Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 38 (1947)

Heft: 10

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

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: 08.08.2025

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

stung nicht rechtfertigt. Es sind aber nur wenige Werke die dann konsequenterweise die Stern-Dreieckschaltung von Hand der direkten Einschaltung gleichsetzen. Für gewickelte Rotoren mit Zentrifugalanlassern oder Schleifringen gibt sozusagen kein Werk in der Regel geltende Höchstleistungen an.

Es scheint, dass viele Werte mehr gefühlsmässig als gestützt auf technische Ueberlegungen festgesetzt und dass öfters die Anschlussbedingungen eines Werkes einfach von einem andern Werk übernommen wurden.

Eine gründliche Ueberprüfung der betriebstechnischen Grundlagen, welche die zulässigen Höchstleistungen bestimmen, dürfte deshalb angezeigt sein. Nach den gemachten Darlegungen, die dazu einen Weg zeigen, sollten die Anschlussbedingungen ungefähr folgende grundsätzliche Form haben:

1. Drehstrom-Asynchronmotoren werden nur dann zum Anschluss zugelassen, wenn die Bedingung

$$0{,}08\, I_c \geqq I\,(k\,n)^{1/4}$$

erfüllt ist.

2. In den Gebieten . . . . . dürfen vier- und mehrpolige Drehstrom-Asynchronmotoren, deren Belastung häufig schwankt, nur angeschlossen werden, wenn der Einschaltstrom nicht grösser als y A ist, d. h. in der Regel bis zu folgenden Nennleistungen in kW:

Einfachkäfig-Rotoren		x
Stromverdrängungs-Rotoren . .	1,2	x
Rotoren mit Zentrifugalanlasser	2	x
Schleifring-Rotoren	6	x

Werden die Motoren über eine automatische Stern-Dreieck-Schaltung angelassen, so erhöhen sich die zulässigen Nennleistungen für Einfachkäfig- und Stromverdrängungs-Rotoren auf den dreifachen Wert.

Literatur

[1] *Dünner, E.:* Anlauf und Betriebsverhältnisse der Induktionsmotoren bei Verwendung verschiedener Rotorarten. Bull. SEV Bd. 25(1934), Nr. 20, S. 525...531.

[2] *Michaelis, P.:* Neue Entwicklungslinien im Kleinmaschinenbau. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 4, S. 60...65.

[3] *Anschütz, H.:* Ueber die Glättung der Lichtschwankungen von Wechselstrom-Glühlampen. Elektrotechn. Z. Bd. 55 (1934), Nr. 1, S. 10...12.

[4] *Werdenberg, W.:* Zulässige Spannungsschwankungen in Licht-Netzen. Bull. SEV Bd. 26(1935), Nr. 22, S. 609...612.

[5] *Keller, Robert:* Das Flimmern des elektrischen Lichtes. Ursachen und Abhilfsmöglichkeiten. Bull. SEV Bd. 32 (1941), Nr. 25, S. 717...721.

[6] *Altherr, R.:* Der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 12, S. 361...371.

Adresse des Autors:
W. Werdenberg, Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Winterthur.

CIGRE
Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension
11. Session, Paris 1946

061.3:621.3

Die CIGRE blickte an der 11. Session, die vom 27. Juni bis 6. Juli 1946 nach alter Tradition in Paris stattfand, auf 25 Jahre ihres Bestehens zurück. Sie war unter den Auspizien der Commission Electrotechnique Internationale, die schon seit 1904 besteht, im März 1921 gegründet worden. Seither hält sie alle zwei Jahre ihre Kongresse ab; die Reihe wurde nur durch den Krieg unterbrochen.

Die CIGRE befasst sich mit folgenden Gegenständen:

1. Bau des Materials zur Erzeugung, Umformung und Unterbrechung elektrischer Energie.
2. Konstruktion, Isolation und Unterhalt der Freileitungen und Kabel.
3. Betrieb, Schutz und Zusammenarbeit der Netze.

Sie will

die Neuerungen bekannt geben und unter den Spezialisten der verschiedenen Länder zur Diskussion stellen,

auswählen zwischen dem, was gut, mittelmässig oder schlecht ist,

die wirklichen Fortschritte festlegen.

In den Schriften der CIGRE heisst es: «Elle tend donc finalement vers ce but unique: ‚Comment faire mieux travailler l'argent' et, bien qu'on n'y parle pas de finances, elle sert ainsi directement les intérêts financiers de ses participants.»

Die Arbeitsmethoden und das Programm der CIGRE blieben sich seit 1921 immer gleich. Es darf erwähnt werden, dass der Unterhaltungsteil stets auf ein Minimum reduziert war: Von 10 Tagen jeder Session sind nur zwei nicht der Arbeit gewidmet: ein Sonntag und ein Werktag für technische Besichtigungen und die verwaltungstechnischen Versammlungen.

Wenige Wochen nach dem Waffenstillstand (8. Mai 1945) wurden die Vorarbeiten für die Session 1946 aufgenommen. Im November 1945 versammelte sich der Conseil in Paris mit einer Reihe von Experten, um die technischen Fragen, die an der Session 1946 in den Vordergrund gerückt werden sollten, festzulegen.

Wie sehr die rasche Aufnahme der Arbeiten überall geschätzt wurde, zeigt der unerwartete Erfolg der Session 1946: 877 Delegierte aus allen Ländern hatten sich eingeschrieben, eine Zahl, die bisher noch nie erreicht worden war. Die Schweiz war an dieser Zahl mit 88 Einschreibungen beteiligt, nach Frankreich (397), Grossbritannien (117) und Belgien (108).

107 Berichte waren eingereicht worden; die Schweiz stand mit 18 an zweiter Stelle, nach Frankreich (20), gefolgt von Grossbritannien (17), Belgien (14), Schweden (13), Vereinigte Staaten (7).

81 % der Berichte wurden vor der Session (am 5. Juni) allen Teilnehmern zugestellt; die übrigen, deren Manuskripte zu spät eingereicht wurden, konnten in Paris in Empfang genommen werden. Bedenkt man, dass die meisten dieser Berichte erst im April eingereicht werden konnten, so muss die Uebersetzung ins Englische oder Französische und der zweisprachige Druck all dieser Berichte innerhalb nur gut eines Monates als besondere Leistung des Generalsekretariates der CIGRE und dessen Mitarbeiter anerkannt werden.

In der Revue Générale de l'Electricité erschien ein Auszug aus allen Berichten in französischer Sprache. Die Redaktion dieser Zeitschrift hat uns freundlich erlaubt, eine deutsche Uebersetzung ihrer Auszüge im Bulletin des SEV erscheinen zu lassen. Wir beginnen damit in dieser Nummer und möchten besonders betonen, dass wir hier nur einen allgemeinen Ueberblick geben können; *vor allem sind diese von Dritten gemachten und übersetzten Auszüge für die Autoren nicht verbindlich.* Für alle Einzelheiten und zu genauem Studium müssen wir auf die offizielle Veröffentlichung verweisen. Die ersten beiden Bände des Compte-Rendu sind Ende April und anfangs Mai erschienen; der dritte Band folgt bald. Alle drei Bände sind beim Sekretariat der CIGRE, 112 Bd. Haussmann, Paris 8°, zu beziehen, zum Preise von fanz. Fr. 3500.—.

1. Sektion:

Erzeugung, Umformung und Unterbrechung des Stromes

Gruppe 10: Gleichstrom

A. Energieübertragung durch hochgespannten Gleichstrom. Referat von *Ch. Ehrensperger.* Das Referat, Nr. 103 (Schweiz), umfasst 18 Seiten Text mit 10 Figuren im Text.

Der Verfasser untersucht das Problem der Uebertragung elektrischer Energie auf weite Entfernung, um die Bedingungen zu bestimmen, unter welchen das eine der beiden einander gegenüberstehenden Systeme, das Gleichstrom- und das Wechselstromsystem, die meisten Vorteile sowohl vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit, als auch von dem der Sicherheit aus bietet.

Obgleich bewiesen ist, dass die Lösung mit Gleichstrom bei Energieübertragung auf sehr weite Entfernung wirtschaftlich gerechtfertigt ist, zeigte es sich, dass eine Ausführung für grosse Leistungen nicht ohne praktischen Beweis ihrer Vorzüge im Betrieb unter industriellen Verhältnissen, namentlich hinsichtlich der Sicherheit, geplant werden darf. Daher ist es nötig, mit möglichst geringen Kosten Versuchsleitungen und entsprechende Umformerstationen für Leistungen zu bauen, die nach Ansicht des Verfassers zwischen 10 000 und 30 000 kW gewählt werden müssen. Um solche Ausführungen vorzubereiten, wurden von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. zwei Anlagen in verkleinertem Maßstab entworfen und gebaut: die eine [1]) 1939, für die Schweizerische Landesausstellung, zwischen Zürich und Wettingen (500... 1000 kW bei 50 kV, 20 km; 1 Draht, mit Rückleitung durch die Erde), die zweite, neuere, mehr zum Studium der Mutatoren bestimmt, wurde neben dem Biaschina-Kraftwerk der Aare-Tessin A.-G. eingerichtet; sie umfasst eine Abgangs- und eine Ankunftsstation, beide aneinanderstossend (13 000 kW bei 33 kV).

Für eine gegebene Uebertragungsleistung würde die Leitung mit den geringsten Erstellungskosten aus einem einzigen Leiter mit Rückleitung durch die Erde bestehen. Obgleich diese Lösung mit Rücksicht auf Korrosionserscheinungen und Telephonstörungen wenig empfehlenswert ist, kann sie in Betracht kommen, wenn es sich darum handeln wird, grosse, mehr oder weniger öde Zonen zu überwinden, allerdings mit der Bedingung der Erstellung hochwertiger Erdungen. Denkt man an eine Leitung mit 2 Leitern (1 Hin- und 1 Rückleitung) mit in den beiden Endstationen geerdetem Mittelpunkt, so kann vorübergehend die Rückleitung durch die Erde in Betracht kommen, wenn einer der beiden Leiter beschädigt ist. Dann beträgt die übertragene Leistung die Hälfte der Normalleistung oder mehr, wenn man eine Ueberlastung während der zur Behebung des Schadens nötigen Zeit zulässt; in dieser naturgemäss nur kurzen Zeit sind die schädlichen Wirkungen der Rückleitung durch die Erde nicht zu fürchten. Im Vergleich mit einer Drehstrom-Doppelleitung (6 Leiter, 300...100 kV) ermöglicht eine Gleichstrom-Doppelleitung eine Kostensenkung von über 30 %, eine einfache Leitung (2 Leiter, 300...800 kV) eine solche von über 50 %.

Die an den Enden der Leitung stehenden Umformerstationen müssen eine Drehstromschaltanlage, Transformatoren, Mutatoren mit Zubehör, eine Gleichstromschaltanlage, und im allgemeinen eine Induktionsspule zur Schwingungsdämpfung für jeden Leiter der Gleichstromleitung umfassen. Der Verfasser beschreibt kurz das Projekt einer Umformeranlage für eine Leistung von 100 MVA bei 300 kV Gleichstrom und 150 kV Wechselstrom. Die Mutatoren sind zu je drei in den vier Stockwerken eines Gebäudes untergebracht, das von den übrigen Anlageteilen umgeben ist. Eine Erweiterung würde die Verdoppelung der Leistung durch Anbau einer zweiten genau gleichen Anlage gestatten, die mit der ersten in Serie geschaltet würde, wobei der Mittelpunkt zu erden wäre.

Bezüglich der Mutatoren beabsichtigt Brown Boveri, Apparate grosser Leistung und hoher Spannung für Serieschaltung zu bauen. Der Verfasser berichtet über die an den Mutatoren der Anlage des Biaschina-Kraftwerkes ausgeführten Versuche, wo es während acht aufeinander folgenden Tagen möglich war, mit Sechsanoden-Mutatoren einen Strom von 400 A bei 33 kV Gleichspannung abzugeben, mit einer inversen Spitzenspannung der Mutatoren von 130 kV. Einige Rückzündungen sind aufgetreten; sie wurden aber durch die Steuergitter normal gelöscht. Es ist damit bewiesen, dass die Steuergitter-Löschung gestattet, die Rückzündungslichtbogen-Erscheinungen, welche übrigens äusserst selten geworden sind, unschädlich zu machen.

Um die Energieübertragung bei Wechsel- und bei Gleichstrom wirtschaftlich zu vergleichen, müssen für eine gegebene zu übertragende Leistung zunächst verschiedene Projekte mit mehreren Varianten (Aenderung der Spannweiten, der Tragwerke, der Betriebsspannung, des Leiterquerschnitts usw.) untersucht werden, um die wirtschaftlichste Lösung zu finden. Ausgehend von den drei gegebenen Grundgrössen Kilowattstundenpreis, vorgesehene jährliche Benützungsdauer der Vollast, jährliche Kapitalkosten (umfassend Zinsen, Abschreibung, Instandhaltungs- und Betriebskosten), berechnet man den Preis der Kilowattstunde am Ende der Leitung oder die aus den Uebertragungskosten resultierende Preiserhöhung. Die Grenze, jenseits welcher Gleichstrom wirtschaftlicher ist als Drehstrom, liegt für eine übertragene Leistung von 500 MW bei 400 km, wenn die vorübergehende Benützung der Erde als Rückleiter nicht möglich ist, und bei 200 km, wenn sie möglich ist.

B. Kabel für sehr hohe Gleichspannung. Referat von *L. Domenach.* Das Referat, Nr. 111 (Frankreich), umfasst 10 Seiten Text mit 3 Figuren im Text.

Der Verfasser erinnert an die in der Technik der Hochspannungs-Gleichstromkabel erworbene Erfahrung mit den beiden bekannten Ausführungen, die 1937 abgebrochen wurden, der einen von 100 kV, 1906 gebaut, mit zwei Kabeln von 4 km Länge, zur Verbindung von Lyon mit dem Ende der Leitung von Moutiers, der anderen, 1925 gebaut, mit 64 km 150-kV-Kabel, zwischen Novalaise und Chambéry.

Mit einem «Delon»-Hochleistungs-Gleichrichter (mechanischer Gleichrichter) ausgeführte Versuche sind bis 1200 kV ausgedehnt worden; sie haben die Festlegung der Möglichkeiten der Gleichstromkabel gestattet. Der Verfasser hat besonders den Wert des maximalen Arbeitsgradienten des Isoliermittels, den man bei einem Sicherheitskoeffizienten grösser als 3 gegen Gleichspannungs-Ueberspannungen von sehr langer Dauer im Betrieb wählen darf, mit 40 kV/mm ermittelt. Der Stoßspannungs-Sicherheitskoeffizient (Stoss 1|50) wäre etwas höher als 4, scheint aber keine wesentliche Rolle zu spielen, denn die atmosphärischen Ueberspannungen kommen nicht in Betracht. Beim Anschluss des Kabels an eine Freileitung wäre es zwecks Begrenzung der Amplitude der von der Leitung kommenden Ueberspannungen jedoch nötig, gewisse besondere Vorrichtungen anzubringen oder die Isolation des Kabels auf eine gewisse Länge von der Anschlußstelle an zu verstärken.

Ein einfaches Gesetz zwischen den Durchschlag-Stoßspannungen (Stoss 1|50) und den Durchschlagspannungen bei Gleichstrom ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Dauerversuche haben gezeigt, dass unter einer um 20 % niedrigeren Gleichspannung als die Durchschlagspannung die Lebensdauer der Massekabel unbegrenzt scheint. Dies liegt an der geringen Bedeutung der dem ionisierenden Strom proportionalen Ionisationsverluste, während diese Verluste bei Wechselstrom von Industriefrequenz eine überwiegende Bedeutung erlangen, da der ionisierende Strom (gleich dem Aufladestrom ωUC) einen um mehrere tausend mal höheren Wert als den bei Gleichstrom beobachteten erreicht. Es lässt sich berechnen, dass ein Massekabel je nach Leiterquerschnitt eine mittlere Isolationswandstärke von 7,5...8,5 mm für 400 kV, von 11...13 mm für 600 kV und von 18,5...21,5 mm für 1000 kV haben müsste. Ein mit einem Leiter von 600 mm² versehenes 500-kV-Einleiter-Kabel hätte einen Aussendurchmesser von 90 mm. Eine Leitung aus zwei Kabeln dieses Typs, deren Mäntel geerdet wären, könnte eine Leistung von 800 000 kW bei 1000 kV übertragen. Eine Leitung von 600 kV zwischen Leiter und Erde hätte einen Durchmesser von 10 cm, vergleichbar dem des 220-kV-Kabels mit Oel als Dielektrikum zwischen Clichy-sous-Bois und Saint-Denis.

In einer Leitung von 500 km Länge bei 600 kV oder von 1000 km Länge bei 1000 kV (übertragene Leistung 800 000 kW) wären die Verluste von der Grössenordnung von 5 % der übertragenen Leistung.

[1]) Bull. SEV Bd. 30(1939), Nr. 17, S. 481...482.

Die Kosten einer Leitung pro Kilowatt und pro Kilometer nehmen um ein Drittel ab, wenn die Leistung von 200 auf 900 MW gesteigert wird. Die Rückleitung durch die Erde scheint wegen der in der Nachbarschaft der Erdungsstellen zu befürchtenden Störungen nicht in Frage zu kommen.

C. Energieübertragung durch hochgespannten Gleichstrom. Referat von *W. Borgquist.* Das Referat, Nr. 132 (Schweden), umfasst 26 Seiten Text mit 2 Tabellen im Text.

Der Verfasser berichtet über die seit 1939 in grossem Maßstab durchgeführten Versuche zur Energieübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom. Die Kennwerte der für diese Versuche eingerichteten Anlagen, von denen manche einen regelmässigen Dienst versehen haben, sind in Tabelle I angegeben.

Kennwerte von Anlagen zur Energieübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom Tabelle I

Anlagen		Schweiz		Vereinigte Staaten von Amerika		Deutschland	Schweden
		Wettingen-Zürich	Bodio	Schenectady-Mechanicville	Carnegie III Steel-Co.	Elbe-Berlin	Trollhättan-Mellerup
Spannung	kV	50	33	27	30	2 × 200	2 × 45
Strom	A	10...20	400	175	2 × 340	150	72
Nennleistung	kW	500...1000	13000	4800	2 × 10 000	60 000 [1])	6500
Zahl der Umformereinheiten		1	1	1	2 × 1	2	2
Inverse Spannung	kV	100	130	16...18	20	120 [2])	45
Strom pro Anode (Spitzenwert)	A	10...20	133	175	340	150	72
Gesamt-Phasenanzahl		6	2	2	24	24	12
Schaltung		Stern	Stern	Stern	Brücke	Brücke	Brücke
Länge der Leitung	km	30	30	27	190	160	50

[1]) Die grösste Leistungsabgabe war 25 000 kW.
[2]) Nur zu 75% ausgenützt.

Indem der Verfasser einen Vergleich zwischen der Energieübertragung mit Gleich- und mit Drehstrom aufstellt, unterstreicht er die Tatsache, dass die in der Technik der Energieübertragung, namentlich hinsichtlich Stabilität, erzielten Fortschritte bis jetzt erlaubt haben, den wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der zusammengeschalteten Netze für Spannungen bis zu 220 kV und Entfernungen bis 600 km zu erproben. Von 600 km an sollte eine höhere Spannung angewendet werden; dabei drängt sich der Vergleich zwischen Gleich- und Drehstrom auf. Es scheint zurzeit nicht möglich, vom technischen Standpunkt aus entscheidende Argumente zur Bevorzugung eines der beiden Systeme zu finden. Dagegen bietet vom wirtschaftlichen Standpunkt der Gleichstrom Vorteile, sobald es sich um die Uebertragung sehr bedeutender Leistungen handelt. Weiter spricht die Möglichkeit, Kabel statt Freileitungen verwenden zu können, für die Verwendung des Gleichstroms.

Der Verfasser durchgeht die verschiedenen Probleme, welche die Verwendung des hochgespannten Gleichstroms aufwirft. Es scheint zunächst, dass der Gleichstrom mit konstanter Spannung dem Gleichstrom mit konstanter Stromstärke vorzuziehen ist. Was die Uebertragungsspannung betrifft, so kann man mit 2 × 250 kV mit einem angemessenen Leiterquerschnitt eine Leistung von ungefähr 400 MW pro Leitung erreichen, d. h. 200 MW pro Leiter. Die Kosten der Uebertragungsleitung, einschliesslich der Verluste, belaufen sich dann für eine Uebertragungsentfernung von 1000 km auf rund 3 Dollar pro Kilowattjahr, das heisst sehr wenig, wobei diese Kosten auf Grund der 1939 geltenden Preise berechnet sind, mit 4 % Zins und 10 Dollars pro vom Kraftwerk geliefertem Kilowattjahr Energie. Die in Schweden geplanten Uebertragungssysteme mit Gleichstrom sind für eine Spannung von 2 × 250 kV vorgesehen.

Vom Verfasser wird für die Umformerstationen das Schaltsystem der Mutatoren in sechsphasiger Brücke empfohlen. Dieses System bedingt Drehstromtransformatoren mit einem Belastungsfaktor von 95 %, während bei Sternschaltung dieser Faktor nur 79 % beträgt.

Die Spannung der Mutatoren kann auf der Wechselstromseite 83,3 kV pro Gerät erreichen; dies unter der Voraussetzung, dass der Mutator eine inverse Spannung von 120... 130 kV aushalten kann.

Die grösste bis jetzt in den Versuchsstationen zugelassene Stromstärke pro Anode ist 340 A. Für höhere Stromstärken stellt die Kühlung der Anoden schwierig zu lösende Probleme.

Bei der Lieferung von Blindenergie an die Empfangsstation erscheint es angemessen, sich an eine Blindleistung zwischen 55 und 75 % der übertragenen Leistung zu halten. Anderseits verursacht die Regelung der übertragenen Leistung keine unüberwindlichen Schwierigkeiten.

Die Probleme, die sich bei der Konstruktion der Quecksilberdampf-Hochleistungsmutatoren ergeben, betreffen den Bau der Anoden und ihrer Gitter, die Verwendung von Schirmen zur Vermeidung der schädlichen Strahlung, die Kathodenerregung und die Kühlung. In dieser Hinsicht erscheint eine Zusammenarbeit der Konstrukteure wünschenswert.

Die Unschädlichmachung der Rückzündungen und die Beseitigung der Zündfehler bilden ebenfalls Probleme, die gründliche Studien erfordern, deren Lösung zweifellos zur Serieschaltung der Mutatoren führen wird.

Die Verwendung der Erde als ständiger Stromrückleiter ist von zweitrangiger Bedeutung. Dagegen scheint die Möglichkeit der Rückleitung durch die Erde bei vorübergehenden Betriebsstörungen beachtenswert.

D. Quecksilberdampf-Umformerstationen für die Uebertragung von hochgespanntem Gleichstrom. Referat

von *Uno Lamm*. Das Referat, Nr. 133 (Schweden), umfasst 38 Seiten Text mit 9 Figuren im Text.

Entwurf und Betrieb der Umformerstationen für die gegenwärtig im Studium befindlichen Grossübertragungen mit hochgespanntem Gleichstrom stellen Probleme, die in der Verwendung der Hochleistungs-Quecksilberdampfgleichrichter und -wechselrichter liegen.

Die Vorteile, welche die Verwendung der sogenannten Sechsphasen-Brückenumformung sowohl in den Sende- als auch den Empfangsstationen bietet, werden dargestellt. Bei der Brückenschaltung benützt man zwei in Serie geschaltete Gruppen von je drei in Stern geschalteten Einphasen-Mutatoren, wobei die Nullpunkte die Klemmen des Gleichstromkreises bilden. Das Ganze ist an die Dreiphasenwicklung eines Transformators angeschlossen, und mehrere gleiche Gerätegruppen können in Serie geschaltet werden; unter diesen Verhältnissen beträgt die Leergleichspannung, ohne Zündverzug, 1,35 mal die verkettete Wechselspannung. Beim Betrieb als Gleichrichter sind die Mutatoren einer maximalen inversen Spannung gleich dem Scheitelwert der verketteten Wechselspannung ausgesetzt. Die positive Spannung (Sperrspannung) der als Wechselrichter arbeitenden Mutatoren besitzt denselben Höchstwert. Das Verhältnis des Wechselstroms zum Gleichstrom ist ungefähr 0,816. Der Leistungsfaktor beträgt rund 0,95 bei Vollast. Der Wechselstrom enthält Oberschwingungen der Ordnung 5, 7, 11 und 13.

Nach Untersuchung der Bestimmung der der Empfangsstation zu liefernden Blindleistung hebt der Verfasser hervor, dass dann, wenn das von der Sendestation gespiesene Wechselstromnetz keine Synchron- oder Asynchronmaschinen umfasst, Blindleistungsgeneratoren vorgesehen werden müssen, welche die zum Arbeiten nicht nur der Wechselrichter, sondern auch des Netzes selbst nötige Blindenergie erzeugen. Je geringer der Leistungsfaktor des Netzes, desto höher ist dann die Leistung der Blindleistungsmaschinen, und desto geringer der Blindwiderstand und die Kommutationsdauer der Wechselrichter, sowie deren Bedarf an Blindleistung.

Gründliche Studien haben gezeigt, dass ungefähr die Hälfte der gesamten Blindleistung der Blindleistungsmaschinen von statischen Kondensatoren geliefert werden kann, ohne dass Resonanz mit den Oberschwingungen des Wechselstroms zu befürchten wäre. Für $\cos\varphi = 0{,}87$ sind die vom Netz und von der Wechselrichtergruppe verbrauchten Blindleistungen gleich. Die von der Wechselrichtergruppe geforderte zusätzliche Blindleistung kann von Kondensatoren geliefert werden, wenn der Leistungsfaktor gleich oder kleiner eins ist.

Der Verfasser gibt die zur Regulierung der übertragenen Leistung benützten Verfahren an, wobei die in das Wechselstromnetz eingeführte Gleichstromleistung durch den Unterschied der Gleichspannungen am Anfang und Ende der Leitung bestimmt ist. Die gegenwärtig geplanten Verfahren sind:

1. In der Sendestation
   Regulierung der Spannung der Wechselstromgeneratoren durch Erregungsänderung; Verwendung von Klemmenumschaltern in den Transformatoren der Gleichrichter; auf die Steuergitter der Gleichrichter wirkende Regulierung.
2. In der Empfangsstation
   Regulierung der Erregung der Synchron-Blindleistungsmaschinen;
   Verwendung von Klemmenumschaltern in den Transformatoren der Wechselrichter; Regulierung der Steuergitter der Gleichrichter.

Die Regulierung durch Wirkung auf die Gitter bietet besonders aussichtsreiche Möglichkeiten.

Die beiden Kategorien von Störungen, welche die Mutatoren befallen können, sind die Lichtbogenverzögerungen und die durch eine Fehlzündung oder einen Zündsteuerungs- oder Kathodenerregungsfehler oder auch durch die Verzerrung der Spannungswelle auf dem Empfangsnetz verursachten Kommutationsversager.

Der Verfasser beschreibt zwei Methoden des Schutzes gegen die Rückzündungslichtbögen. Die erste besteht darin, in jeder Gleichrichterphase mehrere Mutatoren in Serie zu schalten, und die zweite, alle Mutatoren des betroffenen Gleichrichters zu sperren, indem derart auf die Gitter eingewirkt wird, dass der Kurzschlußstrom während des Bruchteils einer Periode gelöscht wird. Beim zweiten Verfahren versieht man jede Gleichrichtergruppe mit einem an den Klemmen des Gleichstromkreises im Nebenschluss montierten Mutator, der entsperrt wird, sobald die Hauptmutatoren gesperrt werden.

Der Schutz gegen die Kommutationsversager eines Wechselrichters kann durch Sperrung aller Gleichrichter der Sendestation erzielt werden. Dies geschieht so, dass der Strom bis auf Null mit einer Geschwindigkeit abnimmt, die man dadurch vergrössern kann, dass man die Gleichrichter durch einen geeigneten Zündverzug als Wechselrichter arbeiten lässt. Die Verwendung eines Nebenschlussmutators erlaubt die Durchführung dieses Schutzes auf noch einfachere Weise.

Für die Behebung der Fehler auf der Gleichstrom-Fernleitung besteht das einfachste Verfahren darin, derart auf die Zündsteuerung zu wirken, dass die Polarität der Leitung gewechselt wird.

In einem der letzten Teile des Referates setzt der Verfasser die in Schweden im Bau der Hochleistungs-Quecksilberdampfmutatoren erzielten Fortschritte auseinander. Er beschreibt im besonderen einen Mutator, dessen Kessel ein senkrecht stehender Isolierzylinder überragt; sein oberes Ende trägt die Anode, unterhalb dieser befindet sich ein langgestreckter Körper von kreuzförmigem Querschnitt aus halbleitendem Stoff. Dieser Körper wird an seinem oberen Teil auf das Anodenpotential, an seinem unteren Teil auf das Kathodenpotential gebracht und steuert den Lichtbogen so, dass man eine gleichförmige Verteilung der Spannung längs des Körpers erhält. Diese Anordnung ist dadurch noch verbessert worden, dass der die Spannungsverteilung sichernde Widerstand ausserhalb des Isolierrohrs angeordnet ist; hiezu enthält dieses Porzellanrohr eine Reihe übereinander liegender Elektroden, die mit durchgeführten Leitern an die Anschlußstellen eines als Potentiometer wirkenden inneren Widerstandes angeschlossen sind. Mutatoren, die einen Gleichstrom von 70 A bei 50 kV abgeben, sind nach diesem Prinzip ausgeführt worden.

Eine Beschreibung der grundsätzlichen Ausführung von Umformerstationen bildet das letzte Kapitel des Referates.

(Fortsetzung folgt.)

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Ein Hochspannungs-Elektrokessel für 16000 kW

621.181.646

[Nach *Schmutz, A.*: Ein Brown Boveri Hochspannungs-Elektrokessel für 16 000 kW. Brown Boveri Mitt". Bd. 33 (1946), Nr. 12, S. 410...411.]

Im Laufe des Monats Juli 1946 wurde ein Dreiphasen-Elektrokessel für 16 000 kW, d. h. mit einer stündlichen Dampferzeugung von 22 000 kg, in einem grossen Werk der chemischen Industrie in der Schweiz in Betrieb gesetzt. Es handelt sich um den grössten bisher in der Schweiz gebauten Elektrokessel. Er ist nach dem von Brown Boveri seit Jahren mit Erfolg verwendeten System des Wasserstrahl-Elektrokessels gebaut und direkt an das 10-kV-Netz angeschlossen. Wegen seines grossen Durchmessers von 2300 mm und seines verhältnismässig hohen Druckes von 26 kg/cm² bot die Beschaffung des Materials für den Kesselmantel einige Schwierigkeiten. Zur Zeit der Bestellung war das erforderliche 40-mm-Blech in der Schweiz überhaupt nicht erhältlich, so dass damals die Ausführung der Kesselschale in Stahlguss in Erwägung gezogen wurde. Eingehende Untersuchungen zeigten, dass diese Bauart teurer, jedoch durchaus ausführbar gewesen wäre. Im allerletzten Augenblick eröffnete sich dann doch noch eine Möglichkeit, das Kesselblech aus dem Ausland zu beschaffen, so dass auf das in mancher Hinsicht interessante Experiment einer Stahlgussausführung verzichtet wurde. Nur die beiden gewölbten Böden sind aus Stahlguss, während der zylindrische Teil aus Kesselblech hergestellt wurde. Kesselblechmäntel und Stahlgussböden sind elektrisch verschweisst. Entsprechend der Konstruktion des Wasserstrahlkessels enthält der obere Deckel eine Oeffnung zum Einführen des Wasserstrahlrohres. Seine Form gestattet die Festigkeitsberechnung nach den bekannten Formeln nicht