Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 11

Rubrik: Diskussion

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: 06.01.2026

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

ertragen und damit jenes Isolationsniveau erreicht, das selbst für eine Nennspannung von 1000 kV als ausreichend betrachtet werden darf.

Neben den Spannungsprüfungen interessierten auch hier wiederum besonders die Versuche über die Wärmestabilität. Es sollte gezeigt werden, dass das Prinzip der unterteilten Körper auch für die höchsten Spannungen ohne Gefahr angewendet werden kann. Der Versuch wurde mit der höchsten, nur durch die Messeinrichtungen begrenzten Spannung von 700 kV gegen Erde ausgeführt.

Fig. 7 zeigt das Ergebnis des Dauerlaufes. Die Durchführung wurde mit dem Unterteil in 90 °C heissem Öl während 36 h spannungslos aufgeheizt, damit vorerst eine gleichmässige Durchwärmung zustande kam. Anschliessend wurde während weiteren 12 h die Spannung von 700 kV effektiv angelegt. Der Verlauf der Verlustfaktorkurve erbrachte den Beweis, dass diese Art von Hartpapierdurchführungen als absolut stabil bezeichnet werden darf.

Auf Grund der Typenversuche darf gesagt werden, dass nicht nur die Konstruktion der zu liefernden 765-kV-Durchführungen, sondern darüber hinaus auch jene der vielleicht in Zukunft benötigten Durchführungen im 1000-kV-Bereich bereits als gesichert betrachtet werden darf.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *H. Kappeler,* Vizedirektor, Micafil AG, Zürich 9/48.

Diskussion

E. Thuries, Chef de Recherches des disjoncteurs pneumatiques aux Ateliers de Construction Electriques de Delle, Villeurbanne (France): Monsieur *Ruoss* [1]) ayant exposé les principaux problèmes posés aux disjoncteurs 735 kV, je présenterai rapidement les solutions adoptées par les Ateliers de Constructions Electriques de Delle qui ont été honorés, par la Commission Hydro-Electrique de Québec, d'une commande de 4 disjoncteurs 735 kV dont les caractéristiques principales sont les suivantes:

a) pouvoir de coupure . . . . . 40 000 MVA
b) niveau d'isolement au choc . . . . 2200 kV, crête
c) temps total de coupure . . . . . 2,5 cycles à 60 Hz
d) surtensions limitées en ouverture ou fermeture de transformateurs ou de lignes à vide

La fig. 1 représente un pôle de ce disjoncteur. Il comporte essentiellement deux réservoirs d'air comprimé formant châssis support pour 6 colonnes isolantes en céramique creuses portant chacune une tête de coupure dont elles assurent l'alimentation en air comprimé. Ces colonnes, comme l'ensemble du disjoncteur, sont en permanence sous pression, ce qui évite les condensations et les rentrées éventuelles d'humidité. Elles renferment en outre la commande des chambres de coupure, commande à transmission mécanique, qui permet un gain appréciable de temps par rapport aux commandes pneumatiques classiques et assure une parfaite synchronisation entre chambres. On distingue à la partie supérieure du disjoncteur d'importants anneaux de garde horizontaux destinés à assurer une répartition uniforme du champ sur les colonnes supports et des anneaux verticaux permettant de diminuer les gradients de potentiel afin de réduire effet Korona, effluves et interférences radio, qui pourraient prendre une certaine ampleur sous ces tensions élevées. On peut également apercevoir des condensateurs destinés à assurer une répartition de tension lorsque le disjoncteur est déclenché.

32'837 – 838

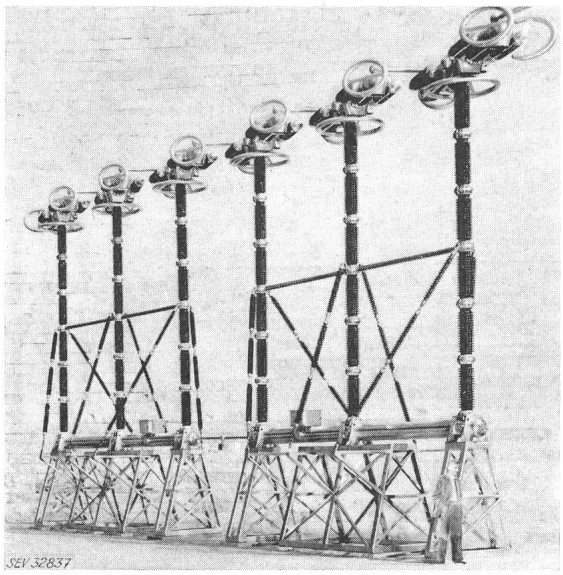

Fig. 1

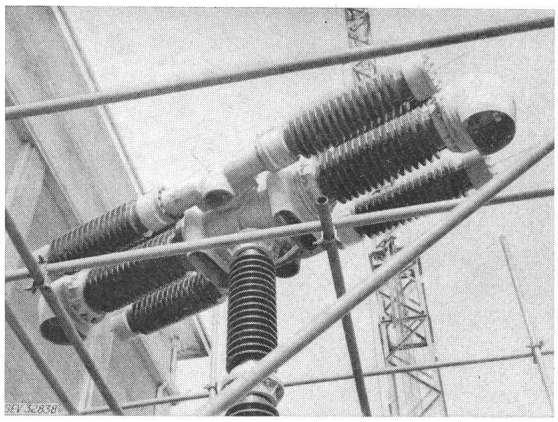

Fig. 2

La fig. 2 montre une tête de coupure comportant en deux exemplaires la chambre principale de coupure avec ses deux orifices de soufflage et les deux chambres secondaires disposées de part et d'autre. Ces chambres sont en permanence sous pression; l'air comprimé est ainsi au voisinage des contacts, ce qui autorise de faibles temps de coupure et une régénération diélectrique rapide à laquelle contribue également puissamment le double soufflage pour la chambre principale.

La première chambre secondaire fonctionnant au déclenchement renferme une résistance et un interrupteur chargé d'interrompre le courant traversant cette résistance qui est destinée à assurer une parfaite répartition de tension sur les chambres principales et à diminuer les surtensions de manœuvre en coupure de petits courants inductifs en particulier.

Notons qu'en coupure de longues lignes à vide, la présence de cette résistance permet de décharger sensiblement la ligne dans des proportions pouvant atteindre 10 à 20 % suivant la capacité de cette ligne, c'est-à-dire suivant sa longueur. Ceci est évidemment favorable puisque les surtensions qui prendront naissance lors d'une refermeture rapide de cette ligne à vide seront diminuées d'autant.

La deuxième chambre secondaire fonctionnant à l'enclenchement a pour but d'insérer, avant la fermeture de la chambre principale, une résistance de très faible valeur ohmique, afin de diminuer les surtensions d'enclenchement, problème qui a déjà été fréquemment abordé au cours de cette réunion.

La détermination de la valeur à donner à cette résistance

[1]) Voir p. 532...538 du numéro.

32'876

nécessite une étude assez complexe. Les Ateliers de Construction Electriques de Delle ont d'abord effectué des calculs en monophasé sur ordinateur, par la méthode de *Bergeron* bien connue des hydrauliciens; une étude triphasée a été entreprise sur analyseur transitoire, en collaboration avec Electricité de France, pour apprécier entre autre l'effet de la différence des temps d'enclenchement entre les pôles.

En conclusion, on peut dire que le disjoncteur pneumatique, grâce à sa puissance et à sa grande souplesse, assurées en particulier par l'utilisation pour les manœuvres de l'énergie considérable stockée sous forme pneumatique dans les chambres de coupure, est un appareil bien adapté pour résoudre tous les problèmes nouveaux qui peuvent se présenter, ceux posés par les très hautes tensions en particulier.

W. Howald, Ingenieur, Thalwil: *W. Herzog* [2]) hat in seinem Vortrag kurz auf die Vorgänge in den USA hingewiesen. Ich möchte hiezu einige Details erwähnen. Wie bekannt ist, wurde dort der Übertragung grosser Leistungen mit hohen Spannungen auf grosse Distanzen seit jeher grosses Interesse zugewandt. Nach den Erfolgen der 287-kV-Leitung Boulder-Los Angeles und der 500-kV-Tidd-Versuchsanlage wurde rasch ein 345 kV Netz erstellt, das bis Ende 1961 über 4800 km in den USA und 4000 km in Kanada umfasste. Nun ist aber in Virginia bereits eine 560 km lange 500-kV-Leitung im Bau, und für weitere 1000 km zur Verbindung der Staaten Texas—Louisiana—Oklahoma—Arkansas sind die Lieferungen vergeben worden.

Isolatoren: Amerika verwendet immer noch den zuverlässigen und billigen Kappen-Klöppel-Isolator. Wurden früher bei grösseren Lasten meistens Mehrfachketten verwendet, so gewinnt neuerdings der hochzugfeste Isolator von 22,5 t Bruchfestigkeit vermehrte Bedeutung. Die Virginia-Leitung wird z. B. voll damit ausgerüstet.

Die in gewissen Gegenden beobachtete Zementkorrosion, welche öfters eine Sprengung des Porzellans bewirkte, wird nun erfolgreich dadurch bekämpft, dass am Klöppel an der Austrittsstelle ein trichterförmiger und elastischer Stahlmantel aufgepresst wird, welcher allfällige Wachstumskräfte gefahrlos aufnimmt.

Für 500 kV werden ungefähr 18 Isolatoren pro Kette und für 750 kV deren 25 benötigt. Der Durchmesser beträgt 30 cm und die Länge 17,5 cm. Das Isolationsniveau der freien Kette stellt sich dabei wie folgt:

Anzahl Elemente	18	25
Überschlag bei 60 Hz, trocken	965 kV	1270 kV
Überschlag bei 60 Hz, nass	705 kV	950 kV
Kritische Stoßspannung	≈ 1600 kV	≈ 2200 kV
Baulänge der Kette	264 cm	365 cm

Die Armaturen konnten so ausgebildet werden, dass sie genügend koronafrei sind und in den Hängeketten keine Schutzringe mehr erforderlich sind.

Aufhängung: Die Kosten und Möglichkeiten der Durchleitung scheinen nun auch in den USA ein Problem zu werden. Daher erfreut sich die V-Aufhängung, welche das seitliche Ausschwingen bei Wind verhindert, zunehmender Bedeutung Es wird auch die 735-kV-Leitung damit ausgerüstet.

Amerikanische Berechnungen haben ergeben, dass am Mastgewicht bis 900 kg eingespart werden können, während die Schmälerung des Wegrechtes 12...15 m betragen kann. Der Mehraufwand für die zweite Isolatorenkette dürfte dabei bereits bei einem Bodenpreis von Fr. 2.50/m² ausgeglichen sein.

Versuche: Der Schritt von 220 auf 345 kV konnte seinerzeit durch Extrapolation bekannter Verhältnisse gewagt werden, der Übergang auf 500 oder gar 750 kV zeigt nun aber andere Erscheinungen, deren Einfluss vorerst nur durch Versuche an Prototypen und im Freiluftlaboratorium abgeklärt werden kann.

Besonders die Isolatorenketten im Mastfenster der mittleren Phasen verhalten sich anders, als wenn sie freihängend geprüft werden. Dabei scheinen die atmosphärischen Überspannungen weniger bedeutsam zu sein, als die durch Schaltungen entstehenden Wellen. Ferner weisen die Ketten bei negativen Überspannungen geringere Festigkeit auf, als bei positiven Wellen. In trockenem Zustand scheint der Überschlag eher den direkten Weg nach dem Mast einzuschlagen, während er bei Beregnung der nassen Kette folgt.

[2]) Siehe S. 529...532 dieses Heftes.

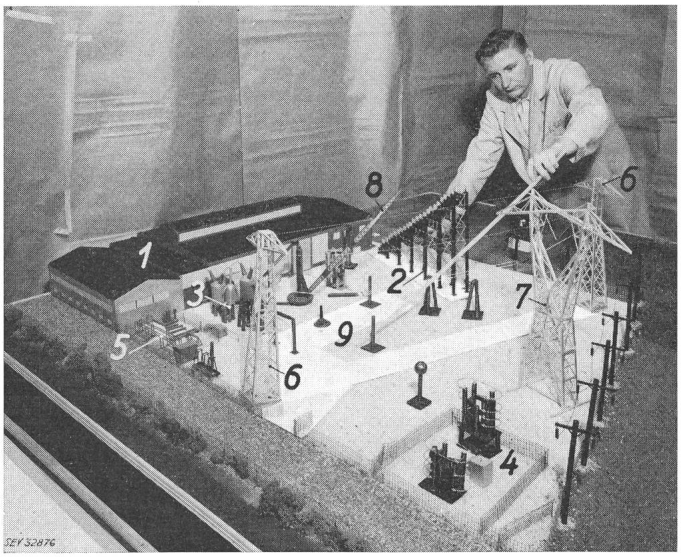

Fig. 1

Modell des EHV-Laboratoriums der Ohio-Brass Co.

1 Innenraum-Versuchslokal; *2* neuer Stossgenerator, 4000 kV; *3* Prüfkaskade, 1500 kV; *4* kleinere Stossgeneratoren bis 2500 kV; *5* Hochspannungs-Gleichrichter für Vorbelastung, 500 kV; *6* Masten für Prüfungen an Leiterseilen; *7* Versuchsmast für Konstruktionsprüfungen; *8* Drehkran für Bedienung des Versuchsplatzes; *9* Spannungsteiler und Stützer

Fig. 1 zeigt das Modell der in Fertigstellung begriffenen Erweiterung des bekannten Freiluftlaboratoriums der Ohio-Brass Co. in Barberton. Es wird eine Fläche von ca. 60 × 80 m beansprucht und neben den üblichen Prüfkaskaden bis 1500 kV eine grosse Stossanlage erhalten, welche keilförmig auf ca. 4 × 25 m Grundfläche bis über 16 m aufragt. Bei vorläufig 4 MV wird sie später auf 6 MV ausgebaut. Sie kann Stromstösse bis 300 kA abgeben.

H. R. Wüthrich, Sprecher & Schuh AG, Aarau: Der Vortrag über den Leistungsschalter enthielt als Beispiele für Schaltfälle u. a. den Abstandskurzschluss und den Kurzschluss hinter einem Transformator. Zum Vergleich wurden diese beiden Schaltfälle für eine bestimmte Station durchgerechnet, wobei für den Transformatorfall eine Variante gewählt wurde, die vom bereits behandelten etwas abweicht und neben einer relativ strengen Spannungsbeanspruchung auch eine hohe Kurzschlussleistung aufweist.

Den Betrachtungen ist folgende Netzkonfiguration zu Grunde gelegt:

Mehrere grosse Kraftwerkgruppen von total 10 000 MVA Nennleistung speisen über eine Vielzahl von Leitungen in eine Transformatorstation ein. Unterspannungsseitig ist Sammelschienenlängstrennung vorgesehen, um dort die Kurzschlussleistung im Rahmen zu halten. Nach der Auftransformierung auf 750 kV erfolgt der Energietransport auf je 2 Leitungen über eine Distanz von 600 km nach zwei Verbrauchszentren. In diesen Endstationen betrage die vom restlichen Netz her anstehende Kurzschlussleistung je 20 GVA. Für die Oberspannungssammelschiene ergibt die Berechnung eine Kurzschlussleistung von 35 GVA.

In Fig. 1 ist der betrachtete Schaltfall dargestellt. In einem 750-kV-Leitungsabgang wird ein Kurzschluss angenommen, der nur über die Transformatoren gespiesen wird und vom Schalter *S* unterbrochen werden soll. Die anderen Leitungen sind ausgeschaltet. Bei diesem Schaltfall weist die wiederkehrende Spannung normalerweise zwei Eigenfrequenzen auf, nämlich einen höherfrequenten Anteil herrührend vom Transformator und einen Anteil niedriger Frequenz, verursacht durch das speisende Netz. Zur Beurteilung des Schaltfalles sind 3 Grössen von Interesse, nämlich:

32'898-899

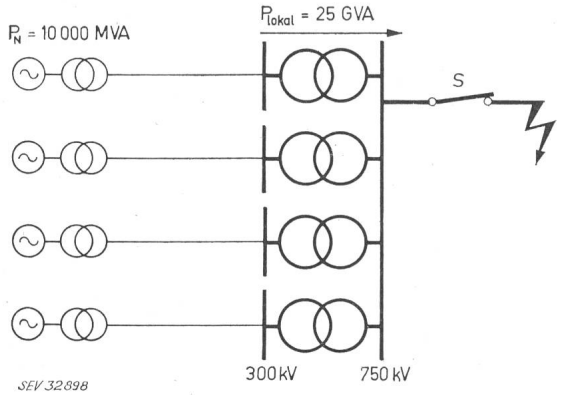

Fig. 1
Transformatorstation einer 750-kV-Übertragung
Kurzschluss hinter Transformatoren

T_{lokal}/P_{total} = 71,5 %; A_{HF}/A_{total} = 25 %; f_{Trafo} = 8 kHz

P_{lokal} Lokal aufgebrachte, über Transformatoren zufliessende Kurzschlussleistung
P_{total} Totale Kurzschlussleistung an der 750-kV-Sammelschiene
A_{HF} Anteil der Amplitude der wiederkehrenden 50-Hz-Spannung, der mit der Eigenfrequenz des Transformators schwingt
A_{total} Amplitude der wiederkehrenden 50-Hz-Spannung
f_{Trafo} Eigenfrequenz des Transformators
S Schalter

1. Der Anteil der über die Transformatoren zufliessenden lokal aufgebrachten Kurzschlussleistung an der totalen Kurzschlussleistung der Sammelschiene.
2. Der Anteil der Amplitude der wiederkehrenden 50-Hz-Spannung, der mit der Eigenfrequenz des Transformators schwingt.
3. Die Grösse der Eigenfrequenz des Transformators und der Amplitudenfaktor der Transformatorschwingung.

Die lokal aufgebrachte Kurzschlussleistung beträgt 25 GVA, oder 71,5 % der Gesamtkurzschlussleistung. Der Anteil der 50-Hz-Amplitude, der mit Eigenfrequenz des Transformators schwingt, wurde zu 25 % berechnet. Da die Berechnung der Eigenfrequenz sehr unsicher ist, wurden in jüngster Zeit umfangreiche Messungen durchgeführt. Dabei wiesen grosse Transformatoren Werte bis 13 kHz auf. Für den vorliegenden Fall wurde unter Berücksichtigung der Sammelschienen- und allfälliger Wandlerkapazitäten ein Wert von 8 kHz angenommen, was keinesfalls zu viel ist. Bei den Frequenzmessungen ergab sich ferner, dass die Amplitudenfaktoren der Schwingung des Transformators zwischen 1,8 und 1,9 liegen.

Mit diesen Werten und unter Annahme einer durch das speisende Netz bedingten Frequenz von 800 Hz und eines totalen Amplitudenfaktors von $k = 1{,}2$ lässt sich das Oszillogramm der wiederkehrenden Spannung der erstlöschenden Phase aufzeichnen.

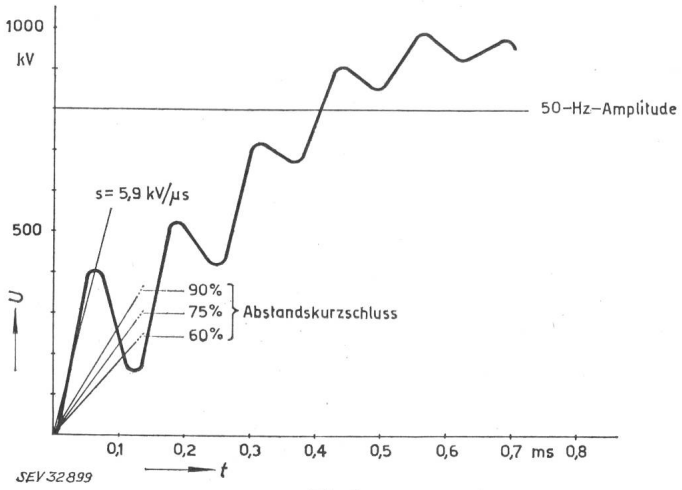

Fig. 2
Wiederkehrende Spannung U bei Kurzschluss hinter Transformatoren
t Zeit

In Fig. 2 ist der Verlauf ersichtlich. Die 1. Amplitude erreicht die halbe 50-Hz-Amplitude und die Steilheit des Spannungsanstieges beträgt 5,9 kV/µs. In der gleichen Figur ist der behandelte Schaltfall mit dem Abstandskurzschluss verglichen. Eingezeichnet sind Anfangssteilheiten bei Abstandskurzschlüssen in der gleichen Transformatorstation mit 90, 75 und 60 % der vollen Kurzschluss-Leistung. Man erkennt, dass im Falle des Abstandskurzschlusses der Verlauf der wiederkehrenden Spannung viel harmloser ist.

Der hier als Ergänzung zum Vortrag über Leistungsschalter behandelte Fall zeigt, dass bei Kurzschlüssen hinter Transformatoren doch wesentlich grössere Kurzschlussleistungen auftreten können, und dass gleichzeitig bei Berücksichtigung der relativ hohen aber realen Werte für die Eigenfrequenzen von Transformatoren eine harte Spannungsbeanspruchung zu erwarten ist. Beim dargestellten Schaltfall tritt eine Steilheit von beinahe 6 kV/µs auf beim Ausschalten von über 70 % der totalen Kurzschlussleistung. Damit wird gezeigt, dass die vom Transformatorfall her an das Ausschaltvermögen des Schalters gestellten Anforderungen wesentlich schwerer zu beherrschen sind, als der auf der Leitung sich abspielende Abstandskurzschluss.

L. R. Bergström, ASEA, Ludvika: Bei 735 kV ist, wie *E. Ruoss* [3]) dargestellt hat, der Abstandskurzschluss kein Problem. Die Ursache hiefür ist, dass die hohe Steilheit der wiederkehrenden Spannung, welche von der Leitung erzeugt wird, auf viele Schaltstellen in Serie verteilt wird. Die Anzahl der Schaltstellen wird jedoch nicht von der Forderung bestimmt, dass der Schalter die Abstandskurzschlüsse beherrschen muss, sondern von der Nennspannung und von den Isolationsforderungen bei offenem Pol und von der Möglichkeit eine Schaltstelle im Laboratorium mit voller Leistung zu prüfen.

32'875

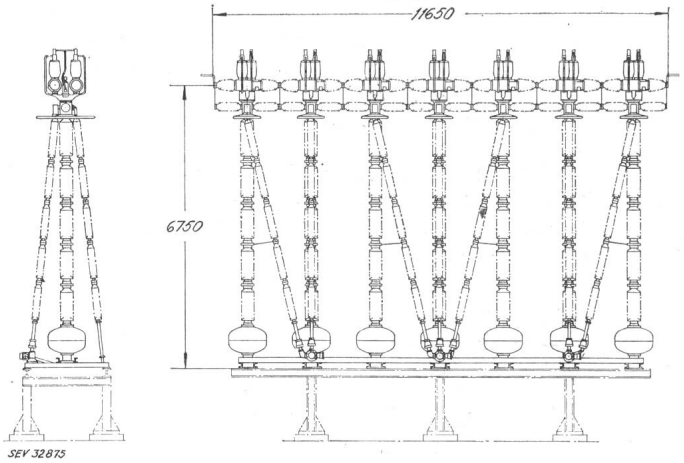

Fig. 1
Druckluftschalter HVH 735/2014

Der von ASEA in Schweden hergestellte Schalter (Fig. 1) hat einen Nennstrom von 2000 A und eine Schaltleistung von 35 MVA bei 735 kV. Die Isolation entspricht selbstverständlich den Forderungen, die früher genannt wurden, nämlich 2200 kV Stoßspannung und 850 kV, 60 Hz, unter Regen. Der Schalter hat vierzehn Schaltstellen in Serie, wobei jede einzelne Schaltstelle in einer ständig unter Überdruck stehenden Druckkammer untergebracht ist. Die Druckkammer enthält ausser den Hauptschaltstellen eine Widerstandsschaltstelle und dazugehörigen Widerstand. Zwei zusammengesetzte Schaltstellen bilden ein Doppelelement, welches oben auf dem hohlen Stützisolator befestigt ist. Jeder Stützisolator hat seinen eigenen Druckluftbehälter. Einer der Schrägstützer jedes Doppelelements ist hohl, und in diesem ist eine Zugstange für die Betätigung des Schalters untergebracht.

Die Doppelschaltelemente sind zum grössten Teil vom üblichen Typ und man kann sagen, dass dieser 735-kV-Schalter eine normale Weiterentwicklung des Druckluftschalters ist. Die Spannungssteuerung während des Ausschaltvorganges erfolgt durch Widerstände mit verhältnismässig niedriger Ohmzahl, und

[3]) Siehe Seite 532...538 dieses Heftes.

nach der Ausschaltung, wenn die Kontakte im Schalter unter Druckluft offen stehen, mittels Kondensatoren.

Ein kompletter Pol mit vierzehn Schaltstellen ist unter Ausführung und bald fertig. Dieser soll dann geprüft werden, um die Resultate der umfassenden Vorprüfungen an den einzelnen Komponenten des Schalters zu bestätigen.

H. Stephanides, Sprecher & Schuh AG, Aarau: Überspannungsableiter haben in Höchstspannungsnetzen eine doppelte Funktion. Sie schützen die Anlagen gegen atmosphärische Überspannungen und gegen Schaltüberspannungen. Diese Aufgabe wird nur dann richtig erfüllt, wenn die Restspannung bestimmte vorgegebene Werte nicht überschreitet. Welche Anforderungen dabei an die Ableiter gestellt werden, soll anhand der Daten des kanadischen 735-kV-Projektes diskutiert werden.

Die Transformatoren sind für Stoßspannungen von 2050 kV, die übrigen Geräte für solche von 2200 kV isoliert. Damit die Blitzüberspannungen in den Anlagen unter diesen Werten bleiben, wird vom Lieferanten der Ableiter verlangt, dass deren Restspannung bei Strömen von 10 kA kleiner als 1600 kV bleibt. Dies wird als notwendig betrachtet, da die steilen Wellenfronten der Blitzüberspannungen in den Leitungen zu beträchtlichen Spannungsabfällen führen. Leitungen und Geräte sind ausserdem für Schaltüberspannungen von 1350 kV Scheitelwert isoliert. Solche haben so flache Wellenfronten, dass die Spannungsabfälle innerhalb einer Anlage vernachlässigbar bleiben. Zum ausreichenden Schutz der Anlage muss daher die Restspannung der Ableiter bei den maximalen Ableiterströmen von 1...2 kA kleiner als 1350 kV bleiben.

Hat ein Ableiter solche Überspannungen zur Erde abgeführt, so muss er auch noch bei der höchsten Phasenspannung sicher löschen. Für diese wurde ein Scheitelwert von 900 kV festgelegt. Auch nach Lastabwurf unter den ungünstigsten Bedingungen darf nach Abklingen der transienten Vorgänge keine höhere Spannung auftreten.

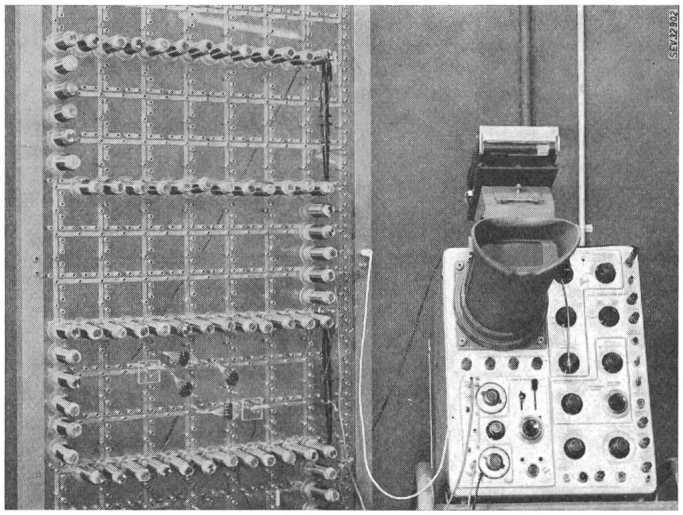

Fig. 1
Netzmodell zur Untersuchung von Einschaltvorgängen

Wie Dr. *G. Jancke* [4]) bereits im Einführungsvortrag erwähnt hat, führen in Höchstspannungsnetzen unter den transienten Vorgängen die Einschaltüberspannungen zu den schärfsten Isolationsbeanspruchungen. Ableiter, die diese Einschaltüberspannungen begrenzen, werden mit lang andauernden Stromstössen belastet. In der Anlage wird bei solchen Einschaltvorgängen eine beträchtliche Energiemenge gespeichert, die zum Teil vom Ableiter aufgenommen werden muss. Führt dies zu unzulässig grossen örtlichen Erwärmungen, so kann das Löschvermögen beeinträchtigt werden und der Ableiter wird in der Folge überlastet.

Gefährlich ist auch die grosse Häufigkeit solcher Überspannungen, mit denen im Prinzip bei jedem Schaltvorgang gerechnet werden muss. Alterungseinflüsse, die bei den selten auftretenden Blitzüberspannungen bedeutungslos waren, können hier mit der Zeit die Schutzwirkung beeinträchtigen.

Besonders ungünstig sind rasch aufeinanderfolgende Einschaltungen, wie sie sich beispielsweise bei der Wiederholung einer erfolglosen Wiedereinschaltung ergeben können. Kritische Beanspruchungen bleiben dabei nicht auf schwach gespeiste Leitungen beschränkt. Dies zeigen Messungen mit dem analogen Netzmodell Fig. 1, in dem die Leitungen durch Π-Glieder und die Transformatoren durch Induktivitäten nachgebildet sind. Entsprechend den europäischen Verhältnissen sind die Messungen bei einer Frequenz von 50 Hz durchgeführt, während die Spannungsniveaus dem kanadischen Projekt entsprechen. Die durchgeführten Messungen beziehen sich auf das Einschalten

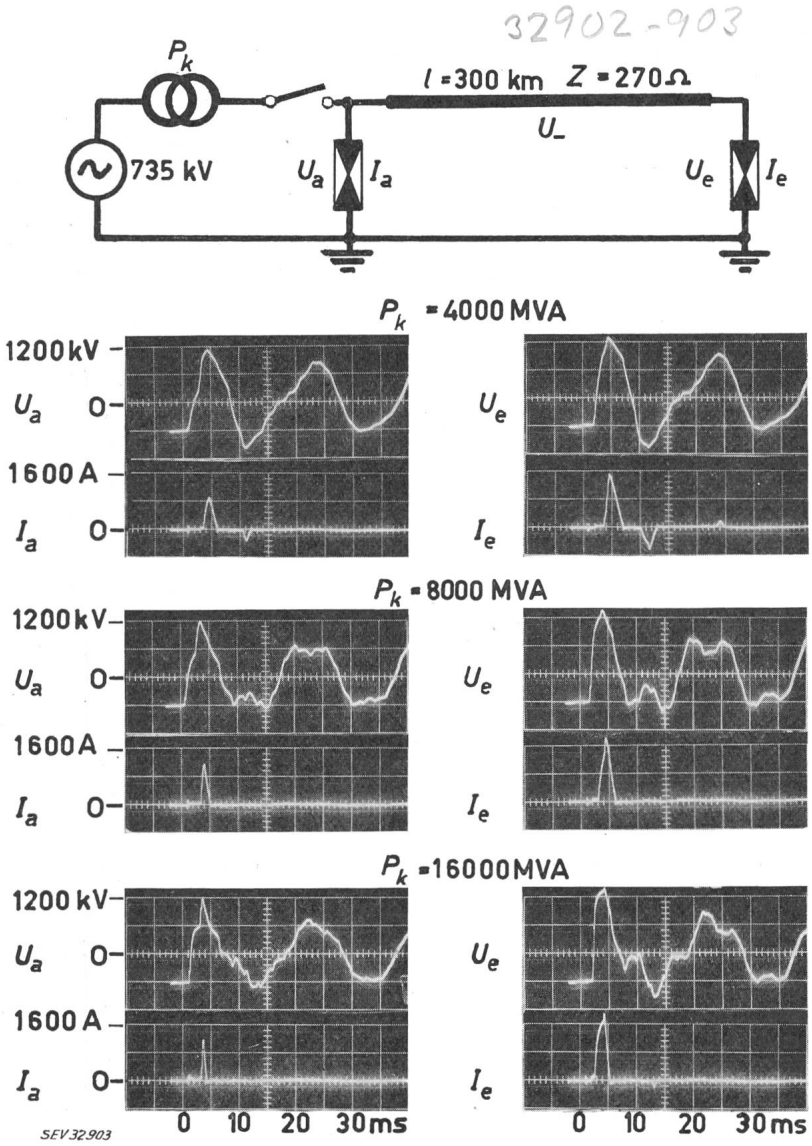

Fig. 2
Spannungen und Ströme an den Ableitern beim Einschalten einer geladenen Leitung

l Leitungslänge; P_k Kurzschlussleistung der Speisung; U_- Spannung vor dem Einschalten infolge von Restladungen; U_a Spannung am Leitungseingang; U_e Spannung am Leitungsende; I_a Ableiterstrom am Leitungseingang; I_e Ableiterstrom am Leitungsende

[4]) Siehe Bull. SEV 55(1964)9, S. 420...424.

32'901

einer unbelasteten und entladenen Leitung von 300 km Länge in der Phase 30° vor dem Scheitelwert der Wechselspannung. Ableiter mit niedriger Ansprechspannung sind auf beiden Seiten dieser Leitung eingebaut. Im ungedämpften Zustand besteht in solchen Systemen im allgemeinen die Tendenz zur Spannungserhöhung bei schwächer werdender Speisung. In einzelnen Teilbereichen zeigt sich dagegen speziell bei kürzeren Leitungen ein entgegengesetztes Verhalten.

Bei schwacher Speisung wird die Überspannung bereits durch einen Ableiterstrom von 700 A auf 1100 kV gesenkt. Der Ableiter spricht dabei ähnlich wie im Beispiel von Dr. *M. Christoffel* [5]) mehrmals an. Bei stärkerer Speisung werden die Überspannungen durch stärkere Ströme von über 800 A auf 1130 kV gesenkt. Ein einmaliges Ansprechen der Ableiter genügt hier bereits zur Senkung der Überspannungen. Die Dauer der Stromstösse im Ableiter beträgt dabei 2...3 ms. Für Langwellenstösse von 1000 A und 2 ms dimensionierte Ableiter werden hier nicht überlastet. Die angenommene Ableitercharakteristik genügt mit reichlicher Sicherheit zum Schutz der Anlage.

Ist dagegen die Leitung vor dem Einschalten mit einer Gleichspannung $U-$ von zur Wechselspannung entgegengesetzter Polarität geladen, so verschärfen sich diese Bedingungen. Fig. 2 zeigt die zugehörigen Oszillogramme. Im Prinzip zeigen sich in diesen wieder die gleichen Gesetzmässigkeiten wie bei ungeladener Leitung. Ableiter und Anlage werden hier jedoch wesentlich schärfer beansprucht. In der Anlage erreicht die Spannung den maximal zulässigen Wert von 1350 kV, während die Stromimpulse bei etwas längerer Dauer Scheitelwerte von 1800 A erreichen.

Gemäss den Normen für 1000 A und 2 ms dimensionierte Ableiter werden hier stark überlastet. Unter den gegebenen Bedingungen ist es daher unumgänglich notwendig, die Leitung nach einer Kurzschlussfortschaltung vor dem Wiedereinschalten durch zusätzliche Einrichtungen zu entladen.

Dieser Ausschnitt aus den durchgeführten Studien zeigt, dass auch die heutigen Ableiter neuester Konstruktion in 750-kV-Netzen nur bedingt zur Neutralisation der Einschaltüberspannungen verwendet werden können. Wie auch aus den Ausführungen von Dr. *M. Christoffel* hervorgeht, ergeben sich im Ableiter häufig Stoßströme, die den Ableiter schärfer als ein Langwellenstoss von 1000 A und 2 ms belasten. Verschärft wird dies noch durch die Häufigkeit der Schaltvorgänge. Eine Prüfung mit 20 Stössen genügt keineswegs zum Nachweis einer ausreichenden Alterungsfestigkeit, da ein häufigeres Ansprechen zu erwarten ist.

Es erscheint daher nicht immer ratsam, zur Senkung der Einschaltüberspannungen Ableiter zu verwenden. Andere Massnahmen führen oft zu besseren Ergebnissen. Bei niedrigeren Spannungen bis und mit 420 kV sind dagegen diese Fragen bei den heutigen Isolationsniveaus nicht aktuell. Normal dimensionierte Ableiter werden bei solchen Spannungen meist gar nicht ansprechen. Die Betriebsergebnisse bestätigen, dass keine Gefährdung solcher Anlagen befürchtet werden muss.

Dr. **H. Kläy,** Vizedirektor, Porzellanfabrik Langenthal AG: In Schaltern oder Trennern kann nach dem Referat von *L. Cahill* [6]) mit einer Stützerhöhe von 455 cm das in 765-kV-Anlagen verlangte Stossniveau von 2200 kV gehalten werden. Der ungeschützte Stützisolator dagegen hat die in Fig. 1 angegebenen Überschlagswerte. Die positive Kennlinie verläuft bis 2000 kV und wahrscheinlich auch darüber linear mit der Schlagweite, wogegen die *negative Kennlinie* die positive bei 1600 kV kreuzt.

Bis und mit 420 kV war es also richtig, die Koordination des Materials mit dem positiven Stoss zu kontrollieren, darüber bestimmt aber der negative Wert die Isolierdistanzen. Es ist auffällig, wie sich die negative Kennlinie verflacht und einem Maximalwert zuzustreben scheint.

Bei einer Stützerhöhe von 455 cm entsprechend einer Schlagweite von ca. 360 cm wäre für den Stützisolator allein eine negative 1-%-Überschlagspannung von nur 1700 kV zu erwarten. Wenn, wie aus den Berichten hervorgeht, für Apparate mit dieser

[5]) Siehe S. 541...544 dieses Heftes.
[6]) Siehe S. 519...528 dieses Heftes.

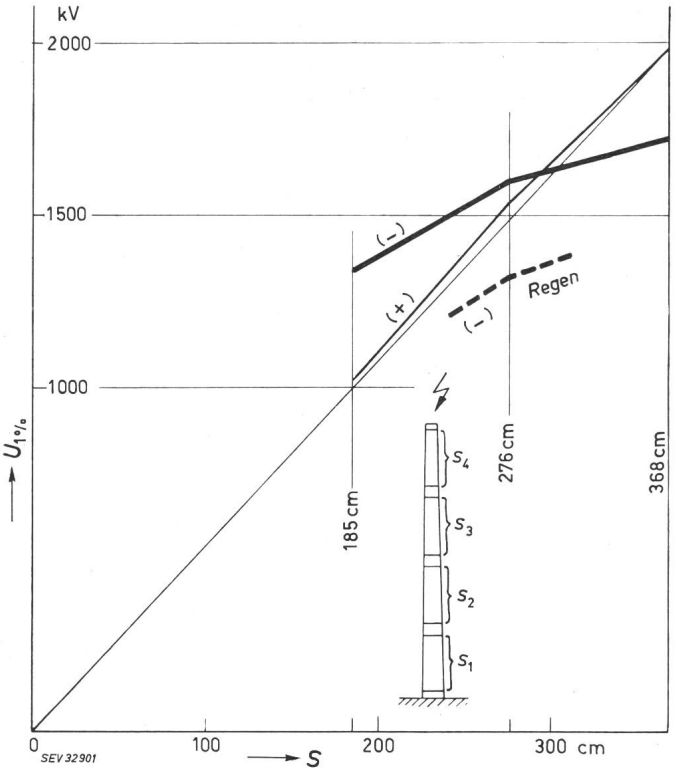

Fig. 1
1-%-Stossüberschlagspannung $U_{1\%}$ in Funktion der Schlagweite S von Stützisolatoren
gestrichelt die negative Stossüberschlagspannung unter Regen

Isolation der Wert 2200 kV gehalten werden konnte, so ist dies der Abschirmung durch die aufgebauten Apparateteile zuzuschreiben. Mit einem grossen Steuerring kann diese Erhöhung der negativen Überschlagspannung auf die gewünschten Werte erreicht werden. Das bedeutet, dass einzelne Stützisolatoren oder die Stützisolatoren von einfachen Trennern mit genügend grossen Steuerringen ausgerüstet werden müssen. Mit diesen Steuerarmaturen wird zudem die Absenkung der negativen Stossüberschlagspannung des beregneten Isolators verhindert. Es wäre jedoch wünschenswert, vermehrt Messungen der Stossüberschlagspannung von Stützisolatoren im Bereich über 2000 kV durchzuführen und insbesondere den asymptotischen Wert der negativen Spannung zu bestimmen. Es ist möglich, dass dieser Grenzwert auch der Grund der von andern Autoren genannten Grenzspannung bei Wechselstromversuchen ist.

H. Wüger, Ingenieur, Direktor des Elektrizitätswerkes des Kantons Zürich, Zürich: Aus den verschiedenen sehr interessanten Vorträgen konnte man mit grosser Befriedigung ersehen, dass auch bei den bedeutend höheren Spannungen eigentlich keine prinzipiellen Schwierigkeiten entstehen. Unter anderem zeigten die von *L. Cahill* [6]) und *W. Herzog* [7]) vorgeführten Mastbilder die gewohnte Mastform, die lediglich entsprechend den Spannungen vergrössert sind. Insbesondere weisen sie auch die üblichen Erdseile auf.

H. Glavitsch [8]) und Dr. *M. Christoffel* [9]) berichteten hinsichtlich des Überspannungsschutzes, dass Ableiter mit 15 oder 20 kA Ableitvermögen vorgesehen seien. Man hat auch gesehen, dass die Anlagen mit verschiedenen Ableitersätzen ausgerüstet werden müssen (bei den Transformatoren und an den abgehenden Leitungen ausserhalb der Schalter).

Soviel ich mich erinnere, sind Blitzströme von 20 kA nicht sehr häufig. Man kann sich daher fragen, ob es nicht viel billiger wäre, in den Stationen wirklich leistungsfähige Ableiter einzu-

[7]) Siehe S. 529...532 dieses Heftes.
[8]) Siehe Bull. SEV 55(1964)9, S. 424...429.
[9]) Siehe S. 541...544 dieses Heftes.

bauen und dann aber auf den Leitungen auf die Erdseile zu verzichten. Dadurch würden die an und für sich schon hohen Masten etwas niedriger, und die Einsparungen bei den Leitungen dürften die Mehrkosten für die Ableiter mehr als aufwiegen.

Dann würde mich noch eine andere Frage interessieren. Die mit der Höhe der Spannung rasch zunehmenden Koronaverluste bewirken sehr wahrscheinlich starke Störungen für Radio und Fernsehen, möglicherweise sogar für das Telephon und für Übermittlungseinrichtungen der Werke (Netzkommando, Fernsteuerungen usw.). Wie breit ist wohl die Zone links und rechts einer 750-kV-Leitung, in der Radio und Fernsehen gestört werden und wie breiten sich Störungen aus über Leitungen, die 750-kV-Leitungen unterkreuzen? Diese Fragen spielen in Zentraleuropa, das wesentlich dichter bevölkert und besiedelt ist, eine viel grössere Rolle als zum Beispiel in Kanada und Sibirien. Es schadet sicher nichts, wenn wir uns, im Hinblick auf allfällige Transitleitungen, auch in der Schweiz mit diesem Problem rechtzeitig beschäftigen.

Dr. **W. Wanger,** Vorsitzender: *E. Schönholzer,* beratender Ingenieur, Zürich, hat nach seinen Angaben bereits im Jahre 1930 in der «Schweizerischen Technischen Zeitschrift (STZ)» einen Vorschlag für ein europäisches Verbundnetz $380 \cdot \sqrt{3} = 660$ kV gemacht. *E. Schönholzer* verzichtet wegen stimmlicher Behinderung auf ein Diskussionsvotum, hat seinen Vorschlag indessen auf der Wandtafel im Vortragssaal aufgezeichnet. Er spricht für sich selbst.

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Schaltungen für Hochfrequenzgeneratoren zur induktiven Erwärmung

621.365.51.029.53

[Nach *K. Kegel:* Die Auswahl der Schaltung für Hochfrequenzgeneratoren zur induktiven Erwärmung. Elektrowärme 22(1964)1, S. 15...19]

Bei der induktiven Erwärmung von Körpern benützt man die Erscheinung, dass in einem Metallteil der induktiv übertragene Strom sich nicht gleichmässig über den ganzen Querschnitt verteilt, sondern in einer ziemlich begrenzten Schicht an der Oberfläche verläuft. Als Mass für die Dicke der Schicht wurde die sog. Eindringtiefe gewählt, welche angibt, in welcher Tiefe die Stromdichte auf 37 % des Höchstwertes gefallen ist. Da die Eindringtiefe umgekehrt proportional mit der Frequenz abnimmt, ist es beispielsweise für die Oberflächenhärtung vorteilhaft, hiefür Hochfrequenzgeneratoren zu verwenden, welche bei Frequenzen von 0,1...5 MHz arbeiten. Der HF-Röhrengenerator soll eine einfache Schaltung besitzen, einem rauhen Betrieb ohne Wartung standhalten und bei niedrigem Anschaffungspreis einen möglichst hohen Wirkungsgrad aufweisen.

32973-975

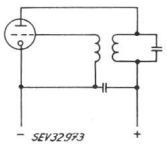

Fig. 1
Meissnersche Rückkopplungsschaltung

Die einfachsten Grundschaltungen von HF-Generatoren lassen sich immer auf folgende Varianten zurückführen (Fig. 1, 2, 3):

1. Meissnersche Rückkopplungsschaltung;
2. Induktive Dreipunktschaltung;
3. Kapazitive Dreipunktschaltung.

Die erste Schaltung hat eine transformatorische Rückführung, die beiden anderen eine solche mit induktiver bzw. kapazitiver Spannungsteilung. Untersucht man die Bedingungen zur optimalen Übertragung der erzeugten HF-Energie in das Werkstück, so sieht man rasch, dass der Arbeitswiderstand möglichst konstant sein soll. Dies ist aber nur zu erreichen, wenn die Induktivität und die Kapazität des Schwingkreises veränderlich sind. Bei Kapazitäten lässt sich dies noch leicht durchführen, bei

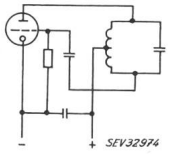

Fig. 2
Induktive Dreipunktschaltung

Induktivitäten aber nicht ohne grösseren Aufwand. Praktisch arbeitet man am besten, wenn ein fester Übertrager verwendet wird, dessen Primärspule die Schwingkreisspule des HF-Generators ist und dessen Sekundärspule die Leistung transformatorisch auf das Werkstück überträgt. Damit ergibt sich bereits, dass die induktive Spannungsteilerschaltung hiefür aus technischen Gründen kaum in Frage kommt, weil die Primärseite des Übertragers eine Anzapfung bekommen müsste.

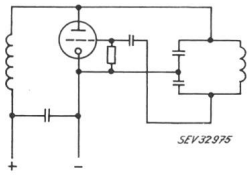

Fig. 3
Kapazitive Dreipunktschaltung

Anders verhält es sich mit der kapazitiven Spannungsteilerschaltung. Sie wird bei Generatoren kleiner Leistung bis 10 kW und 600 kHz gerne verwendet, arbeitet gut und ist im Aufbau billig. Die transformatorische Rückkopplungsschaltung hat gegenüber der Spannungsteilerschaltung den grossen Vorteil, dass der Anodenkreis vom Gitterkreis galvanisch getrennt ist, so dass man in der Energieversorgung der Röhre freier ist. Auch bei Generatoren für grosse Leistungen bis etwa 100 kW liegt der Wirkungsgrad nur bei 66...72 %, weshalb für die Abführung der Verlustwärme der Röhre und des Leistungsübertragers Gebläse- oder Wasserkühlung notwendig ist. *A. Baumgartner*

Neue Laser-Entwicklungen

621.375.029.6 : 535.2

In der letzten Zeit wurden zwei interessante Laser-Entwicklungen bekannt, durch die eine Vereinfachung und eine Leistungssteigerung erwartet wird.

Im Massachusetts Institute of Technology wurden Halbleiter-Dioden als Pumpe eines Kristall-Lasers benutzt. Von diesen Dioden (Gallium-Arsen, Indium-Arsen und andere) sendet jede bei einer anderen Frequenz Licht aus, das zum Anregen eines bestimmten Laser-Kristalles besonders geeignet ist. Für die Versuche wurde ein 4 cm langer Kalzium-Fluorid-Stab benutzt, der mit 3-wertigen Uran-Ionen gedopt war. Parallel zu diesem Stab waren 5 Gallium-Arsen-Dioden angebracht, die etwa 4,5 W abgaben. Die anregende Strahlung der Dioden lag bei 8400 Å, während der Laser-Kristall bei 21 630 Å strahlte. Die Versuche wurden bei der Temperatur des flüssigen Helium durchgeführt. Von dieser Entwicklung erwartet man drei Vorteile: Durch die angepasste Pumpstrahlung erwartet man eine höhere Pumpleistung, die bei dem augenblicklichen System bei etwa 40 % liegt. Weiterhin lässt sich dadurch die Wärmeentwicklung stark reduzieren. Schliesslich kann durch den niedrigeren Wärmefaktor die Wiederholungsrate der Impulse erhöht werden.

Eine andere Entwicklung befasst sich mit chemisch gepumpten Lasern, wodurch ein höheres Energie/Gewicht-Verhältnis als bei den bisherigen Lasern erreichbar ist. Chemisch angeregte Laser benötigen kein Netzteil, keine Kondensator-Batterie und keine Impuls-Schaltungsanordnung. Es gibt nun zwei grundle-