Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 9

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: 09.07.2025

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

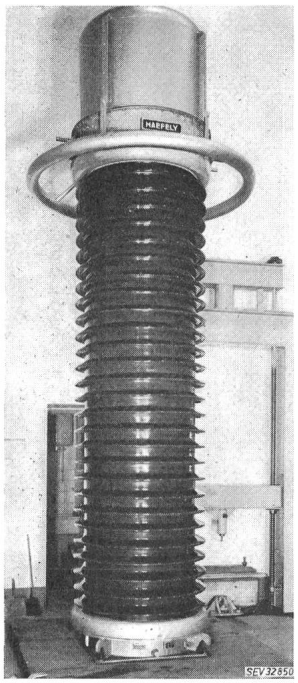


Fig. 5
Induktiver Spannungswandler
(Haefely)
Nennspannung 550 kV, 60 Hz; Messleistung 400 VA, Kl. 0,3 ASA oder 300 VA, Kl. 0,2; 1-min-Prüfspannung 750 kV; Stosshaltespannung 1,5|40—1675 kV; Stosshaltespannung abgeschnitten 1930 kV

Aus Fig. 4 ersieht man einen induktiven Spannungswandler für 750 kV Nennspannung mit einer Messleistung von 500 VA, Kl. 0,5. Er ist als 4-stufige Kaskade ausgeführt und für eine 1-Minuten-Prüfspannung von 1150 kV, eine Stosshaltespannung 1|50 von ± 2650 kV und eine Stosshaltespannung abgeschnitten von ± 3050 kV ausgelegt. Jedes Element dieser Kaskade ist ein selbständiger, in sich abgeschlossener Stabkernwandler mit Spulenwicklung. Die Hochspannungswicklungen aller Stufen sind in Serie geschaltet. Dank einer geeigneten Dimensionierung der Kapazitäten zwischen den 4 Kaskaden Elementen und innerhalb jedes einzelnen davon, wird jede Stoßspannung linear über den ganzen Wandler verteilt.

Fig. 5 zeigt einen induktiven Spannungswandler für 550 kV mit einem einteiligen Porzellankörper. Sein innerer Aufbau entspricht ebenfalls einer 4-stufigen Kaskade, wobei 2 geschlossene Eisenkörper und Hochspannungsspulen mit Lagenwicklungen zur Verwendung gelangen. Seine 1-Minuten-Prüfspannung beträgt 750 kV, die Stosshaltespannung 1,5/40 — 1675 kV und die Stosshaltespannung abgeschnitten 1930 kV. Der Wandler gibt eine Messleistung von 400 VA, Kl. 0,3 ASA, oder 300 VA in Kl. 0,2 ab.

Wie bereits erwähnt sind der kapazitive und der induktive Spannungswandler einander in Bezug auf Betriebssicherheit ebenbürtig. Es stellt sich daher die Frage, wann die eine oder die andere Art dieser Wandler zur Verwendung gelangen soll. Die Antwort hierauf ist nicht leicht zu geben, da sie stark davon abhängt, welchen Messwandler-Eigenschaften der Gebraucher am meisten Bedeutung zumisst, oder ob vielleicht der Preis allein ausschlaggebend ist. In diesem Fall müsste die Wahl natürlich auf den billigeren kapazitiven Wandler fallen. Da aber in Höchstspannungsnetzen tatsächlich auch induktive Wandler eingesetzt werden, müssen sie wohl Fähigkeiten aufweisen, die vom kapazitiven Wandler nicht verlangt werden können, was wirklich auch der Fall ist.

Es ist bekannt, dass beim kapazitiven Wandler die Messgenauigkeit eine gewisse Anhängigkeit von der Frequenz, der Temperatur und je nach Konstruktion auch von der äusseren Verschmutzung aufweist. Aus diesen Gründen kann für solche Apparate ehrlicherweise keine grössere Messgenauigkeit als Kl. 0,5 garantiert werden.

Eine Ausnahme können die Kabelspannungswandler bilden, die aber hier nicht zur Diskussion stehen. Dem gegenüber erreichen die induktiven Wandler ohne weiteres eine Genauigkeit nach Klasse 0,2 für 300 VA Messleistung. Eine solch grosse Messgenauigkeit ist sicher überall dort am Platz, wo es sich um eine Verrechnungsmessung handelt. Wenn man bedenkt welche ungeheuren Energiemengen über diese Höchstspannungsleitungen transportiert werden und was für eine gewaltige Geldsumme z. B. nur 1 ‰ hievon bereits darstellt, ersieht man ohne weiteres, dass auch der teuerste induktive Wandler immer noch sehr billig und seine Anschaffung voll gerechtfertigt ist.

Wie viele Versuche und auch die Erfahrung gezeigt haben, sind die heutigen kapazitiven Wandler trotz der leichten Schwingungen ihrer Sekundärspannung bei primärem Kurzschluss, in der Lage, die normalen Netzschutzrelais zuverlässig zu speisen. Da die entsprechenden Bedingungen für den 1-Periodenschutz aber wesentlich schärfer sind, ist es notwendig, denselben bei der Berechnung der Apparate speziell Rücksicht zu tragen. Auch darf ein solcher Wandler nicht überlastet d. h. mit der sog. thermischen Grenzleistung betrieben werden, da dadurch sein Schwingungsverhalten verschlechtert wird. Einem kapazitiven Wandler der zur Speisung von 1-Periodenrelais vorgesehen ist, sollte überhaupt keine thermische Grenzleistung zugestanden werden.

Der induktive Wandler überträgt primäre Spannungsänderungen praktisch starr auf die Sekundärseite und weist nur eine ganz kurze und schwache Schwingung auf. Auch eine Überlastung ändert an diesem Verhalten praktisch nichts. Sind also wesentliche Messleistungen bei grösseren Genauigkeiten nötig und soll zudem ein 1-Periodendistanzschutz gespiesen werden, so ist auch da die Verwendung eines induktiven Spannungswandlers angezeigt. Gelegentlich sind induktive Wandler auch zur Ableitung von Restladungen auf Höchstspannungsleitungen erwünscht.

Es ist deshalb wahrscheinlich, dass in Höchstspannungsnetzen stets beide Wandlertypen anzutreffen sein werden, und dass jeder, an seiner Stelle, den von ihm verlangten Dienst einwandfrei erfüllen wird.

Adresse des Autors:
W. Ringger, Direktor der Emil Haefely & Cie. AG, Basel.

Diskussion

W. Lerch, Ingenieur der Sprecher & Schuh AG, Aarau: Wie bereits Dr. *G. Jancke* [1]) dargelegt hat, ergeben sich in Höchstspannungsnetzen die grössten Isolationsbeanspruchungen durch Schaltüberspannungen. Den extremen Fall stellen dabei die Vorgänge beim Einschalten auf die von einer kurz vorhergehenden Ausschaltung noch geladene Leitung dar.

Diese Vorgänge bildeten Gegenstand einer eingehenden Untersuchung auf unserem besonders für Überspannungs-Untersuchungen gebauten Analog-Netzmodell, woraus in Ergänzung des Vortrages von *H. Glavitsch* [2]) einige Beispiele aus dem Problemkreis der Kurzunterbrechung erwähnt seien.

Primär interessiert der Unterschied der maximal auftretenden Überspannungen beim Einschalten auf die geladene und auf

[1]) Siehe Seiten 420...424 dieses Heftes.

[2]) Siehe Seiten 424...429 dieses Heftes.

32'857-859

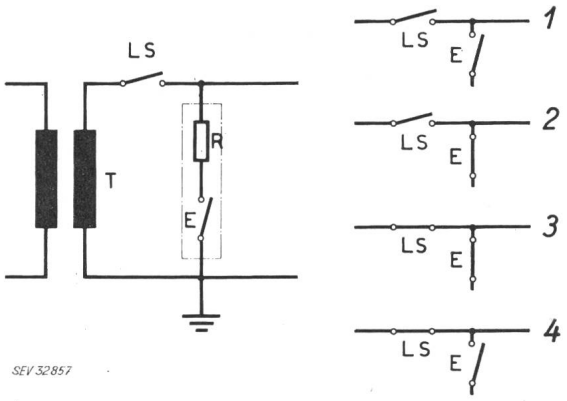
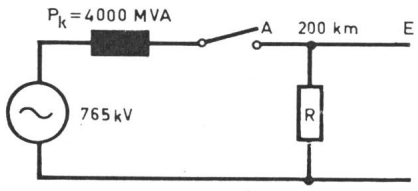


Fig. 1
Entladewiderstand
Prinzipschaltung

LS	Leistungsschalter	*T*	Transformator
R	Entladewiderstand	*E*	Serieunterbrechungsstelle
1	Ausschaltung *LS*	*2*	Leitungsentladung
3	Einschaltung *LS*	*4*	Ausschaltung Entladewiderstand

die ungeladene Leitung. Das Beispiel bezieht sich auf eine 765-kV-Stichleitung von 200 km Länge, die wir einmal bei schwacher Speisung, entsprechend einer Kurzschlussleistung von 4000 MVA und einmal bei stärkerer Speisung, entsprechend einer Kurzschlussleistung von 16 000 MVA betrachten.

Oszillogramme der entsprechenden Einschwingvorgänge zeigen beim Einschalten auf die ungeladene Leitung am Leitungsende bei schwacher Speisung Überspannungen von 1,74, bei



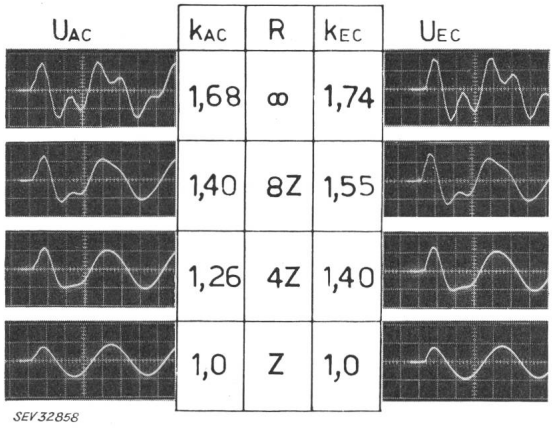


Fig. 2
Spannungsverläufe am Anfang und am Ende der 200-km-Leitung

P_k	Kurzschlussleistung
E	Leitungsende
U_{AC}	Zeitlicher Spannungsverlauf am Leitungsanfang beim Einschalten
U_{EC}	Zeitlicher Spannungsverlauf am Leitungsende beim Einschalten
A	Leitungsanfang
R	Entladewiderstand
k_{AC}	Maximaler Überspannungsfaktor am Leitungsanfang beim Einschalten
k_{EC}	Maximaler Überspannungsfaktor am Leitungsende beim Einschalten
Z	Wellenwiderstand der Leitung = 260 Ω

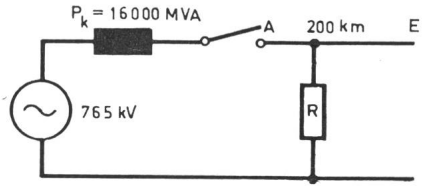
starker Speisung von 1,98. Erfolgt das Einschalten auf die geladene Leitung in dem Zeitpunkt, wo die Speisespannung den gegenpoligen Scheitelwert durchläuft, so erhöhen sich die Überspannungen auf 2,50 bei schwacher und auf 2,95 bei starker Speisung.

Die systematische Untersuchung hat im weitern gezeigt, dass der Einfluss der Leitungsladung wie folgt zum Ausdruck kommt:

a) Am Leitungsanfang werden die Überspannungen um ein additives Glied von 0,7mal die vorhandene Ladungsspannung erhöht.

b) Am Leitungsende beträgt die Erhöhung 1,0mal die vorhandene Ladungsspannung.

Diese Werte können für praktisch alle vorkommenden Fälle als Richtwerte genommen werden.



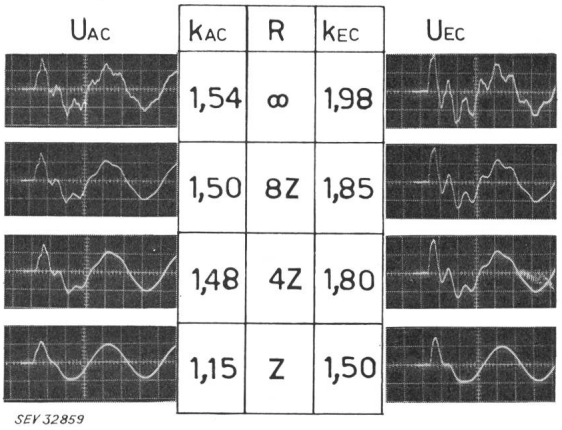


Fig. 3
Spannungsverläufe bei starker Speisung
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Aus diesen Ausführungen ergibt sich klar der Nutzen der Anwendung von Entlade-Elementen. Dr. *G. Jancke* hat die gebräuchlichen Mittel, wie induktive Spannungswandler, Drosselspulen etc. in seinem Vortrag erwähnt.

Im Laufe der Untersuchung solcher Mittel wurde auch eine Entladevorrichtung bestehend aus Entladewiderstand gegen Erde mit einer in Serie geschalteten Unterbrechungsstelle untersucht. Die prinzipielle Wirkungsweise dieser Vorrichtung ist in Fig. 1 gezeigt.

Unmittelbar nach Ausschaltung der Leitung wird bei beidseitig offenen Leistungsschaltern der Entladewiderstand eingeschaltet und nach dem Einschalten der Leistungsschalter wieder ausgeschaltet.

Zur Abklärung der Frage, inwieweit sich nebst der Leitungsentladung der verbleibende Schwingungsvorgang dämpfen lässt, wurden wiederum Modellversuche durchgeführt.

Fig. 2 zeigt die Spannungsverläufe am Anfang und am Ende der 200-km-Leitung bei schwacher Speisung in Funktion des speiseseitig eingeschalteten Erdungswiderstandes. Als Widerstandswerte wurden der 8-fache, 4-fache und einfache Wellenwiderstand der Leitung von 260 Ω angenommen. Der Dämpfungseinfluss ist bereits bei 8*Z* beachtlich. Bei *Z* verläuft der Einschaltvorgang am Leitungsanfang und Ende überspannungsfrei.

Fig. 3 zeigt die Spannungsverläufe bei starker Speisung. Die Dämpfungswirkung ist geringer, jedoch bereits bei 4*Z* sehr deutlich feststellbar.

Es ist klar, dass ein solches Entladegerät die eventuelle Verwendung von besonderen Einschaltwiderständen am Leistungs-

schalter erübrigt, was von grossem betrieblichen Interesse ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen:

Einschalten auf geladenen Leitungen erhöht die Überspannungen verglichen mit Einschalten auf ungeladene Leitungen um einen additiven Betrag von ca. 0,7 der Ladespannung am Leitungsanfang und 1,0 der Ladespannung am Leitungsende. Eine Entladung der Leitung vor dem Einschalten ist aus diesem Grunde wirtschaftlich. Sie wird sich im Spannungsbereich 700... 800 kV oft als notwendig erweisen, ist jedoch bis und mit 420 kV nicht erforderlich.

Als Entladungselement ist neben den bereits bekannten Anordnungen ein Entladewiderstand gegen Erde mit Serieschaltstrecke von Interesse. Dieses Gerät kann je nach Auslegung des Widerstandes neben der Entlade- und Dämpfungswirkung auch die einphasige Kurzunterbrechung ermöglichen.

J. Šacer, Ingenieur, Neuenhof: Das Thema der Grundprobleme der elektrischen Energieübertragung mit höchsten Spannungen kann natürlich im Rahmen eines Artikels oder Vortrages nicht erschöpft werden, was selbstverständlich auch für die diesbezügliche Diskussion gilt. Es scheint aber immerhin zweckdienlich zu sein, noch einiges hervorzuheben bzw. noch an einiges zu erinnern:

a) Kurz wiederholt ergibt sich folgender technischer Überblick: Grössere Übertragungsentfernung verlangt bei Wechselstromübertragung höhere Spannungen, vor allem mit Rücksicht auf die statische Stabilität und weniger aus wirtschaftlichen Gründen. Grössere Übertragungsleistungen verlangen hingegen sowohl bei Wechselstrom- wie auch bei Gleichstromübertragungen höhere Spannungen aus Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit. Falls erforderliche Hochspannungsapparate entwickelt werden, scheint sich einer Steigerung der Übertragungsspannung nichts in den Weg zu stellen bis zu einer Grenze, wo die Bewältigung der Koronaerscheinung mit den bekannten Mitteln versagt.

b) Eine einseitige Betrachtung nach a) könnte zum Schluss verleiten, dass mit der technischen Entwicklung und dem parallel gehenden, immer höheren Energiebedarf sich auch die Höchstspannungsnetze immer mehr ausdehnen dürften, mit der Tendenz zu immer höheren Spannungsreihen. In Wirklichkeit wäre eine solche Schlussfolgerung mit ihren kostspieligen Konsequenzen schon aus Gründen der folgenden Punkte c) und d) verfrüht.

c) Grössere Verbrauchsenergien ergeben nicht zwingend grössere Übertragungsleistungen pro Leitung, vielerorts sogar eine kleinere, da ein mitbestimmender Faktor hiefür die Gestaltung des Netzes ist.

d) Die Übertragungsspannungen streben sicherlich zu einer oberen Limite hinsichtlich ihrer Höhe zu, die nur in Ausnahmefällen überschritten wird. Für die Produzenten von entsprechenden elektrischen Apparaten ist ein vorheriges und rechtzeitiges Erkennen dieser Limite von grosser Wichtigkeit, ebenso für die Projektierung von elektrischen Netzen. Diese Limite scheint mit den heute vorhandenen höchsten Übertragungsspannungen schon erreicht worden zu sein. Ein symbolisches Anzeichen hiefür ist die Spaltung des Leiters in einen Bündelleiter zwecks Vermeidung der Korona. Bewusst wird in diesem Beitrag von den Ansichten anders denkender Autoren, welche Prognosen von Grenzspannungen um 1000 kV und noch darüber aufstellten, Abstand genommen, es sei denn zum ersten Mal und als Einzelgänger, falls es gleichgesinnte noch nicht geben sollte.

Ein Orakel, ähnlich jenem in Delphi im Altertum, könnte diesbezüglich heute wohl heissen: «Wenn Leitungen mit Spannungen über 500 kV gebaut werden, werden grosse Kapitalien verbraucht». Ein besonderer Grund für so ein Orakel würde in der Erwartung einer günstigen Entwicklung von Atomreaktoren stecken; sobald nämlich ein Atomreaktor mit besserer Ausnützung der potenziellen Energie der Zerfallsprodukte von Uran gefunden worden ist, werden schon relativ kleine Atomkraftwerke den herkömmlichen thermischen Kraftwerken hinsichtlich Wirtschaftlichkeit überlegen und werden in Schwerpunkte der Belastung gestellt, womit sich grosse Übertragungsleitungen erübrigen, dagegen aber Verteilungsnetze intensiver wachsen werden.

Leitungen mit Spannungen über 500 kV werden dann als Sonderfälle nur noch für die Übertragung billiger Energie (z. B. aus Erdgas, Wasserkraft) aus klimatisch ungünstigen Gebieten dienen. Solche Überlegungen sind schon lange weit weg von einer gedanklichen Spekulation.

e) Die aufgezeichneten Perspektiven verleihen den sich immer mehr ausdehnenden Verteilungsnetzen, deren Ausbau noch nirgends abgeschlossen ist und dem Zusammenspiel mit Oberspannungsleitungen, eine grössere Bedeutung. Es darf wohl an dieser Stelle daran erinnert werden, dass der Autor dem eigentlichen Problem der Gestaltung von elektrischen Netzen seit etwa 10 Jahren seine Aufmerksamkeit widmet, und auch ein exaktes Verfahren zur optimalen Ausgestaltung eines Netzes entwickelt hat, wobei er aber nicht den geringsten Ansatz einer solchen Lösung vorgefunden hat, abgesehen natürlich von der Theorie für Leitungen.

Das Echo auf seine Forschunsarbeiten seitens der Fachkreise war unterschiedlich: in jenem Staate z. B., wo er vorher war, konnte man bei der Vorlage seiner Forschungsarbeiten deren Brauchbarkeit nicht feststellen, nach einer gewissen Zeit aber so sehr, dass sie nicht nur zur Anwendung sondern sogar zum Handel mit Ausland gelangten, leider ohne den Autor davon in Kenntnis zu setzen. Wenngleich sie den Talar der Anständigkeit billig beibehalten konnten, haben sie darauf verzichtet. Es darf hier die Hoffung ausgedrückt und dafür appelliert werden, dass besonders von diesem Gremium hinsichtlich des erwähnten Planungsverfahrens eine andere Praxis empfohlen und unterstützt wird.

B. Grundmark, ASEA, Ludvika: Das Wort Höchstspannung erhielt vor etwa 10 Jahren eine neue Bedeutung bei der Einführung von 400 kV als Betriebsspannung. Heute ist man bereit, den Schritt bis auf 700 kV zu tun. Wir haben heute durch mehrere zusammenfassende Vorträge teils allgemeine Gesichtspunkte über diese neue Klasse von Übertragungen zu hören bekommen, und teils auch erfahren, welche Wege in der Schweiz eingeschlagen wurden, um die konstruktiven Aufgaben zu lösen. Es freut mich sehr, dass der Schweizerische Elektrotechnische Verein Gelegenheit geboten hat, auch etwas über die entsprechenden Entwicklungsarbeiten in Schweden zu berichten. Ich werde mich zunächst mit den Transformatoren und Messwandlern befassen.

Als man die erste 400-kV-Übertragung in den späten 40er Jahren auslegte, wurde für die Transformatoren eine Stossprüfspannung von nicht weniger als 1775 kV vorgeschrieben (später

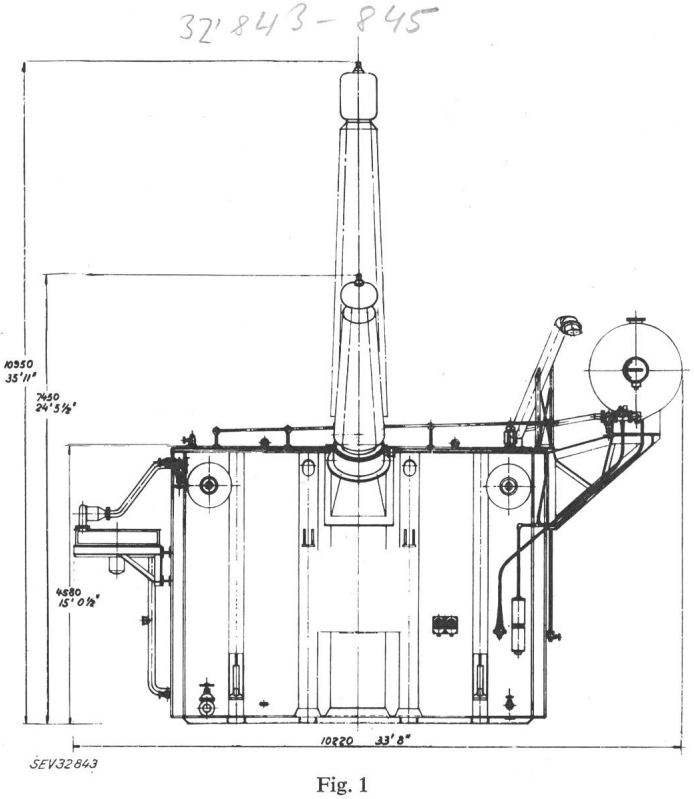


Fig. 1

200-MVA-Einphasentransformator 735/315 kV im Bau
(Hydro-Quebec)

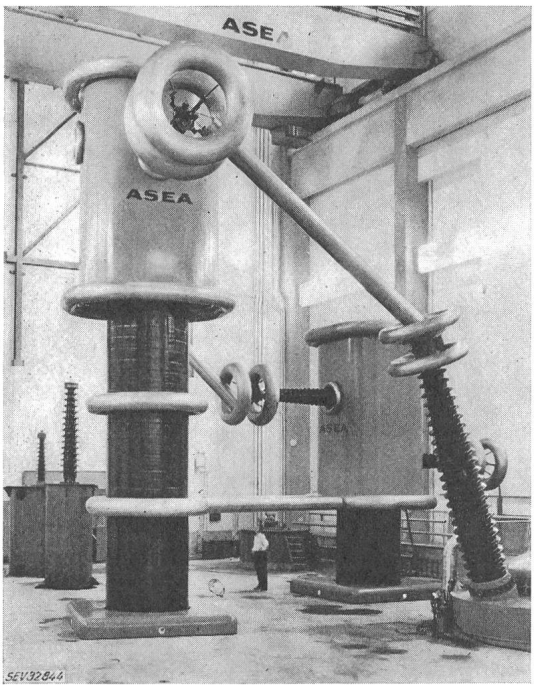


Fig. 2
Kondensatordurchführung mit ungeteiltem Öl-Papier-Körper, thermisch stabil bei 750 kV
Die Durchführung wurde bei Prüfung eines Spulenmodells einer Prüftransformatorkaskade verwendet

hat man diesen Wert reduzieren können). Dies hing mit mehreren Umständen zusammen, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Der entsprechende Isolationsaufbau wurde jedenfalls entwickelt, und seitdem sind ungefähr 80 Stück 400-kV-Transformatoren in Schweden mit einer Gesamtleistung von fast 15 000 MVA gebaut worden.

Für die 700-kV-Transformatoren und -Reaktoren, die zurzeit gebaut werden, gilt eine maximale Prüfspannung von 2300 kV. Der Schritt nach 10 Jahren beträgt somit nur ungefähr 30 % mehr. In der Zwischenzeit wurden aber die Forderungen bezüglich Abmessungen und Kosten, oder auch bezüglich Grenzleistungen sehr erheblich verschärft, so dass die Konstruktionsarbeit ausserordentlich delikat geworden ist.

Fig. 1 zeigt eine Maßskizze eines 220-MVA-Transformators, der für Kanada gebaut wird. Dies ist ein einphasiger Kerntransformator mit Hochspannungswicklung aus Scheibenspulen und Barrieren-Isolation. Die Durchführungen besitzen ungeteilte ölimprägnierte Papierkörper, und das Zentralrohr ist doppelwandig, damit die Stromwärme durch die direkte Ölkühlung abgeführt werden kann.

H. Lutz hat in seinem Vortrag [3]) einige sehr interessante Bemerkungen über die zu erwartenden Transformatorengrössen gemacht. Wir sind mit ihm fast vollständig einig. Die Wahl zwischen Einphasen- und Dreiphasen-Einheiten dürfte vielleicht hauptsächlich davon abhängen, ob die Wicklungen komplett im Werk hergestellt und imprägniert werden können, und danach während des Transportes und der Endmontage gut geschützt bleiben. Bei dreiphasiger Ausführung für 700 kV werden die Anbauten für die Durchführungen ziemlich kompliziert, und die genannte Forderung ist schwer zu erfüllen. Die für 700 kV natürlichen Gruppenleistungen werden schon bei Einphasentransformatoren zu Grenzleistungseinheiten führen.

Kann man ungeteilte Durchführungen (Fig. 2) herstellen, so liegt es nahe, auch die Stromwandlerisolation einstufig auszuführen. Bei dieser Bauart ist einfach eine grosse Anzahl von verschiedenen Kernen mit Sekundärwicklungen anzuordnen, wie es zuweilen in erstaunlichem Umfang gewünscht wird. Stosshaltespannungen von 2600 kV der inneren Isolation sind bereits gemessen worden.

Induktive Spannungswandler für mehr als 130 kV werden in Schweden überhaupt nicht gebaut und, soweit mir bekannt ist, wurden auch nur ein paar Stück für 200 kV importiert. Den von *W. Ringger* [4]) angedeuteten Schwierigkeiten mit der Transienten-Wiedergabe der kapazitiven Wandler wurde bei uns bisher keine grosse Bedeutung zugemessen, vielleicht weil die verwendeten Kapazitäten grösser gewählt worden sind als in anderen Ländern.

Zum Schluss ein paar Worte über die Prüfungen: *J. Froidevaux* [5]) hat die Anforderungen für ein Laboratorium geschätzt, das für die Prüfung von 700-kV-Ausrüstungen geeignet sei. Ich bin mit ihm im Grossen und Ganzen einig. Prüfungen mit Vollwelle und abgeschnittener Welle sowie Langwellenprüfungen unter Regen sind bereits an 700-kV-Prototypen ausgeführt worden. Diese Prüfung erfordert gewisse besondere Komponenten. Die Höhe der Prüfspannungen ruft jedoch an sich keine besondere messtechnischen Schwierigkeiten hervor. Für die Wechselspannungsprüfungen steht eine 1400-kV-Kaskade zur Verfügung. Fig. 3 zeigt einen mehr als 8 m langen Durchschlag zur Wand bei effektiv 1300 kV. Der Prüfling ist ein 700-kV-Schalterprototyp.

Bei der gleichzeitigen Abnahmeprüfung eines Belastungsreaktors und eines Transformators für 700 kV ist eine ungewöhnliche Anordnung vorgesehen. Von einem 40-MVA-Prüfgenerator, der mit 60 Hz betrieben wird, und von einer überbelasteten Kondensatorbatterie wird der Reaktor über den Transformator mit der vollen Leistung — 110 MVA bei 735 $/\sqrt{3}$ kV gespeist.

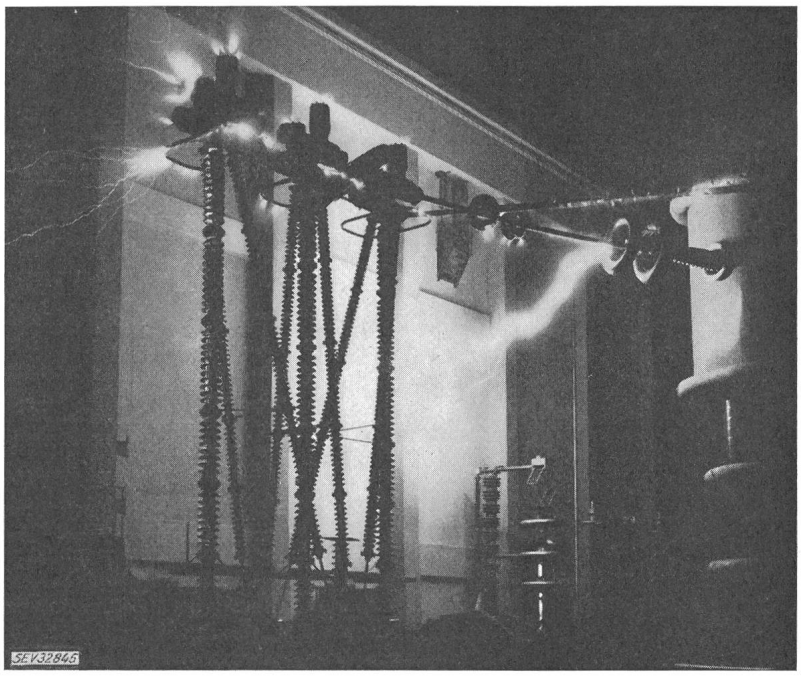


Fig. 3
Luftüberschlag an die Wand (Entfernung grösser als 8 m) bei 1300 kV (Effektivwert)

A. Edlinger, Ingenieur, AG Brown, Boveri & Cie., Baden: Zur Sicherung des Isolations-Pegels werden im entstehenden kanadischen 700-kV-Netz Kompensations-Drosselspulen (Shunt-Reaktoren) mit direktem Anschluss an die 700-kV-Leitung verwendet. An der Lieferung dieser ersten 700-kV-Reaktoren ist gegenwärtig Brown Boveri mit einem Auftrag von 5 Einheiten beteiligt.

Es sind zwei verschiedene Typen für 330 bzw. 165 MVar Gruppenleistung in Ausführung, beide für die gleiche Isolations-

[3]) Siehe Seiten 433...439 dieses Heftes.

[4]) Siehe Seiten 442...444 dieses Heftes.

[5]) Siehe Seiten 430...433 dieses Heftes.

32'853-856

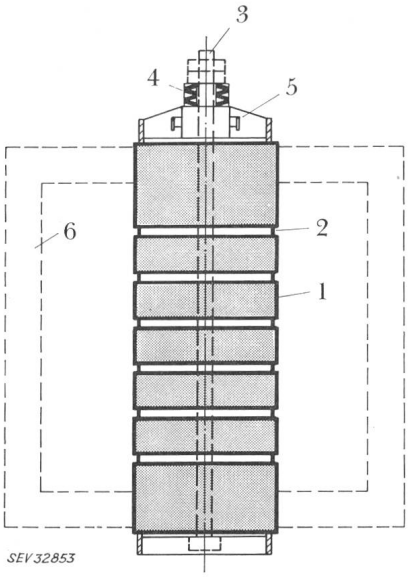


Fig. 1
Radialkernreaktor
Schema der Magnetsäule
1 Säulenstummel; *2* Luftspalt; *3* Pressbolzen; *4* Federpaket; *5* Aushebehaken; *6* *C*-Rückschlussjoch

festigkeit von 960 kV Wechselspannung und 2150 bzw. 2470 kV bei Voll- und abgeschnittenem Stoss.

An Hand einiger Figuren sei kurz über die Konstruktion und Auslegung dieser bemerkenswerten Objekte berichtet, deren erste Einheit bereits im Laufe dieses Jahres zur Prüfung kommt.

Für den Reaktor ist Bedingung, dass sein starkes magnetisches Wechselfeld in einem magnetisch neutralen Medium, z. B. in Luft, erzeugt wird. Die dabei innerhalb des aktiven Luftvolumens umgesetzten grossen Feldenergien, die beim grösseren der hier erwähnten Reaktoren 110 MVar pro Phase betragen, erfordern eine sehr zweckmässige Ausbildung des magnetischen Kreises. Wir verwenden hiefür als bewährtes Konstruktionsprinzip eine Magnetsäule, die nach Fig. 1 eine Anzahl passend bemessener Magnetspalte enthält, wobei radial geblechte Säulenstummel aus Magnetblech mit keramischen Distanzierungsstükken, welche die Luftspalte bilden, durch kräftige Bolzen zu einer kompakten Einheit zusammengeschraubt sind. Die radiale Blechung der Säule ermöglicht dem Fluss den Ein- und Austritt auf der Schmalseite der Bleche und damit die Anwendung grösserer Luftspalte. Die unmagnetischen Pressbolzen liegen, obwohl zentral angeordnet, ausserhalb des Spaltfeldes. Der überwiegende Einfluss der Luftspalte bedingt im Bereich der Nennspannung eine reine Luftcharakteristik. Durch entsprechende Auslegung ist Linearität bis zu etwa 150 % Nennspannung möglich.

Die erwähnten 700-kV-Reaktoren werden nach Fig. 2 als 2-säulige Einphaseneinheiten ausgeführt. Der magnetische Kreis besteht somit nach bekanntem Schema aus zwei Magnetsäulen und zwei Jochen, die den Fluss in genau definierter Weise führen. Mit Rücksicht auf eine einheitliche Konstruktion wird auch der kleinere Reaktortyp 2-säulig hergestellt.

Über dem oberen Joch erkennt man den Tragbalken, in dem die Pressvorrichtungen verankert sind. Links sieht man den Unterteil der Durchführung und den Hochspannungsanschluss an die Wicklung, die hier in der Ansicht als zylindrischer Block erscheint.

Würde nun die Magnetsäule aus der Wicklung entfernt, so stünde der Reaktor mit gewöhnlichem Luftkern vor uns, bei dem naturgemäss die Luftspaltlänge durch die Wicklungslänge bestimmt ist. Die Wicklungslänge wird dadurch an die Gesetzmässigkeit des magnetischen Kreises gebunden, nach welcher für eine gegebene Wicklung bei konstanter angelegter Spannung, die in deren Luftspalt umsetzbare Leistung verkehrt proportional dem Quadrat der Luftspaltlänge ist. Dieser Sachverhalt zwingt dazu, gewöhnliche Reaktoren mit bedeutend kleineren Wicklungslängen auszulegen. Dies ist allerdings bei Höchstspannungswicklungen sehr unerwünscht und führt zudem zu hohen Streuinduktionen. Beim Radialkern-Reaktor dagegen sind Wicklungs- und die Luftspaltlänge praktisch unabhängig voneinander. Dadurch ergibt sich der grosse Vorteil, dass die Wicklungen freizügig ausgelegt, und dass die bei Transformatoren üblichen Wicklungstypen und ihre Bemessungsweise direkt übernommen werden können. Dank dieser Umstände war es möglich, bei den vorliegenden Reaktoren die Ergebnisse einer mehrjährigen umfangreichen 750-kV-Transformatorentwicklung direkt anzuwenden. Die gezeigte Konstruktion basiert daher bezüglich ihrer Wicklungs- und Isolationsanordnung auf einer fertig vorliegenden Lösung.

In bezug auf die magnetischen Feldverhältnisse ist erwähnenswert, dass beim Radialkernreaktor ganz allgemein die Induktion des die Wicklung durchsetzenden Feldes wie beim Transformator niedrig ist. Dementsprechend ist auch das ausserhalb der Wicklung auftretende Streufeld gering.

Für die quantitativen Untersuchungen wurde das gesamte Reaktorfeld experimentell aufgenommen. Hiefür wurde ein grosses Modell mit dem analogen räumlichen elektrischen Strömungsfeld im elektrolytischen Trog bei automatischer Feldaufzeichnung ausgemessen.

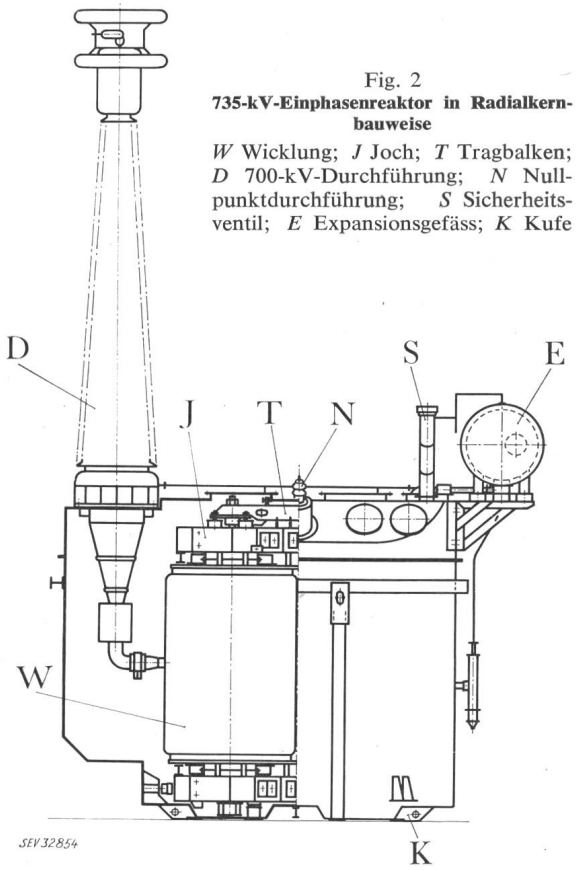


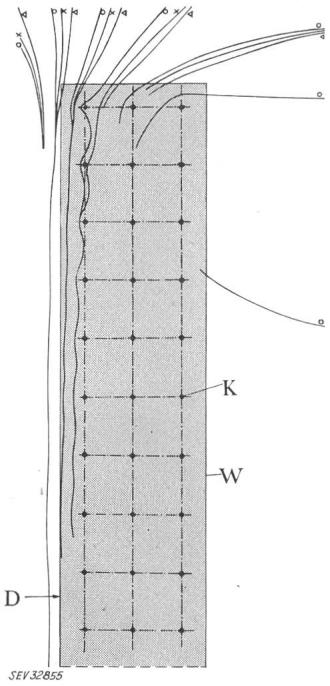
Fig. 2
735-kV-Einphasenreaktor in Radialkernbauweise
W Wicklung; *J* Joch; *T* Tragbalken; *D* 700-kV-Durchführung; *N* Nullpunktdurchführung; *S* Sicherheitsventil; *E* Expansionsgefäss; *K* Kufe

Fig. 3 zeigt das Feld in der unmittelbaren Umgebung der Wicklung des grösseren Reaktors für 110 MVar Einheitsleistung. Die Wicklung ist wie ersichtlich, durch eine genügend grosse Anzahl von Ersatzkreisen dargestellt — in dem gezeigten Teil der Wicklung liegen zum Beispiel 30 solcher Ersatzkreise.

Diese Vereinfachung ist ohne weiteres zulässig, da ja nur das Feld ausserhalb und in unmittelbarer Nähe der Wicklung aufgenommen werden sollte. Es sei betont, dass es sich hier um ein räumliches, experimentell ermitteltes Feldbild handelt.

Beachtenswert ist der durchwegs ausserordentlich günstige Verlauf des Feldes, vor allem auch an der Wicklungsinnenseite, wo praktisch ein homogenes, zur Wicklung parallel gerichtetes Feld herrscht, und im Bereich der Wicklungsstirnseiten. Dieses Feld ist in seinem ganzen Verlauf von einem Transformatorstreufeld tatsächlich nicht zu unterscheiden. Das Bild ist übrigens nur ein kleiner Ausschnitt aus dem bedeutend grösseren Originalfeldbild, welches das gesamte Reaktorfeld von der Säulenbohrung bis zur Kastenwand umfasst. Mit der erwähnten sehr genauen Methode konnten die Feldverhältnisse bereits im Entwurfsstadium viel eingehender untersucht werden, als es je am fertigen Objekt möglich wäre.

Fig. 3
Magnetfeld in Wicklungsnähe
○ × ◁ Feldvarianten; *D* Innendurchmesser der Wicklung; *K* Ersatzkreis; *W* durch Ersatzkreise nachgebildete Wicklung



Neben den Fragen der Isolation und der Ausbildung des magnetischen Kreises wurden im Rahmen der Arbeiten an diesen Reaktoren auch die mechanischen oder Vibrationsprobleme sehr gründlich behandelt. Das Magnetgestell ist derjenige Teil des Reaktors, in dem sich das Spiel der magnetischen Pulsationskräfte vollzieht. In dieser Hinsicht liegen ganz ähnliche Verhältnisse wie bei dem früher üblichen sogenannten gestossenen Transformator vor, so dass der Konstrukteur mit den mechanischen Problemen der Gestellverspannung schon seit langem wohlvertraut ist.

Das an sich komplizierte mechanische System des gesamten Aktivteils wurde in bezug auf sein Vibrationsverhalten mit Hilfe des analogen elektrischen Systems auf der Digitalmaschine untersucht. Dieses praktische Verfahren, bei dem jeder wichtige Konstruktionsteil seiner Lage und mechanischen Charakteristik entsprechend als elektrische Grösse abgebildet wird, liefert bereits im Entwurfsstadium die für eine vibrationstechnisch günstige Gestaltung des Aktivteils erforderlichen Angaben. Fig. 4a zeigt als Beispiel, das einer solchen Berechnung zu Grunde liegende Schema, wie es sich nach mehrfacher Reduktion aus dem ursprünglichen Netzwerk ergibt. Fig. 4b stellt ein der Praxis entnommenes Beispiel dar, wie durch Variationen zweier Gestellparameter *p* und *q*, die an einem bestimmten Konstruktionsteil auftretende Resonanzfrequenz f_r geändert werden kann.

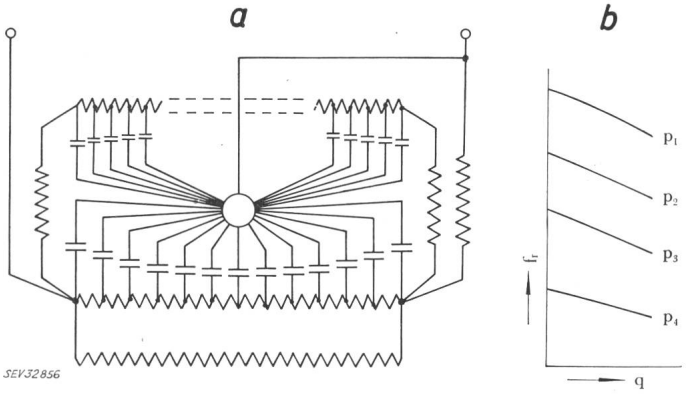


Fig. 4
Vibrationsuntersuchung am Aktivteil
a elektrisches Ersatzschema; *b* Resonanzfrequenz f_r in Funktion der Gestelltemperatur *p* und *q*

Der Bedeutung dieser Objekte entsprechend wird als zusätzliche Massnahme noch vor dem definitiven Zusammenbau eine Vibrationskontrolle durchgeführt. Bei diesem Versuch wird das mit einer Hilfswicklung versehene Magnetgestell in den Kasten eingebaut und voll erregt.

Diese Ausführungen sollen zeigen, dass diese ersten 700-kV-Reaktoren auf der Grundlage einer durchentwickelten, klaren und zweckmässigen Lösung gebaut werden.

Nach Schluss der Versammlung ging uns ein Beitrag von *L. Libert,* Constructions Electriques de Charleroi (Belgique) zu, den wir stark gekürzt hier veröffentlichen. *Red.*

Quelques considérations sur l'utilisation des réactances shunts cuirassées à très haute tension

Avec le développement généralisé des transmissions de l'énergie électrique à très grande distance, il devient nécessaire de compenser la puissance réactive capacitive des lignes de transport. La méthode de compensation la plus répandue consiste à connecter en parallèle sur ces lignes des réactances shunts, par l'intermédiaire d'enroulements auxiliaires des transformateurs de puissance. Du point de vue économique et de la stabilité de la transmission, il est désirable de pouvoir régler la puissance réactive de compensation en accord avec les différents programmes de transmission d'énergie prévus.

Jusqu'à présent on a utilisé principalement des réactances basse tension parce que moins coûteuses et de conception plus simple. Toutefois, il y a lieu de remarquer que cette solution accroît la puissance massique des transformateurs auxquels elles sont associées. De ce fait, il est plus économique de faire une partie de la compensation directement sur le réseau haute tension.

Les ACEC ont obtenu, en Mars 1960, une première commande d'une unité triphasée de 150 MVar, 400 kV. L'expérience que les ACEC ont acquise dans ce domaine a permis d'obtenir la commande de trois unités monophasées de 110 MVar, 735 kV, qui équiperont le réseau très haute tension de la société Canadienne Hydroquebec.

Le coefficient de surtension côté réactance doit être aussi réduit que possible pour tous les types de disjoncteurs actuellement disponibles sur le marché et, notamment, les disjoncteurs à air comprimé équipés de résistances d'amortissement. Les coefficients de surtensions mesurés aux bornes du disjoncteur de protection de la réactance varient de 1,1 à 1,4 sans aucune tendance d'oscillation.

En général, les normes nationales et internationales sur le bruit ne sont valables que pour les transformateurs de puissance. Il est raisonnable de considérer que le niveau de bruit des réactances ne peut excéder celui du transformateur de même puissance. Il a été mesuré au site 83,4 db pour une garantie de 84 db.

Le courant d'enclenchement doit être aussi faible que possible, car la composante continue et les harmoniques du courant d'enclenchement peuvent produire un courant de neutre d'amplitude et de durée suffisantes pour provoquer le fonctionnement de la protection de défaut à la terre. Le courant d'enclenchement de la réactance en exploitation était si faible qu'il était sans signification pratique.

Le niveau des courants dans le point neutre permet d'estimer le risque d'interférence téléphonique. Dans le cas de la réactance en exploitation, l'écart maximum du coefficient de self-induction d'une phase, vis-à-vis de la valeur moyenne des 3 phases, est de 0,26 %. En tenant compte de l'influence de la magnétisation on a mesuré un courant d'harmonique 3 d'amplitude correspondant à 0,17 % de l'amplitude de l'onde fondamentale du courant.

Les réactances à très haute tension sont normalement prévues avec enroulements connectés en étoile et isolation graduée, le neutre étant mis directement et en permanence à la terre .Il est donc impossible de réaliser une épreuve de rigidité diélectrique valable, car cela requiérerait une puissance énorme dont on ne dispose pas en plateforme d'essais. Les essais aux ondes à front raide, tant en ondes pleines qu'en ondes coupées, sont possibles et constituent le seul critère d'appréciation pour vérifier le niveau d'isolation de la réactance.

Le problème de vibration est considéré par les constructeurs comme le plus important et le plus complexe. En effet, ce n'est qu'au prix de recherches systématiques soit sur digital computer, soit sur modèle représentatif, que l'on a pu déterminer des niveaux de vibration acceptables tant pour l'enceinte magnétique que pour la cuve et ses accessoires.

Les problèmes thermiques sont plus importants relativement que dans les transformateurs de puissance. Les pertes d'une réactance se décomposent en pertes fer, en pertes RI^2 et en pertes supplémentaires (à la fois dans les enroulements et dans les structures métalliques environnantes). Le constructeur a tout intérêt à réduire au maximum les pertes supplémentaires (environ 2 % pour la réactance en exploitation).

Supraleitfähige Magnetspulen

621.318.4 : 537.312.62

[Nach *H. J. Goldsmid:* Superconducting Magnets. G. E. C. Journal 30(1963)3, S. 114...121]

In den letzten Jahren haben Magnetfelder mit hohen Feldstärken für die physikalische Forschung grosse Bedeutung erlangt. In Zukunft wird man starke Magnetfelder auch für industrielle Zwecke benötigen. Permanente Magnete sind ideale Hilfsmittel für die Erzeugung magnetischer Felder, doch lassen sich mit ihnen kaum grössere Feldstärken als 10 000 A/cm erzeugen. Für verschiedene Sonderzwecke wird man Felder mit 100 000 A/cm und mehr benötigen. Die obere Grenze von Feldern mit ferromagnetischer Konzentration liegt wegen der Sättigung des Kernmaterials in der Gegend von 50 000 A/cm. Grössere Feldstärken lassen sich deshalb nur durch Spulen mit vielen Windungen und grossen Strömen erzielen. *Bitter* hat ermittelt, dass zur Erzeugung eines Feldes von 100 000 A/cm in einer Spule mit einem Innendurchmesser von 2,54 cm eine Leistung von 1,7 MW aufgewendet werden muss, wobei der Bedarf an Kühlwasser 3600 l/min beträgt.

Die Entdeckung der Supraleitfähigkeit durch *Kamerlingh Onnes* im Jahre 1911 führte zur Annahme, dass man mit Spulen aus supraleitendem Material starke magnetische Felder mit geringem Energieaufwand erzeugen kann. *Kamerlingh Onnes* fand jedoch sehr bald, dass bei einer kritischen Feldstärke H_C der Leiter seine Supraleitfähigkeit verliert. T_C ist die kritische Temperatur, bei der ein Leiter supraleitend wird. Hohe Stromstärke in einem Leiter unterdrückt ebenfalls die Supraleitfähigkeit; der Strom, bei dem dies eintritt, ist der kritische Strom I_C. Bei supraleitenden Elementen ist die kritische Feldstärke relativ niedrig. Supraleitende Legierungen und Verbindungen können wesentlich höhere kritische Feldstärken aufweisen. So haben *de Haas* und *Voogd* im Jahre 1930 entdeckt, dass gewisse Legierungen von Blei und Wismut bis zu Feldstärken von 20 000 A/cm supraleitend bleiben. Im Jahre 1961 haben *Kunzler* und seine Mitarbeiter festgestellt, dass Leiter aus der Verbindung Nb_3Sn bei einer Temperatur von wenigen Graden über dem absoluten Nullpunkt und bei einer Feldstärke von 88 000 A/cm ihre Supraleitfähigkeit behielten. Die Stromdichte betrug 10^5 A/cm².

32'615-616

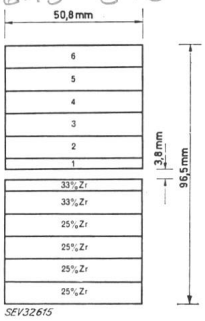


Fig. 1
Aufbau einer supraleitfähigen Magnetspule zur Erzeugung hoher Feldstärken
Der Leiter besteht aus einer Legierung von Niob und Zirkon. Die äusseren Windungen enthalten 25 %, die inneren Windungen 33 % Zirkon
1...6 Reihenfolge der Wicklungen von innen nach aussen

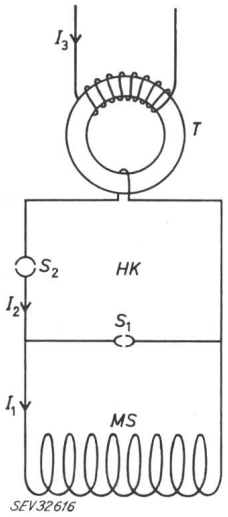
Diese Entdeckungen haben gezeigt, wie man leistungslos grosse Feldstärken erzeugen kann, wenn einmal das magnetische Feld aufgebaut ist. In Tabelle I sind einige Elemente, Legierungen und Verbindungen mit ihren kritischen Temperaturen und Feldstärken zusammengestellt. Den Aufbau einer Spule nach *Riemersma* und seinen Mitarbeitern zur Erzeugung grosser Feldstärken zeigt Fig. 1. Der Leiter besteht aus einer Legierung von Niob und Zirkon. Die grösste kritische Stromstärke für diese Legierung ergibt sich bei einem Gehalt von 25 % Zirkon, die höchste kritische Feldstärke bei einem Gehalt von 33 % Zirkon. Deshalb wurden in der Spule die äusseren Windungen aus einer Legierung mit 25 % und die inneren Windungen mit 33 % Zirkon ausgeführt. Die Feldstärke, die sich mit dieser Spule erreichen liess, betrug 68 000 A/cm.

Kritische Temperaturen und Feldstärken einiger Supraleiter

Tabelle I

Material	T_C °K	H_C A/cm
Iridium	0,14	ca. 20
Gallium	1,09	51
Niob	9,46	1944
60 % Mo + 40 % Re	12	20 000
75 % Nb + 25 % Zr	11	100 000
Nb_3Sn	18	>200 000

Fig. 2
Schaltung zum Einpumpen des Stromes in die supraleitfähige Magnetspule
T Toroidtransformator; *HK* Hilfskreis; *MS* Magnetspule; S_1, S_2 Schalter; I_1, I_2, I_3 Ströme
Erläuterungen siehe im Text



Eine Schaltung zum Einpumpen des Feldes in den supraleitfähigen Kreis ist in Fig. 2 angegeben. Die Schalter S_1 und S_2 bestehen aus Stellen des Supraleiters, die durch Erwärmen ihre Supraleitfähigkeit verlieren. Zunächst ist der Schalter S_1 geschlossen und S_2 offen. Dann wird durch die Primärwicklung der Strom I_3 geschickt und der Schalter S_2 geschlossen, worauf man I_3 bis auf 0 reduziert; der Strom I_2 im Hilfsstromkreis bleibt erhalten. Daraufhin wird der Schalter S_1 geöffnet und wieder geschlossen, so dass sich im Magnetspulenkreis der Strom I_1 ergibt. Durch Wiedeholen dieses Vorganges steigt der Strom I_1 in der Magnetspulenwicklung bis zu einem Grenzwert an. Es ist zu erwarten, dass die grössten Feldstärken, die man mit supraleitenden Spulen erhalten kann, Werte von 200 000...300 000 A/cm erreichen werden.

H. Gibas

Eine neue hochpermeable magnetische Legierung

621.318.1 : 669.245

Von der Westinghouse Electric Corporation wurde eine neue magnetische Legierung für die verschiedensten elektronischen Anwendungen entwickelt. Das Material besteht aus 79 % Nickel, 4 % Molybdän und der Rest aus Eisen. Diese Legierung zeigt eine hohe Anfangs- und Maximum-Permeabilität bei geringer Magnetisierungs-Leistung und kleinen Hysterese-Verlusten. Der Zusatz von Molybdän verleiht der Legierung nicht nur einen guten Korrosions-Widerstand sondern auch einen hohen elektrischen Widerstand. Vorgesehen ist das neue Material für hochwertige Niederfrequenz-Transformatoren, empfindliche Relais, Impuls-Transformatoren, magnetische Verstärker, Magneton-Aufnahme-Köpfe usw. zu verwenden. Vor dem letzten Glühprozess kann das Material gelocht, geschnitten oder in eine beliebige Form gebracht werden. Die Kombination magnetischer und mechanischer Eigenschaften macht das Material überall da anwendbar, wo ein maximaler Fluss bei geringen Anregungsströmen und bei geringsten Verlusten erforderlich ist.

G. M.

Flugsicherungs-Simulatoranlage für «Eurocontrol»

371.677.4 : 656.7.05

Die «Eurocontrol» errichtet in Brétigny bei Paris eine Flugsicherungs-Simulatoranlage, die den Westeuropäischen Luftraum mit einem Kreisdurchmesser von 2000 km nachbilden wird. Mit dieser Anlage sollen die Probleme studiert werden, die nach Einführung des Überschall-Passagierluftverkehrs zu erwarten sind. Der Luftverkehr nimmt ständig zu, die Geschwindigkeiten der Verkehrsflugzeuge ebenfalls. Wie gross die Probleme sind, denen der Europäische Flugsicherungsdienst gegenübersteht, kann

man aus der Tatsache entnehmen, dass das Überschallflugzeug «Concorde» die Strecke London—Paris in etwa sieben Minuten zurücklegen wird.

Die Simulatoranlage besteht aus einer digitalen Grossrechenmaschine TR 4 von Telefunken, einer Sichtgeräteausrüstung der Decca Radar Ltd. und Radarsimulatoren und Übertragungsanlagen der CSF, in deren Händen auch die Koordinierung des ganzen Systems liegt.

Die Grossrechenanlage TR 4 kann duale und dezimale Rechenoperationen ausführen. Sie ist voll transistorisiert und kann in einer Sekunde 150 000 logische Entscheidungen treffen. Der Informationsspeicher kann 1 400 000 Informationseinheiten aufnehmen. Die Speicherkapazität lässt sich durch Magnetbandspeicher mit je 20 Millionen Informationseinheiten erweitern. Diese Speicher werden als Eingangs- oder Ausgangs-Geräte angeschlossen. Daten können zur gleichen Zeit eingegeben, ausgegeben und verarbeitet werden. An die Rechenanlage lassen sich bis zu 64 Dateneingabe- und Ausgabe-Geräte anschliessen. Die Geschwindigkeit der Schnelldrucker beträgt 16 Zeilen zu 160 Zeichen pro Sekunde.

Die Sichtgeräteausrüstung besteht aus einem besonderen Sichtgerät für den Überwachungsoffizier, aus Panoramasichtgeräten für die Flugsicherungslotsen und aus tabellarischen Schirmbildanzeigen für die «Piloten». Der Simulator wird 20 «Piloten»-Arbeitsplätze aufweisen. Jeder «Pilot» ist für 15 simulierte Flugzeuge zuständig, so dass sich mit der Anlage die Bewegungen von 300 Flugzeugen nachbilden lassen. Die Flugzeugbewegungen werden durch sechs Primär- und sechs zugeordnete Sekundär-Radargeräte kontrolliert und in der elektronischen Rechenmaschine verarbeitet. Auf einer Grossprojektions-Anzeigeeinrichtung kann der Überwachungsoffizier entweder das Luftlagebild des ganzen Übungsgebietes oder die Radarbilder der sechs Radargeräte kontrollieren. Das Arbeitsprogramm für die Untersuchungen mit dem Simulator wird die Flugpläne, die Flugeigenschaften der Flugzeuge, die meteorologischen Bedingungen, die Verteilung der Navigationsfunkfeuer und ihre Wirkungsweise, die Aktionen der Piloten und noch viele andere Probleme umfassen, die der zukünftige Luftverkehr dem Flugsicherungsdienst stellen wird. *H. G.*

Thermostat à pont différentiel pour 0,001 °C

621-555.621.5 : 621-533.65

[D'après *W. Tempest:* A Bridge Thermostat with a Differential of 0,001 °C. Electronic Eng. t. 35(1963)430, p. 814...816]

Le thermostat développé maintient constante la température d'un liquide pendant 100 h environ avec une différence de température voisine de 0,002 °C. La méthode consiste à utiliser un pont à courant alternatif dont un des bras est formé par une thermistance qui est l'élément sensible, tandis qu'un autre bras formé par une résistance variable, permet d'ajuster la température d'équilibre. Pour éviter une dissipation trop importante dans les éléments du pont, la tension d'alimentation est fixée à 1 V, ce qui permet d'atteindre une pente de 6 μA/°C.

L'alimentation en courant continu des amplificateurs est obtenue à partir d'un redresseur stabilisé par une diode de Zener. La tension alternative du transformateur du pont est aussi stabilisée par une diode de Zener qui produit une tension rectangulaire d'amplitude constante. Cette tension est ensuite filtrée par des éléments *RC* pour obtenir une tension sinusoïdale qui est amplifiée à la valeur désirée pour le fonctionnement du pont et du détecteur de phase.

La tension de sortie du pont est amplifiée par trois étages à transistors avec un gain de 500 V/μA. Après comparaison, détection et amplification, il est possible d'actionner un relais pour la commande tout ou rien du courant de chauffage. Une différence de température de 0,001 °C produit le fonctionnement du relais.

Le pont est monté dans un cylindre en laiton, un tube saillant contient la thermistance, le tout est plongé dans le liquide à contrôler pour assurer la plus grande stabilité de la température.

Pendant les premières quatre heures de fonctionnement, jusqu'à stabilisation de la température du pont, les variations de températures sont de l'ordre de 0,01 °C. Après cette période de stabilisation, les variations de températures sont de 0,001 °C/h et de 0,002 °C par 24 heures. Pour une longue période de fonctionnement, de 100 h, la dérive est inférieure à 0,002 °C. Le passage de la tension d'alimentation, de 240 V à 220 V n'affecte pas plus de 0,001 °C la température contrôlée. *A. Geneux*

Höhere Laser-Leistung durch neue Kristalle

621.375.029.6 : 535.2

Die Autonetics Division of North American Aviation untersucht im Augenblick neue Laser-Kristalle. Man glaubt mit der Entwicklung von Cer-Dioxyd- und Magnesium-Oxyd-Kristallen Laser höherer Leistung als es mit Rubin-Kristallen möglich war zu erhalten. Anders als bei einem Rubin haben beide Kristalle eine kubische Struktur und sind daher isotropisch. Weiterhin gehört Cer-Dioxyd zu den Metalloxyden der Seltenen Erden, das ohne Schwierigkeiten Zusätze von anderen Seltenen Erden aufnehmen kann und daher wahrscheinlich eine grössere Leistung hervorrufen wird. Vorgesehene Zusätze sind Europium, Praseodym und Neodym in Form von Pulver. Die Magnesium-Oxyd Kristalle wachsen aus der Dampfphase, wodurch ihre Grösse unbegrenzt sein wird. Ebenfalls ein wichtiger Faktor zur Leistungs-Erhöhung. Thermische Deformationen werden vermieden, da die Arbeitstemperatur bei etwa 1000 °C liegt, während die Schmelz-Temperatur etwa 3000 °C beträgt. Mögliche Zusätze werden Kobalt und Vanadium sein. *G. M.*

Entwicklungslinien für den Bau von Kurzwellen-Sendeanlagen

621.396.61.029.55

[Nach *A. Simon:* Entwicklungslinien für den Bau von Kurzwellen-Sendeanlagen. Siemens Z. 38(1964)2, S. 61...66]

Die interkontinentalen Nachrichtenverbindungen werden, nebst den Drahtleitungen, noch in einem grossen Umfange über Kurzwellenstrecken abgewickelt (3...30 MHz). In den bis heute verwendeten Anlagen war es üblich, dass Fachpersonal die Sender an Ort und Stelle bediente und die entsprechenden Schaltungen ausführte.

Die Kurzwellenverbindungen über die Ionosphäre müssen auf der für eine bestimmte Strecke, je nach Tages- und Jahreszeit verschiedenen, günstigsten Frequenz betrieben werden. Diese Frequenzbänder sind naturgemäss stark überlastet, was die Notwendigkeit von häufigem Frequenzwechsel noch erhöht. Es stellt sich somit die Forderung nach rascher Abstimmung und der Möglichkeit, den Sender mit allen Modulationsleitungen und Antennen zu verbinden.

Auf den oben erläuterten Kurzwellenverbindungen erfolgen heute Sprach- und Fernschreibübertragungen. Als Sendearten stehen die Einseitenbandtelephonie A3A und A3B und die Frequenzumtastung F1 und F6 bei Telegraphie, im Vordergrund. Die Wünsche gehen jedoch in jüngster Zeit dahin, die Sende- und Empfangsanlagen von einer gemeinsamen Betriebszentrale aus zu steuern. Die Bedienung der Sendeanlage bot in dieser

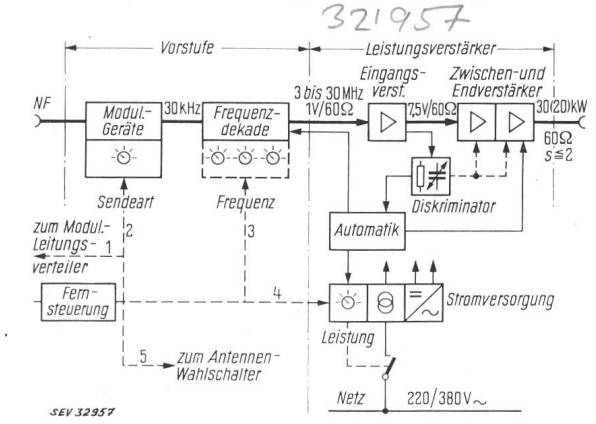


Fig. 1
Blockschaltplan eines 30-(20-)kW-Senders mit automatischer Abstimmung (ohne Kontrollgeräte)

Hinsicht die grössten Schwierigkeiten. Im Blick auf ferngesteuerte Anlagen wurde deshalb bei der Entwicklung alles daran gesetzt, die Bedienung zu vereinfachen. Die Zahl der notwendigen Befehle für eine Fernsteuerung kann damit klein gehalten werden.

Die Übertragungsgüte der Verbindungswege, insbesondere die Frequenzkonstanz, die Reduktion von Nebenaussendungen, die Nebensprechdämpfung und der Klirrfaktor, ist ebenfalls das Ziel von Verbesserungen. Die grössten Schwierigkeiten bieten die genaue Einstellung und die Betriebskonstanz der Frequenz. Bedingt durch den eingangs erläuterten häufigen Frequenzwechsel, bildet dieser Faktor das grösste Hindernis für die Fernbedienung einer Sendeanlage. Die Lösung des Problems liegt in der Verwendung einer Frequenz-Dekade und einer Einrichtung für automatische Abstimmung aller Stufen des Senders (Fig. 1).

Die aufgeführten Forderungen an eine ferngesteuerte Grosssendeanlage sind in einem neuen 30/20-kW-Sender realisiert worden. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit ist die Zahl der abzustimmenden Einheiten möglichst klein gehalten. Auf mechanisch bewegte Teile wurde womöglich verzichtet. In der von Siemens entwickelten Sendeanlage stimmt sich der Leistungsverstärker über das ganze Frequenzband von 3...30 MHz innerhalb von 15...25 s auf die Eingansfrequenz ab. Diese Zeit liegt somit unter den bei Handbedienung benötigten Werten.

Die technische Überlegenheit, gepaart mit der Möglichkeit, hochqualifiziertes Personal einzusparen, eröffnet diesen neuen Kurzwellen-Sendeanlagen den Weg in eine aussichtsreiche Zukunft.

W. Langhart

Zahlenmässig erfassbare Zuverlässigkeit

621.38.019.3

Auffassungen im Jahr 1963 und 1964

[Nach *G. A. W. Boehm*: «Reliability» Engineering, Fortune 67(**1963**)4. S. 124..(..)..186]

Eine neue technische Wissenschaft, die Planung auf Zuverlässigkeit, ist hauptsächlich für die Vorausberechnung des Gebrauchsverhaltens komplexer militärischer Apparaturen entwickelt worden. Das Studium der Zuverlässigkeit beginnt mit grossem Vorteil bereits im Stadium der Konzeption eines neuen Systems. Von der üblichen Qualitätskontrolle eines Produktes während der Fabrikation bis zur vollendeten Planung auf Zuverlässigkeit ist ein weiter Schritt. Der auf den Ingenieur ausgeübte Zwang, von Anfang an wirtschaftliche Überlegung mit in seine Entwürfe einzubeziehen, stellt seine Geschäftsleitung viel früher vor die Frage, ob ein Produkt wert sei, hergestellt zu werden.

Ein kommerzielles Nachrichtensystem mit vier Satelliten wäre beispielsweise denkbar, wenn dessen elektronische Ausrüstung eine mindeste MTBF (Mean Time Between Failure = Mittlerer Zeitabstand zwischen Störungen) von 40 000 h hätte und nicht bloss 200 h, die heute übliche Dauer störungsfreier Funktion militärischer Elektronik. Im ersteren Falle würden zehn Millionen Dollar Jahresunterhalt für den Ersatz ausgefallener Satelliten genügen, im zweiten Fall müssten aber prohibitive 2 Milliarden Dollar aufgewendet werden.

Die Planung auf Zuverlässigkeit beginnt nur langsam ihren hohen Erwartungen gerecht zu werden. Echter Enthusiasmus dafür muss aber an jenen Stellen erst noch geweckt werden, die von «Reliability Engineering» am meisten zu profitieren hätten. In gewissen Sektoren ist das ganze Konzept auf taube Ohren, ja sogar auf Ablehnung gestossen. Viele Konstrukteure fühlen sich mit Zahlen, die nur eine mathematische Wahrscheinlichkeit bedeuten, auf unsicherem Boden. Andere Ingenieure wiederum lehnen die durch Zuverlässigkeits-Planung erzwungene Eingrenzung ihrer Kreativität ab. Dies gilt vornehmlich für ältere, erfahrene Spezialisten elektronischer Richtung, die eifersüchtig ihren eigenen Stil beizubehalten wünschen. Fabrikanten zögern, das zusätzliche Personal einzustellen oder geeignete Einrichtungen anzuschaffen.

Die Meisterleistungen des neuen Wissenschaftszweigs sind aber nicht zu leugnen. Unterseekabel zwischen den USA und Grossbritannien haben sieben Jahre ohne einen Ausfall an einem der 530 Zwischenverstärker gearbeitet. Beinahe jeder moderne Computer ist ein Vorbild sorgfältig geplanter Zuverlässigkeit. Würde ein Heim-Radioempfänger mit der MTBF einer Minuteman Missile Apparatur gebaut, er würde ohne Unterbrechung mehr als ein Jahrhundert funktionieren.

Einige der kompliziertesten militärischen Systeme sind bejammernswert unzuverlässig. Jährliche Unterhaltsspesen erreichen 60...1000 % des Neuwerts. E. F. Dertingen analysierte 1962 dreissig Militärkontakte, für die sich seine Firma (Raytheon) bewarb. Elf davon erwähnten Zuverlässigkeit nicht. Zwölf weitere hielten sich an allgemeine Wendungen. Solange die Einsichten der neuen Wissenschaft nicht bis zum letzten Einkaufs-Bevollmächtigten durchgedrungen sind sichert sich ein nachlässiger Fabrikant einen Vorteil gegenüber gewissenhaften Konkurrenten. Kurz, Zuverlässigkeit verkauft sich schlecht.

Über die Ausfallrate einzelner Komponenten und besonders über die Änderungen, denen diese Zahl im Laufe der Alterung und des Gebrauchs unterliegt, fehlen vielfach gut fundierte Angaben. Dazu kommt, dass mit wachsender Zuverlässigkeit die Berechnung der Gesamt-Ausfallrate zunehmend riskanter wird. So wenig ist bekannt über Änderungen der Ausfallrate, dass viele Statistiker jeder Berechnung der MTBF komplexer Systeme misstrauen.

Die Planung der Zuverlässigkeit zieht grossen Nutzen aus mathematisch fundierter Wahrscheinlichkeits-Rechnung. Die grössten Erfolge werden aber dort erreicht, wo sorgfältig solche Konstruktionen und Techniken gewählt werden, die dafür bekannt sind, hohe Zuverlässigkeit zu liefern. Dazu gehören gewisse Grundregeln: Die Verwendung guter Komponenten, deren jede einem Testprogramm unterworfen wurde, bringt nebst der erwünschten Verbesserung leider auch eine Verteuerung. Wo immer möglich, sind Standardtypen zu wählen. Gut eingeführte Herstellungs-Verfahren sollen beibehalten werden. Komponenten sind nicht bis zum Grenzwert auszulasten. Selbst wenig belastete Teile werden noch zusätzlich mit Wärmeableitern versehen. Nicht eingetreten wird an dieser Stelle auf lebensdauererhöhende Mittel wie Gegenkopplung, Parallelzweige oder Mehrfach-Ausrüstung.

Die Planung der Zuverlässigkeit verlangt findige, erfahrene Ingenieure mit vertieften Kenntnissen der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, und bedarf kompetenter Geschäftsleitungen, die ihre Politik basieren auf guten Einschätzungen des Marktes für teure, zuverlässige Produkte, des Wertes zufriedener Kunden oder des Langzeit-Ertrages einer Reputation für gute Qualität.

[Nach *W. Kornberg:* Reliability Outlook: Numerical Specs Soon. Electronics 37(**1964**)3. S. 39...42]

Zuverlässigkeits-Konzepte, die im Schosse der Elektronik-Industrie herangewachsen sind, erwerben sich zunehmende Beachtung. Bis in die Verbrauchsgüter-Fabrikation dringen die Einsichten des «Reliability Engineering» vor. Nachdem die integrierten Unterhaltskosten elektronischer Ausrüstung auf 1200 % des Kaufpreises geschätzt werden, bemühen sich die Hersteller nun, der Käuferschaft mitzuteilen, dass Zuverlässigkeit gegen entsprechenden Preiszuschlag käuflich ist. Für die Beurteilung der Erfüllung eines Auftrages ist Zuverlässigkeit ein untrennbarer Teil geworden.

Eine geplante Zentralstelle zur Sammlung aller erarbeiteten Daten, also auch der beobachteten Ausfallraten, soll den Herstellern und Bestandteilkäufern den Zugang zu bewährten Typen erleichtern. Einer Äusserung von D. C. Minton Jr., Vizepräsident im Battelle Memorial Institute, kann entnommen werden, wie viel mehr Aussicht auf garantierfähige Zuverlässigkeit ein Bauteil aus normaler Mengenfertigung, dem Zwischenlager entnommen, hat. Neue Methoden zur Verringerung der Ausfallraten sind jedoch viel weniger gefragt als Einsichten in die Konsequenzen, die das Konzept geplanter Zuverlässigkeit für die Geschäftsorganisation mit sich bringt.

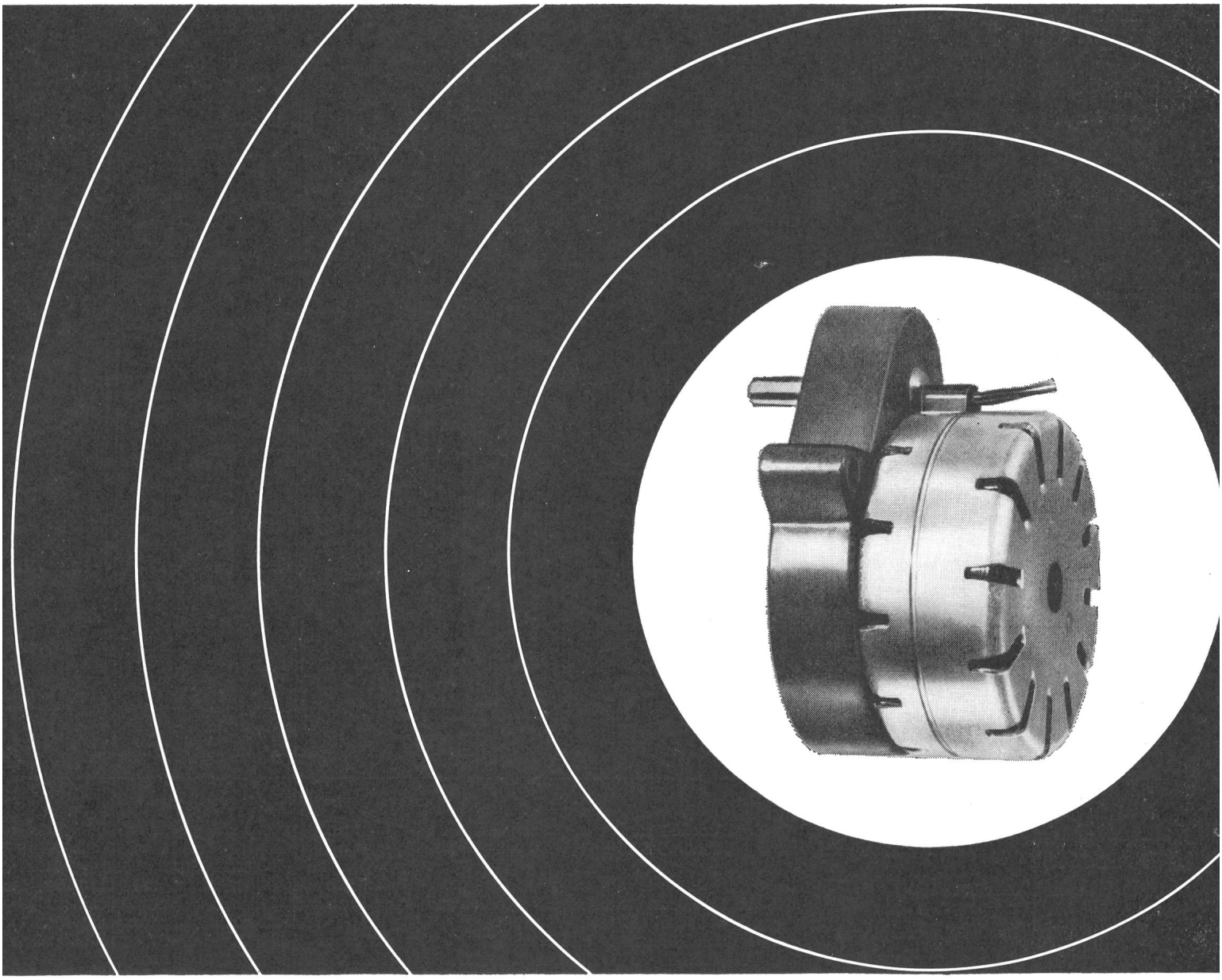
Zuverlässigkeits-Spezialisten, die früher einem Fabrikationschef unterstellt waren, der jeden Eingriff in seine Zeitpläne zu vermeiden trachtete, werden immer mehr der technischen Direktion angeschlossen, ganz besonders in neuester Zeit. Explizite numerische Angaben ersetzen zunehmend früher vage Begriffe. Industrie und Militär lehnen die noch gelegentlich vorgebrachte Ansicht ab, wonach Zuverlässigkeit automatisch von jedem seines Namens würdigen Handwerksmann oder Unternehmer geliefert würde.

W. J. Baer

Fortsetzung auf Seite 465

Suite voir page 465

ein Volltreffer!



Synchronmotor Typ SA

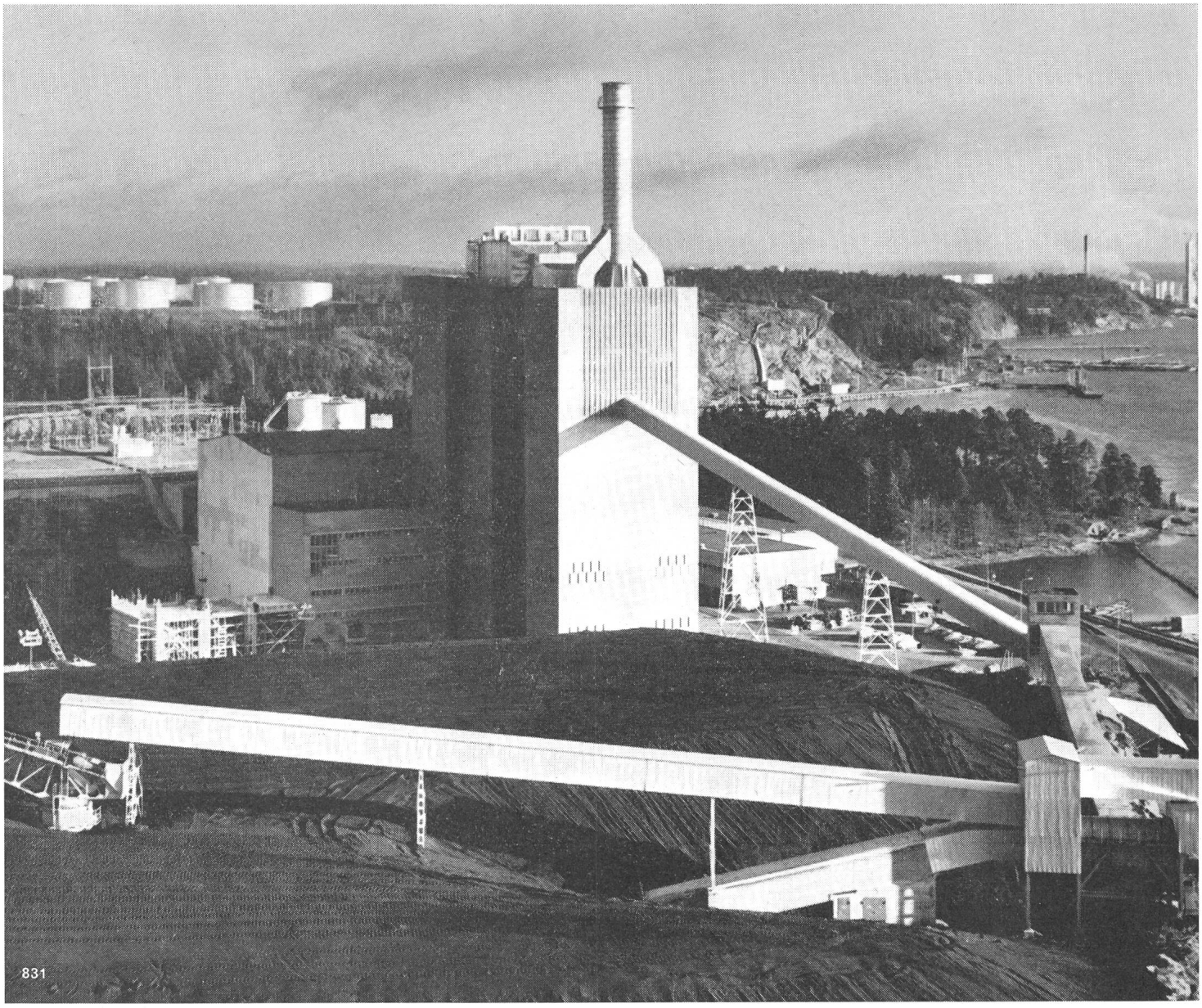
für Spannungen von 6—220 V~, 50 Hz
Drehzahlen innerhalb 250 U/min bis 1 U/48 h
dauernd zulässiges Drehmoment:
15 cmg bei 250 U/min
2000 cmg von 1 U/2 h an
Typ SAK mit Kraftgetriebe bis 6000 cmg
selbstanlaufend
robuste Konstruktion
Getriebe mit Dauerschmierung
kunstharzvergossene Spule
staub- und spritzwasserdicht gekapselt
kleine, einheitliche Abmessungen

SAIA

SAIA AG MURTEN

Fabrik elektrischer Apparate

SULZER



▲

Sulzer Einrohrdampferzeuger für Industrie- und Elektrizitätswerke

Auf dem Gebiet der Dampferzeugungsanlagen haben wir stets bahnbrechende Neuerungen herausgebracht. Sowohl durch ständige Vervollkommnung unserer Kesselbauarten wie durch Steigerung der Frischdampfdrücke, Temperaturen und Leistungen versuchen wir immer höhere Gesamtwirkungsgrade zu erzielen.
Unser Fabrikationsprogramm umfasst alle wichtigen Kesseltypen sämtlicher Leistungsbereiche. Doch bauen wir nicht nur den Dampferzeuger, sondern auch die zugehörigen Speicher-, Regel- und Verteilanlagen einschliesslich aller Hilfsmaschinen und -einrichtungen. Besondere Sorgfalt widmen wir der Speisewasserfrage und projektieren die entsprechenden Aufbereitungsanlagen. Als Hersteller der zugehörigen Steuer- und Regelorgane werden von uns die Probleme der automatischen Regelung ganzer Dampfkraftwerke schon bei deren Projektierung berücksichtigt.

Unsere reichen Erfahrungen in der Dampftechnik sowie als Generalunternehmer für thermische Industrie- und Kraftwerkanlagen bieten Gewähr für individuelle Sonderlösungen von höchster Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit. Die Kesselanlagen werden den jeweiligen Betriebsverhältnissen und der Brennstoffversorgung angepasst, um technisch und wirtschaftlich rationelle Lösungen zu erhalten, deren Bau entweder für ausschliessliche oder für kombinierte Verfeuerung fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe erfolgt.

Naantali, Finnlands grösstes Dampfkraftwerk: Zur Deckung des steigenden Energiebedarfes und zur Ergänzung der hydroelektrischen Energiequellen hat die Imatran Voima Oy, Helsinki, an der finnischen Südküste das thermische Kraftwerk Naantali in Betrieb genommen. Für dessen Vollausbau auf 400 MW sind drei Einheiten vorgesehen. Sowohl der erste wie der zweite Block mit einer Leistung von je 133 MW wurden mit Sulzer-Einrohrkesseln ausgerüstet. Für Kohlenstaub-, Schweröl oder Mischbetrieb eingerichtet, beträgt die Dampfleistung pro Kessel 430 t/h bei 190 atü und 530/540 °C. Unser Bild zeigt den ersten Kraftwerkblock: an dessen linker Seite wird zurzeit der zweite angebaut.

Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft Winterthur / Schweiz

SULZER