insulation Losses at Kryogenic Temperatures. IEEE Trans. EI-12(1977)1, S. 51...54]

Bei supraleitenden Kabeln für die Übertragung elektrischer Energie muss eine Temperaturerhöhung, die von der dielektrischen Erwärmung der Isolierstoffe herrührt, besonders sorgfältig berücksichtigt werden. Als Höchstgrenze für den Verlustwinkel tg δ werden hierbei Werte von etwa $4 \cdot 10^{-6}$ bis $2 \cdot 10^{-5}$ angesehen. Da bei starren Kabeln im wesentlichen flüssiges Helium Verwendung findet, müssen lediglich die dielektrischen Verluste der Abstandhalter der konzentrischen Leiteranordnung berücksichtigt werden. Schwieriger sind die Verhältnisse bei flexiblen Kabeln, bei denen Folienlagen als Isolierstoffe verwendet werden, deren dielektrische Verluste nicht vernachlässigt werden können.

Die Messung des tg δ von Isolierfolien bei tiefsten Temperaturen wurde mit einer Kompensationsbrücke vorgenommen, bei welcher das Messobjekt zwischen den Platten eines praktisch verlustlosen Messkondensators direkt in flüssigem Helium bei 4,2 K gelagert wurde. Die Messergebnisse, die an einer Reihe von gebräuchlichen Isolierfolien gefunden wurden, enthält Tab. I.

Verlustwinkel einiger Isolierfolien bei 60 Hz und 4,2 K Tabelle I

Material	Dicke µm	Höchste Meßspannung V_{eff}	tg $\delta \cdot 10^6$ bei Maximalspannung	tg $\delta \cdot 10^6$ bei 200 V_{eff}
Polyamid (Nicht orient.)	40	1000	27	24
Polycarbonat (uniaxial orient.)	75	2000	69	61
Polyäthylen (biaxial orient., quervernetzt)	100	2000	9	6,5
Polypropylen (Nicht orient.)	125	2000	7	3
Polypropylen (biaxial orient.)	30	1200	26	24
Polysulfon glasklar	100	1000	100	96
Polysulfon blau	140	3000	126	113
Polysulfon grün	140	1200	110	105
Polysulfon grün (mit Na verunrein.)	110	1000	82	79

Um den Einfluss von Paraffinöl zu erfassen, wurden auch 30 µm dicke Polypropylenfolien untersucht, die ein- oder beidseitig mit Paraffinöl bedeckt waren. Es zeigte sich, dass eine relativ geringfügige Spannungsabhängigkeit des tg δ bei Feldstärken von 5...40 kV/mm besteht und dass ausserdem die Werte nur knapp über der eingangs festgelegten Grenze liegen. *E. Müller*

Verteilung und Umformung der elektrischen Energie
Distribution et transformation de l'énergie électrique

Projekt einer 1100-kV-Drehstromleitung in den USA

621.315.1.027.89;

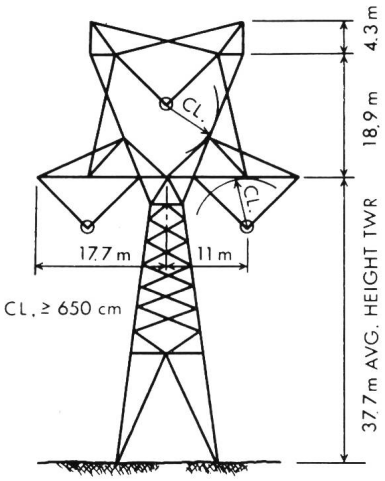
[Nach *S. A. Annestrand, G. A. Parks:* Bonneville Power Administration's Prototype 1100/1200 kV Transmission Line Project; IEEE Trans. PAS 96(1977)2, p. 357...366]

Die Bonneville Power Administration (BPA) liefert einen Grossteil der von ihr erzeugten elektrischen Energie über das Kaskadengebirge in das pazifische Gebiet im Nordwesten der USA. Zur Verstärkung der damals vorhandenen 230-kV-Leitungen hat die BPA 1968 die erste 500-kV-Drehstromfreileitung erstellt. Zurzeit können etwa 10 000 MW über das Kaskadengebirge rund 280 km weit übertragen werden. Im Laufe der 80er Jahre werden weitere 8000 bis 10 000 MW über das Kaskadengebirge übertragen werden müssen. Prognosen für das Jahr 2000 rechnen mit einer zu übertragenden Gesamtleistung von ca. 40 000 MW. Zum Vergleich: Derzeitige Spitzenleistung aller schweizerischen Elektrizitätswerke zusammen rund 8000 MW.

Die Studien der BPA haben ergeben, dass der Weiterausbau des Fernnetzes mit 1100/1200 kV erfolgen soll. Um das Verhalten der geplanten 1100-kV-Leitung unter wirklichen Verhältnissen im Maßstab 1 : 1 zu prüfen, sind die folgenden beiden Versuchsstrecken erstellt worden:

Versuchsstrecke für mechanische Messungen und Versuche

Diese nicht unter Spannung gesetzte Strecke ist 1,7 km lang und hat 5 Spannweiten mit 267 bis 419 m Mastabstand. Sie liegt in einem ganzjährig zugänglichen Gebiet mit starkem Wind und grosser Eisbelastung auf ca. 650 m ü. M. Die Aufhängepunkte der Leiter sind über an den Masten fest montierte Podeste jederzeit zugänglich. Die Versuchsstrecke umfasst einerseits einen



Bündelleiter mit 8 Leitern von je 40,7 mm Durchmesser und einem Bündeldurchmesser von 107 cm und anderseits ein Zweierbündel mit 2 Leitern von ebenfalls 40,7 mm Durchmesser und einem Leiterabstand von 45 cm.

Prototypstrecke für elektrische Versuche und Messungen

Für elektrische Untersuchungen wurde in der Nähe eines Unterwerks eine 2 km lange, voll ausgebaute 1100-kV-Drehstromleitung erstellt, die über drei Einphasentrafos von je 50 MVA unter Spannung gesetzt werden kann. Die Leitung hat insgesamt 6 Spannweiten von 141 bis 584 m, davon eine mit Niederhaltemast. Das Mastbild mit Dreieckanordnung der drei Phasen (Figur) ist so entwickelt, dass eine möglichst geringe Trassebreite nötig ist. Die geplante 1100-kV-Leitung erfordert mit 56 m Trassebreite nur 18 m mehr Breite als eine 230-kV-Leitung der in den USA üblichen Bauart, kann aber 50mal mehr Leistung übertragen. Die Bündelleiter hangen an 2 Isolatorenketten in V-förmiger Anordnung. Die Isolatoren sind z. T. aus Glas, z. T. aus Porzellan. Versuche mit Kunststoffisolatoren sollen ebenfalls vorgesehen sein. Die Überspannungsableiter sind auf 1800 kV eingestellt. Die Versuchsleitung liegt in einem Gebiet, das zeitweise wegen starker Nebelbildung oder wegen starker Regenfälle erschwerte Betriebsbedingungen aufweist.

Wirtschaftlichkeitberechnungen haben ergeben, dass eine 1100-kV-Leitung ab etwa 5000...7000 MW Übertragungsleistung günstiger ist als mehrere parallele 500-kV-Leitungen.

Auf beiden Versuchsstrecken sind zahlreiche Mess- und Auswertevorrichtungen eingebaut für ein umfangreiches, weit gefächertes Versuchsprogramm. Hauptziel der Versuchsstrecken ist die Erfassung aller wesentlichen Daten für die Konstruktion einer technisch und wirtschaftlich optimalen, im Betrieb mechanisch und elektrisch möglichst störungsfreien 1100-kV-Drehstromübertragung im Leistungsbereich von bis zu 10 GW.

Paul Troller

Regeltechnik, Automatik, Datentechnik, Systemtechnik
Réglage automatique, traitement de données, systèmes

Elektronische Zündschaltgeräte für Kraftfahrzeuge

662.612.12 : 621.38 : 621.43;

[Nach *W. Gansert:* Elektronische Zündschaltgeräte. Bosch Technische Berichte 5(1977)5/6, S. 242...244]

Elektronische Zündschaltgeräte für Kraftfahrzeuge können in verschiedenen Bauweisen hergestellt werden. Es gibt heute solche in belüfteter, in dicht geschlossener oder in vergossener Bauweise. Solche Zündschaltgeräte werden im wesentlichen auf Leiterplatten mit diskreten Bauelementen oder auf Keramiksubstrate mit Chipbauelementen (Hybridtechnik) aufgebaut.

Eine sehr zuverlässige und wirtschaftliche Bauweise ergibt die *belüftete Bauart,* falls ein entsprechender Feuchtigkeitsschutz vorhanden ist. Das bis auf ein vorgeschaltetes Labyrinth dichte Gehäuse verhindert das Eindringen eines Wasserstrahls. Durch Kondenswasser eingedrungene Feuchtigkeit sammelt sich an der tiefsten Stelle und kann bei der nächsten Erwärmung wieder entweichen, sofern sich eine Belüftungsöffnung an der tiefsten Stelle befindet.

Fordern die verwendeten elektronischen Bauelemente einen besonders guten Feuchtigkeitsschutz, so wird die *dichte, geschlossene Bauart* angewendet. Hier ist die Dichtheit auch bei grösseren Druckdifferenzen durch entsprechende Konstruktion gewährleistet. Der erforderliche Aufwand ist entsprechend grösser.

Man kann auch – um das Eindringen der Feuchtigkeit zu verhindern – das Gerät mit einem geeigneten Stoff ausgiessen. Damit erreicht man die *Bauweise in Vergiesstechnik* (Hybridtechnik). Derartige Zündschaltgeräte können in kleiner und gedrängter Form mit relativ wenig Verbindungsstellen angefertigt werden. Die Verbindungen werden hier, nicht wie bei den Leiterplatten angelötet, sondern auf das Keramiksubstrat aufgedruckt und sind damit bereits kontaktiert.

Mit den erwähnten Zündschaltgeräten sind alle bisher bekannten Anwendungsfälle befriedigend zu lösen. Sollten in Zukunft die Motorraumtemperaturen und die Leistung der Zündanlagen gesteigert werden, so muss jedoch für eine bessere Wärmeabfuhr und die Verwendung von temperaturfesten Materialien gesorgt werden.

E. Schiessl