Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 5 (1914)
Heft: 7

Artikel: Die Schweizerische Elektrizitäts-Industrie an der Landesausstellung in Bern 1914
Autor: Bauer, Bruno
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056631

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: 22.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen **„Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz"** sowie **„Jahresheft"** und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon 9571

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la **„Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse"**, ainsi que l'**„Annuaire"**.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

V. Jahrgang
V^e Année

Bulletin No. 7

Juli
Juillet 1914

Die Schweizerische Elektrizitäts-Industrie an der Landesausstellung in Bern 1914.

Von *Bruno Bauer,* dipl. Ing.

Der vorliegende Bericht kann nicht der Aufgabe gerecht werden, allen Objekten aus der schweiz. Elektrotechnik, die an der Ausstellung zur Anschauung gelangen, eine gleichmässige Behandlung angedeihen zu lassen. Es wäre damit noch kein allgemeiner Ueberblick über den Stand unserer Elektrizitätsindustrie gewonnen. Vielmehr soll das Studium der ausgestellten Maschinen und Apparate zum Anlass dienen, die heutige Entwicklungsstufe zu kennzeichnen und hier in kurzen Worten neue Gesichtspunkte und Errungenschaften zu beschreiben. Die Fülle des Stoffes erlaubte hierbei nicht, die Anwendungen der Elektrizität in ihren Spezialgebieten, elektrische Traktion, Berg- und Hüttenwesen und Spezialantriebe in diesen Bericht aufzunehmen.

I. Elektromaschinenbau.

Auf den ersten Blick scheinen hier, zumal im Generatorenbau, keine nennenswerten Neuerungen zu verzeichnen zu sein. Das Prinzipielle in der Konstruktion der Grossmaschinen ist schon über einige Jahre hindurch unverändert geblieben und gewissermassen Gemeingut geworden, ein Zeichen, dass man für die heute gegebenen Antriebsmotoren die zweckmässigste Form des Generators erreicht hat. Wie intensiv aber trotzdem die Industrie an diesen Konstruktionen arbeitet, kann ein kurzer Ueberblick über deren Entwicklung lehren. Diese ist in ihrer allgemeinen Tendenz, Vergrösserung der Einheitsleistung und gesteigerte Ausnützung der Baumaterialien, wohl von jedermann erkannt, trotzdem dürfte es für den Nichtspezialisten interessant sein, diese Verhältnisse von Anfang unserer Elektrizitätsindustrie an quantitativ zu verfolgen. Das diesbezügliche Material, von den schweiz. Konstruktionsfirmen dem Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Ver-

eins zur Bearbeitung seiner Arbeiten für die Landesausstellung zur Verfügung gestellt, ist für Drehstromturbogeneratoren, Synchronmaschinen kleinerer Tourenzahl als 1000/min. und Induktionsmotoren in nachfolgenden drei Diagrammen zusammengestellt.[1])

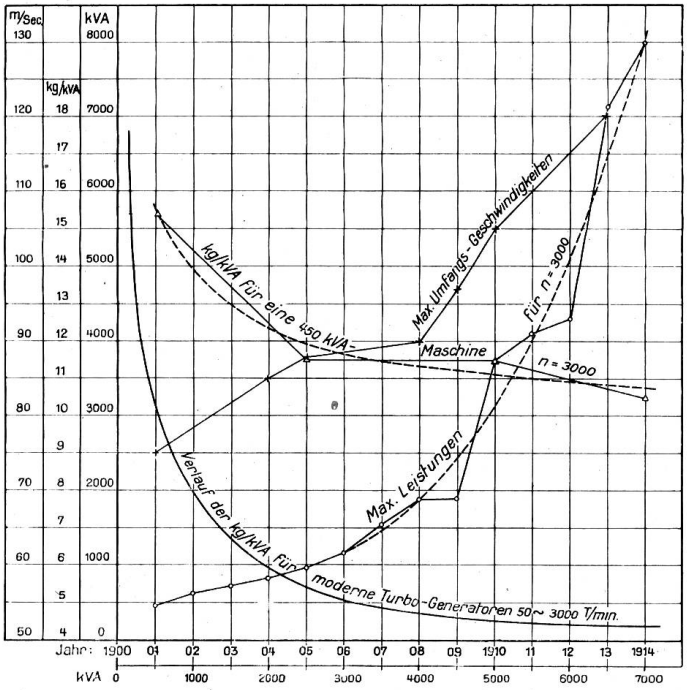

Fig. 1.

Entwicklung der Drehstromturbogeneratoren in der Schweiz.

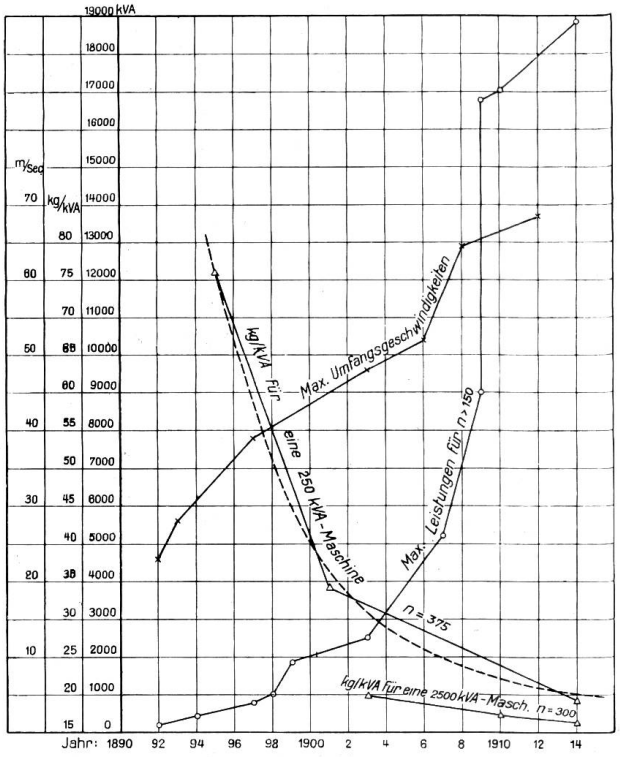

Fig. 2.

Entwicklung der Synchronmaschinen in der Schweiz.

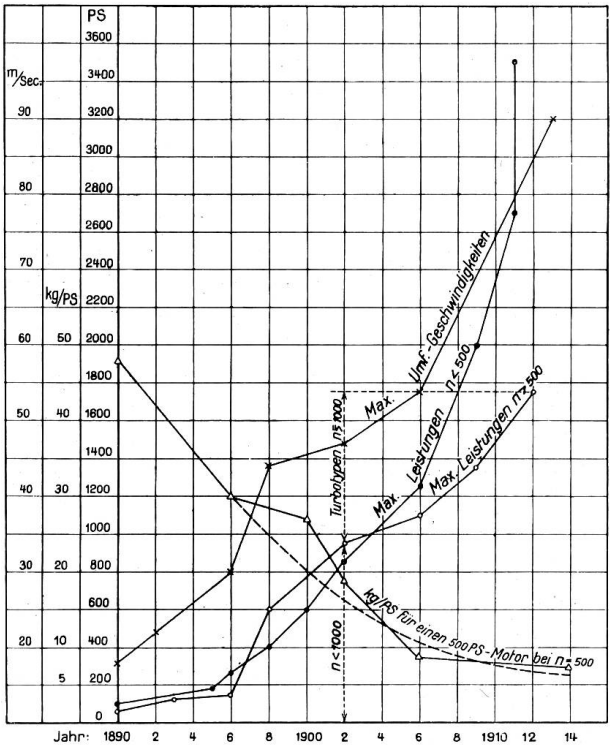

Fig. 3.

Entwicklung der Drehstrominduktionsmotoren in der Schweiz.

Die Kurven zeigen auf den ersten Blick, welche enorme Steigerung in der Leistung pro Maschineneinheit gerade in den letzten Jahren erzielt worden ist und deren Verlauf liesse vermuten, dass die Entwicklung in dieser Hinsicht einem noch beschleunigteren Tempo entgegenginge. Wie man weiss, wäre aber dieser Fortschritt nicht möglich geworden ohne die gleichzeitige bedeutende Steigerung der Beanspruchung des aktiven Baumaterials, wobei natürlich der Wirkungsgrad der Maschinen innerhalb wirtschaftlicher Grenzen bleiben musste, und hierin liegt das Bemerkenswerte unserer heutigen Konstruktionen. *Behn-Eschenburg* hat in seinem Bericht an den internationalen Kongress der Elektrotechniker in Turin 1912[2]) in klaren Worten das Programm entwickelt, das diesen Forderungen gerecht wurde. Wir wiederholen die wesentlichen Punkte:

Die Steigerung der *elektrischen und magnetischen Beanspruchung der Materialien*

[1]) Die Diagramme sind z. T. auch in den graphischen Darstellungen des S. E. V. an der Ausstellung zur Verwendung gelangt.

[2]) Siehe Auszug in der „E. T. Z." 1912, Heft 23.

unter Beibehaltung wirtschaftlicher Verlustwerte war möglich durch die Verwendung von Blechen mit geringer Verlustziffer, durch die grössere Zahl feinerer Nuten, die Unterteilung der induzierten Leiter, die Anordnung von Dämpferwicklungen und durch die Lamellierung der Polschuhe; vor allem aber durch die bedeutende *Steigerung der Ventilation.*

Die Steigerung *der mechanischen Beanspruchungen* erforderte Konstruktionen und Fabrikationsmethoden, die eine eingehende und gleichmässige Materialkontrolle ermöglichen. (Auflösung grösserer Rotationskörper in geschichtete Scheiben, deren Festigkeit einzeln geprüft werden kann.)

Die erhöhte *Beanspruchung der Isoliermaterialien* in Maschinenwicklungen bedingte eine weitere Ausgestaltung der Fabrikationsmethoden im Sinne grosser elektrischer und mechanischer Dauerhaftigkeit der Spulen.

Wir werden anlässlich der kurzen Beschreibung einiger der ausgestellten Maschinen diese Prinzipien wieder finden. Die praktischen Erfolge nun, die man bis heute in dieser Richtung zu verzeichnen hat, sind aus obigen Diagrammen herauszulesen. Ein Mass der Ausnützung der Baumaterialien gibt der Materialaufwand in kg pro Leistungseinheit. Dieser Wert ist nun je für ein und dieselbe Maschinengrösse für verschiedene Jahre aufgezeichnet worden. Wie ersichtlich, zeigen diese Zeitkurven des „spezifischen Gewichtes" für alle betrachteten Maschinengattungen den gleichen charakteristischen Verlauf. Sie scheinen alle asymptotisch einem Endwert zuzustreben, der natürlich je von Maschinenleistung und Umdrehungszahl abhängig ist. Der heutige flache Verlauf der Zeitkurve, besonders deutlich für die zweipoligen Drehstrom-Turbogeneratoren, lässt vermuten, dass unter Beibehalt der gleichen Konstruktionsprinzipien keine nennenswerte Steigerung der Materialbeanspruchung mehr zu erwarten ist. Die Entwicklung hätte also hierin gewissermassen ein Optimum erreicht. Aehnlich liegen bei Turbogeneratoren für $n = 3000$ die Verhältnisse bezgl. der Grösse der Maschinenleistung. Berechnet man für den heutigen Grad der Materialbeanspruchung das Gewicht pro Leistungseinheit für gleiche Maschinen verschiedener Leistung, so reihen sich die Werte nach einer hyperbolischen Kurve, die einem kleinsten Betrag des Materialaufwandes zustrebt. Die Kurve ist für moderne Drehstrom-Turbogeneratoren $n = 3000$ schweiz. Konstruktion in das Diagramm eingezeichnet. Ihr Verlauf zeigt, dass von etwa 7000 kVA Maschinenleistung an keine nennenswerte Verminderung des spez. Materialaufwandes mehr eintreten wird. Nachdem dieser Grenzwert mit der 8000 kVA-Maschine 1914 bereits erreicht ist, könnte man unter Beobachtung des oben Gesagten den Schluss ziehen, dass eine noch weitere Steigerung der Leistungen von zweipoligen Drehstrom-Turbogeneratoren für 50 Perioden keine erheblichen wirtschaftlichen Vorteile mehr bieten kann. Die Wahl der Maschinengrössen ist freilich auch noch durch andere Faktoren bedingt. Welche obere Grenze in der Leistung sich etwa durch die Konstruktion an sich ergeben würde, hängt von der weiteren Vervollkommnung des Konstruktionsmaterials ab; es ist vielleicht interessant, darauf hinzuweisen, dass die 1912 im erwähnten Bericht von Dr. Behn-Eschenburg ausgesprochenen mutmasslichen oberen Grenzen für zweipolige Drehstromturbotypen bereits überschritten sind.

Es ist unverkennbar, dass der Turbomaschinenbau befruchtend auf die übrigen Konstruktionsgebiete wirkte, indem sich die gemachten Erfahrungen und Konstruktionsprinzipien auch dort verwerten liessen. Die Vergleichung der Kurven max. Umfangsgeschwindigkeit lässt dies erkennen, indem wenige Jahre nach Aufnahme des Turbobaus eine merkliche Steigerung der Umfangsgeschwindigkeiten für Synchronmaschinen und Drehstrommotoren zu verzeichnen ist. Es mag daher genügen, bei unseren späteren Betrachtungen die Verwirklichung der allgemeinen Konstruktionsprinzipien an den zur Ausstellung gebrachten Turbogeneratoren zu zeigen, um für die übrigen Maschinengattungen hierauf verweisen zu können.

a. Generatoren für Wechselstrom und Gleichstrom.

Die Drehstromturbogeneratoren sind an der Landesausstellung durch zwei Ausführungen vertreten; es sind dies die oben erwähnte 8000 kVA-Maschine, $n = 3000{,}50 \sim$, 5250 Volt der Firma *Brown, Boveri & Co.,* und eine 7500 kVA-Maschine $n = 1500{,}50 \sim$,

6000 Volt der Firma *Maschinenfabrik Oerlikon.* Der innere Aufbau dieser Generatoren ist prinzipiell der gleiche, beide Maschinen sind durch den jetzt fast allgemein angewandten Zylinder-Rotor gekennzeichnet. Es soll nicht unerwähnt sein, dass dieser, zum ersten Mal von *Charles Brown* gebaut, in der Schweizer Industrie seinen Ursprung nahm. Für zweipolige Ausführungen grösserer Leistung ist der Rotor aus mit der Welle einem Stück herausgearbeitet. Dieses wird in zähflüssigem Zustande geschmiedet und ist daher frei von inneren Materialspannungen. Für Tourenzahlen von 1500 pro Min. und weniger wird der Rotor aus warm aufgezogenen Platten aufgebaut, was eine weitgehende Materialkontrolle ermöglicht. Die Führung der Kühlluft übernehmen wicklungsfreie Längsnuten mit radialen Austrittschlitzen. Die Flachkupferwicklungen werden von der Maschinenfabrik Oerlikon durchwegs mit Micanit isoliert; Brown-Boveri verwendet Glimmer zwischen den einzelnen Leitern, und Glimmer und Persspan gegen Eisen. Die Stahlkappen zur Abdeckung der Spulenköpfe bilden mit den metallenen Nutenkeilen eine Art Kurzschlusswicklung, die den Parallelbetrieb begünstigt und als Schutz gegen Rotor-Ueberspannungen bei Kurzschlüssen wirkt. Zur Beschränkung der Nutenoberschwingungen legt Brown-Boveri in die Nuten zwei Parallelkeile aus Stahl und Messing. Fig. 4 zeigt eine typische Ausführung eines Rotors der Firma Brown-Boveri & Cie. für 3000 Touren mit weggenommenen

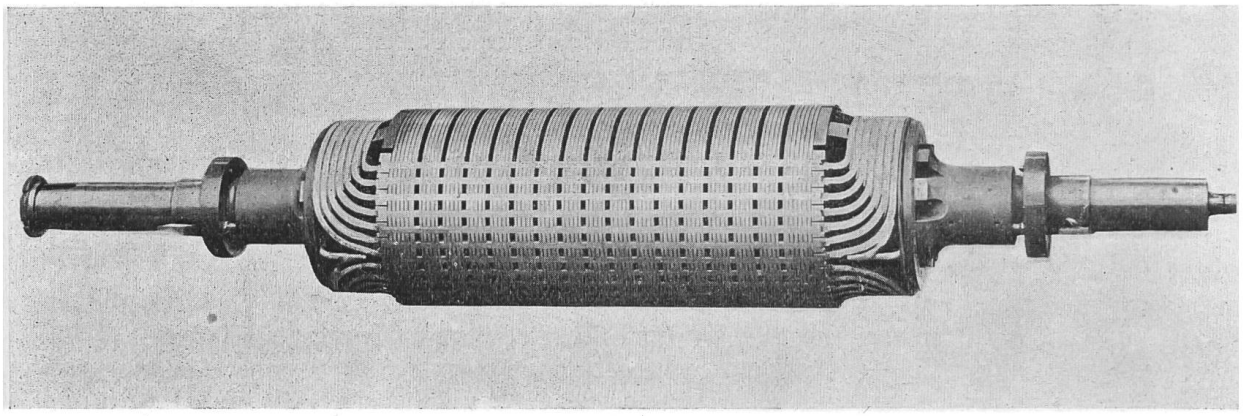

Fig. 4.

Rotor eines Turbogenerators n = 3000.

Brown, Boveri & Co.

Kappen. Neben den rein konstruktiven Vorteilen des Zylinderrotors gegenüber anderen Formen ist vor allem zu erwähnen, dass dieser dank der günstigen Feldverteilung und der grossen Nutenzahl des Stators einen nahezu vollkommen sinusförmigen Verlauf der EMK ermöglicht.

Ein wichtiges Moment bildet die Isolierung der Statorwicklung. Die Lehre der elektrischen Festigkeit hat die früher oft beobachteten Zerstörungen der Isolation von Maschinenwicklungen auf die Ueberanspruchung kleinster Luftschichten im Innern der Wicklung zurückgeführt, es werden daher heute die Spulen in Form ein- oder mehrleiteriger Kabel hergestellt, die durch Imprägnieren im Vakuumofen eine kompakte Isoliermasse ohne jegliche Luftzwischenräume aufweisen. Als Isoliermaterial kommt im übrigen wieder Micanit resp. Glimmer in Betracht. Ganz besondere Sorgfalt wird stets auf die kurzschlussichere Versteifung der Wicklungsköpfe gegen das Gehäuse gelegt. Die Eigenimpedanz unserer Turbogeneratoren genügt im allgemeinen, um den Spitzenwert des Kurzschlusstromes nicht über den 20fachen Betrag des normalen Betriebstroms steigen zu lassen, für welche Beanspruchung eine sichere Abstützung der Wicklungsköpfe möglich ist. Die vorzüglichen automatischen Regler, die uns heute zur Verfügung stehen, lassen übrigens die Eigenimpedanz bedeutend höher wählen, so dass dieser Wert noch weiter reduziert werden kann. Jedenfalls wird die Vorschaltung sogenannter Reaktanzspulen zum Zwecke der Reduktion des Kurzschlussstroms nicht erforderlich sein.

Neben der Rotorkonstruktion bietet die Lüftungsfrage dem Konstrukteur die meisten Schwierigkeiten. Das Zusammendrängen des aktiven Materiales auf einen kleinen Raum, eine Folge der hohen Tourenzahlen, verringert auch den Raum für die Kühlluft. Zudem bedingen die hohen Beanspruchungen des Materiales bei den beträchtlichen Leistungen bedeutende Luftmengen, deren möglichst verlustlose Führung grösster Aufmerksamkeit bedarf. Man beachte, dass z. B. für die 8000 kVA-Maschine bei Vollast nach eingetretenem Wärmegleichgewicht pro Sek. rund 250 kW durch die Kühlluft abgeführt werden müssen, wozu eine Frischluftmenge von ca. 11 m^3/Sek. erforderlich sein wird. Um hierbei die Verluste und Eigenerwärmung der Luft möglichst zu beschränken, hat die Formgebung der Kühlluft-Ventilatoren nach ganz bestimmten Gesichtspunkten zu erfolgen. Fig. 5 zeigt als Beispiel das System der Luftführungskanäle im Stator eines Oerlikon-Turbogenerators.

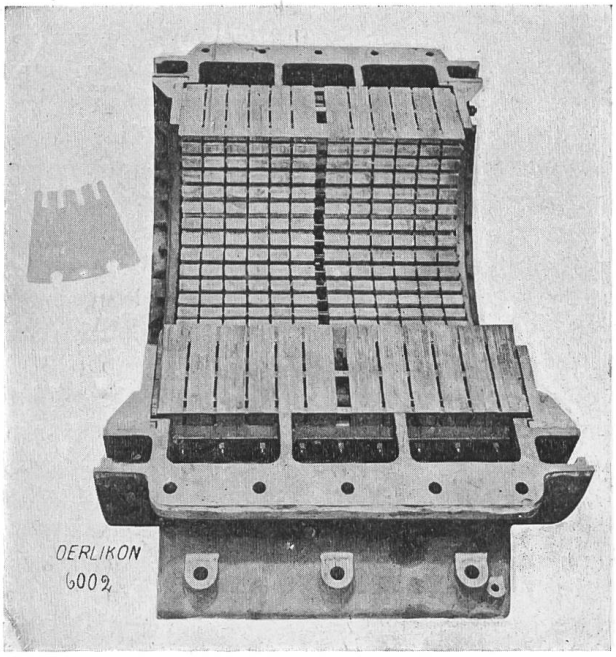

Fig. 5.
Luftführung im Stator eines Turbogenerators.
Maschinenfabrik Oerlikon.

Die Turbomaschinen für Gleichstrom sind nicht an der Ausstellung vertreten, mit Unrecht, denn die allgemeine Entwicklung moderner Konstruktionen ist auch in diesem Zweige von der Schweiz aus beträchtlich gefördert worden. Der hohen Leistungssteigerung der Einheiten stehen hier noch weitaus schwierigere Probleme entgegen als im Wechselstromturbobau. Vor allem ist der Kommutator, der einerseits bezgl. betriebsicherer Kommutierung und andererseits mit Hinsicht auf die Forderung ausgiebiger Kühlung und die Massnahmen gegen die Wärmeausdehnung der Kollektorlamellen eine lange Reihe mühsam gewonnener Erfahrungen benötigte. Gegenwärtig sind in der Schweiz Einheiten im Bau bis zu 2000 kW (Brown, Boveri & Co.), während die grösste, bisher überhaupt ausgeführte Leistung wohl kaum 3000 kW bei 1500 Umdrehungen übersteigt.[3])

Die Synchronmaschinen für Tourenzahlen kleiner als 1000/min. haben ihre Förderung hauptsächlich durch den bedeutenden Ausbau der hydraulischen Anlagen erfahren, indem Hand in Hand mit der Steigerung der Einheitsleistung eine stete Vergrösserung der spezifischen Umdrehungszahl der Turbinen ging. Die Anforderungen, die der Turbinenbauer in den letzten Jahren an *schnelllaufende Wechselstromerzeuger* stellte, können ungefähr durch folgende Zusammenstellung gekennzeichnet werden:

Maximale Leistungen: kVA	Bei einer maximalen Betriebstourenzahl von n/min.	Mögliche Durchbrenntourenzahl im Mittel n/min.
18850	250	425
13000	375	650
8500	500	800
5500	600	1000
3000	750	1250
2500	1000	1500

Die Tabelle soll nur ungefähre Grenzwerte wiedergeben, sie genügt um darauf hinzuweisen, dass an die allgemein verwendete Konstruktion dieser Generatoren mit rotierendem Innenpolrad schon ganz bedeutende Anspüche gestellt werden. Das folgt auch aus dem Diagramm Fig. 2, wo die Kurve der maximalen Umfangsgeschwindigkeiten für 1912

[3]) Siehe Streckers Jahrbuch der Elektrotechnik 1912.

einen Wert von 68.5 m/Sek. ergibt, rechnen wir mit einer Tourenerhöhung beim Durchbrennen der Turbine gleich der 1,7 fachen normalen Tourenzahl, so könnte in unserem Falle eine vorübergehende Umfangsgeschwindigkeit von rund 115 m/Sek. zu erwarten sein. Die daraus resultierenden Beanspruchungen verlangen wie bei den Turbomaschienen sorgfältigste Konstruktion und Materialprüfung für die Magneträder. So werden denn die Pole für rasch laufende Rotoren auf sogenannte freifliegende Kränze aufgesetzt, die vom Armkreuz nur durch Keile mitgenommen werden. Auf diese Weise können die Fliehkräfte der Polkörper ohne Biegungsbeanspruchungen der Arme vom Kranz allein aufgenommen werden. Der Kranz wird zum Zwecke gleichmässiger Materialkontrolle aus aneinander gereihten Platten gebildet. Eine solche Konstruktion ist von *Brown, Boveri & Co.* in Bern ausgestellt. Der Drehstrom-Generator, für das Kallnachwerk bestimmt, ist für 1800—1980 kW, 16 000 bis 17 600 Volt, 300 Ampère pro Phase bei 300 Umdrehungen/min. und 50 $\sim$ gebaut. Die Pole sitzen in schwalbenschwanzförmigen Nuten des freifliegenden Kranzes, der aus 10 aneinander gereihten Platten besteht, diese sind auf einem Stahlgusskranz von 2120 m/m Durchmesser warm aufgezogen und werden durch Rundkeile mitgenommen. Die Umfangsgeschwindigkeit beträgt bei einem Polraddurchmesser von 3250 m/m rund 52 m/Sek. Um über die auftretenden Beanspruchungen durch die Fliehkraft etwas zu orientieren, sei bemerkt, dass hierbei der Kranz pro Pol eine radiale Beanspruchung von rund 43 500 kg bei $n = 300$ zu erleiden hat; dieser Wert kann beim Durchbrennen der Turbine auf 125000 kg und mehr anwachsen.

Solche Konstruktionen sind übrigens von unseren Schweizer Firmen schon vor einigen Jahren in Anwendung gekommen. Wir erinnern z. B. an die Generatoren im Albulawerk der Stadt Zürich, von der *Maschinenfabrik Oerlikon* geliefert. Die Maschinen (2500 kVA, 600 Umdreh./min.) zeigen ein nach ähnlichem Prinzip aufgebautes Magnetrad, die Umfangsgeschwindigkeit beträgt rund 55 m/Sek. bei einem Polrad-Durchmesser von 1580 mm.

Eine besondere Pflege hat die Synchronmaschine im *Einphasen-Bahngenerator* erfahren. Der Einphasenbahnbetrieb niedriger Periodenzahl stellt in elektrischer Hinsicht schwere Anforderungen an die Konstruktion. Die durch die kleine Periodenzahl bedingten grossen Polteilungen und die der Einphasenmaschine an sich eigentümlichen Verhältnisse machen solche Generatoren gegen Kurzschlüsse sehr empfindlich. (Grosser Spitzenwert des Kurzschlusstromes bei sehr hohen Ueberspannungen im Erregerkreis.) Man ist daher gezwungen, wohl ausgebildete Dämpferwicklungen anzuordnen, um der Betriebssicherheit gerecht zu werden. Als interessante Vertreter solcher Maschinen seien die Einphasenbahngeneratoren für die Lötschbergbahn im Kraftwerk Kandergrund erwähnt (von Brown, Boveri geliefert), deren Dämpferwicklung in Nuten der Polschuhe gelegt ist. Die Generatoren sind für eine Leistung von 2700 kVA bei $n = 300$ und 15 Perioden, 16000—17600 Volt gebaut.

Allgemein sei noch bemerkt, dass für Synchronmaschinen der besprochenen Type bei grossen Leistungen die Ventilation eine ebenso wichtige Rolle spielt wie für die Turbogeneratoren. Die Gehäuse werden oft ganz geschlossen ausgeführt, wobei im Fundament besondere Kanäle für die Frischluft und die warme Luft vorgesehen sind. Gerade bei hydroelektrischen Kraftanlagen kann der bedeutende Wärmeinhalt der Abluft zur Heizung der ausgedehnten Schalträume willkommen sein.

Die Langsamläufer sind in den letzten Jahren wenig gefördert worden, doch dürfte in allernächster Zeit hier ein neuer Impuls einsetzen, nachdem es den Turbinenkonstrukteuren gelungen ist, die mehrfachen horizontalaxigen Francisturbinen für kleine Gefälle durch eine vertikalaxige Konstruktion mit *einem* Laufrad grosser Schluckfähigkeit zu ersetzen. Die dabei erzielbaren Umdrehungszahlen sind allerdings niedrig, doch werden Einheiten sehr grosser Leistung in Frage kommen.

Von den *Gleichstrommaschinen* mittlerer und kleiner Umdrehungszahl ist, soweit solche an der Ausstellung vertreten sind, nicht viel Neues zu berichten. Die kleineren Typen bis 400 kW und mehr sind schon seit etlichen Jahren für normale Umdrehungszahlen serienweise durchkonstruiert und dürften daher in ihrer Konstruktion wenig Aenderung erfahren haben. Nachdem durch den Einbau der Wendepole eine zuverlässige Kommutierung für alle in Betracht kommenden Belastungsarten gesichert war, wurde das Hauptgewicht

auf die konstruktive Anpassung an die verschiedenen Betriebsbedingungen gelegt. Es entstanden so für *motorische Zwecke* die ganz geschlossenen Typen, die tropfwassergeschützten und die schlagwettersicheren Ausführungen. Insoweit hierbei vollständig geschlossene Gehäuse erforderlich werden, verlangt die möglichst verlustlose Ventilation besonderer Beachtung.

Bemerkenswert ist die von *Brown, Boveri & Co.* auf den Markt gebrachte Spezialkonstruktion ihrer Erregermaschinen, betreffend die Vergrösserung des Regulierbereiches. Das Prinzip ist schon früher bekannt gegeben worden [4]) und besteht kurz darin, dass einzelne Blechgruppen der lamellierten Pole weiter in den Luftspalt hineinragen als die Nachbarbleche, derart, dass schon bei geringem Erregerfluss erstere gesättigt sind. Dadurch kann erreicht werden, dass die Charakteristik der Maschine schon vom Ursprung an gekrümmt verläuft und somit der Regulierbereich vergrössert wird. Siehe Fig. 6. Es ist nach den Versuchen der Firma zu erwarten, dass bei zweckmässiger Anordnung des Nebenschlussregulierwiderstandes für Generatoren mit direkt angebauten Erregern der Hauptstromregulierwiderstand in Wegfall kommen kann, was für grosse Einheiten einen nicht geringen wirtschaftlichen Vorteil bedeutet.

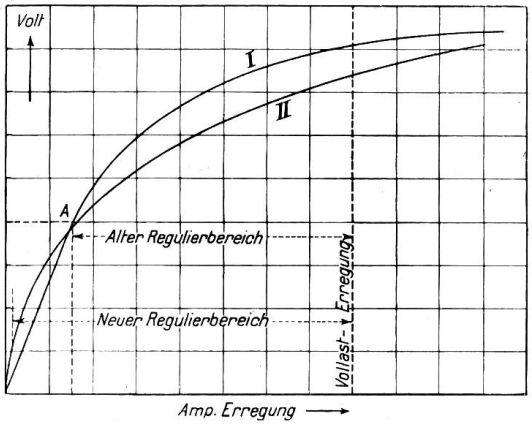

Fig. 6.
Vergrösserung des Regulierbereichs für Erregermaschinen. Brown, Boveri & Co.

Leider konnte ein Spezialgebiet des Dynamobaues, die *Gleichstrommaschinen hoher Stromstärke für elektrochemische Zwecke*, auch nicht zur Ausstellung herangezogen werden und doch sind hier gerade die bedeutendsten Maschinen aus einer Schweizer Werkstätte, der *Maschinenfabrik Oerlikon* hervorgegangen. Infolge der hohen, beim chemischen Betriebe erforderlichen Stromstärken bietet die Konstruktion von Anker und Kollektor manche Schwierigkeiten, zumal bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten. Am bemerkenswertesten sind die letzter Jahre von der Firma für die Aluminiumindustrie A.-G. gelieferten 3000 kW Maschinen, die für die hohe Tourenzahl von 300/min. gebaut sind. Der Kollektor muss während einer halben Stunde bis zu 11 000 Ampère abgeben können, wobei seine normale Umfangsgeschwindigkeit 22 m/Sek. beträgt und beim Durchbrennen der Turbine bis zu 40 m/Sek. steigen kann. [5])

Zum Schlusse sei noch der *Gleichstromserienmaschinen*, Konstruktion *Thury* gedacht, die von der *Compagnie de l'Industrie électrique et mécanique Genf*, eine stete Förderung erfahren. Wenn schon das Thury'sche System der Kraftübertragung mit konstanter Stromstärke aus naheliegenden Gründen nicht allgemein Verwendung finden kann, so liegen doch Fälle vor, wo dieses mit Vorteil gegenüber Drehstromübertragungen in Konkurrenz tritt. Es sei hier an die Kraftübertragungsanlage Moutiers-Lyon erinnert, die bei voller Leistung mit rund 100 000 Volt Betriebsspannung arbeitet. Die von obiger Firma gelieferten 2000 PS-Aggregate der Hauptzentrale bestehen aus Doppel-Dynamos zu 2 Kollektoren, die je 4560 Volt an die Bürsten abgeben.

b. Die Wechselstrom-Motoren.

Die grosse Verbreitung des *Induktionsmotors* für Betriebe mit konstanter oder mechanisch regulierbarer Umdrehungszahl kommt auch an der Landesausstellung zum Ausdruck. Wie weit heute seine Theorie, Berechnung und Konstruktion vertieft ist, lässt die aus dem Diagramm in Fig. 4 herauszulesende schon sehr raffinierte Ausnützung seiner Baumaterialien erkennen. Charakteristisch für die Verbreitung ist die weitgehende Normalisierung in Anpassung an alle möglichen Betriebsarten als horizontale, vertikale, offene, tropfwassergeschützte und ventiliert gekapselte Typen für direkte Kuppelung, Riemen- und Zahnrad- oder Friktions-

[4]) Siehe Mitteilung von Amsler, Ld. Electrician vol. 69, pag. 835.
[5]) Siehe auch „E. T. Z." 1912, pag. 529.

Antrieb. Nachdem all diese Konstruktionen sozusagen Gemeingut geworden sind, ist es interessant, die verschiedenen Ausführungen der einzelnen Firmen an der Ausstellung auf die mehr oder weniger glückliche Hand des Konstrukteurs hin zu vergleichen.

Als bemerkenswert sind hervorzuheben die *Durchzugstypen* der *Maschinenfabrik Oerlikon* mit im Rotor untergebrachtem Anlasswiderstand, wobei der ganze Anlassvorgang samt Bürstenabhebung und Kurzschliessung des Rotors durch ein am Motorgehäuse angebrachtes Handrad vollzogen werden kann. Dem gleichen Zwecke, Vereinfachung des Betriebes, dient eine Neuerung der Firma Brown, Boveri & Co.: *Asynchronmotoren mit selbsttätiger Anlassvorrichtung*. Die Motoren erhalten eine im Stator untergebrachte Hilfswicklung, die nach dem Anlassen selbsttätig umgeschaltet wird. Es sind daher keine Anlasswiderstände erforderlich. Solche Drehstrommotoren entwickeln bei 1—2fachem Normalstrom das 1 bis 1,5fache des normalen Drehmomentes; Einphasenmotoren bei einem Anlaufstrom gleich dem normalen etwa 30 % des normalen Drehmomentes. Der Einphasenmotor normaler Konstruktion würde für dieses Anzugsmoment als Anlaufstrom den 2,5fachen Wert des Normalstromes benötigen. Diese Motoren vereinigen die einfache Bedienung der Kurzschlussmotoren mit den günstigen Anlaufverhältnissen der Ausführungen mit gewickeltem Anker.

Die Motoren mit regulierbarer Umdrehungszahl stehen ihrer Aktualität gemäss zuvorderst im Interesse des Konstrukteurs und die Ausstellung zeigt, dass es wieder die Schweizer Industrie ist, die ihnen eine namhafte Förderung hat angedeihen lassen. Da ist vorerst das Problem, den altbewährten Drehstrominduktionsmotor verlustlos regelbar zu machen. Die *Maschinenfabrik Oerlikon* variiert für industrielle Betriebe im *Stufenmotor* die Polzahlen des Motors und erreicht damit entsprechend der jeweiligen Polzahl bestimmte Geschwindigkeitsstufen. Für verhältnismässig nahe beieinander liegende Tourenzahlen, wie dies z. B. für Grubenventilatoren erforderlich ist, verwendet die Firma den *Kaskaden-Stufenmotor:* ein Hauptmotor in Kaskadenschaltung mit einem auf gleicher Welle sitzenden polumschaltbaren Hilfsmotor mit Kurzschlussanker. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die von der Firma *Brown, Boveri & Co.* neu gelieferte Simplonlokomotive, die auch zur Ausstellung gelangte, das gleiche Regulierprinzip aufweist. Ein weiterer neuester Fortschritt wurde von der *Maschinenfabrik Oerlikon* durch den Bau eines *Doppelrotor-Motors mit Kurzschlussanker und 18 Geschwindigkeitsstufen* erreicht. Die Maschine (300 PS bei 3500 Umdrehungen und 50 ~) ist an der Ausstellung im Betrieb zu sehen. Der Stator des Hauptmotors wird durch einen zweiten koaxialen Motor mit veränderlicher Geschwindigkeit gleich oder entgegengesetzt zur Drehrichtung des Hauptrotors bewegt, wobei beide Motoren polumschaltbar sind. Auf diese Weise sind 18 Geschwindigkeitsstufen für den Hauptrotor einstellbar, wobei deren 4 über der synchronen Tourenzahl liegen. Fig. 7 zeigt einen Querschnitt durch die Maschine, wobei bedeuten:

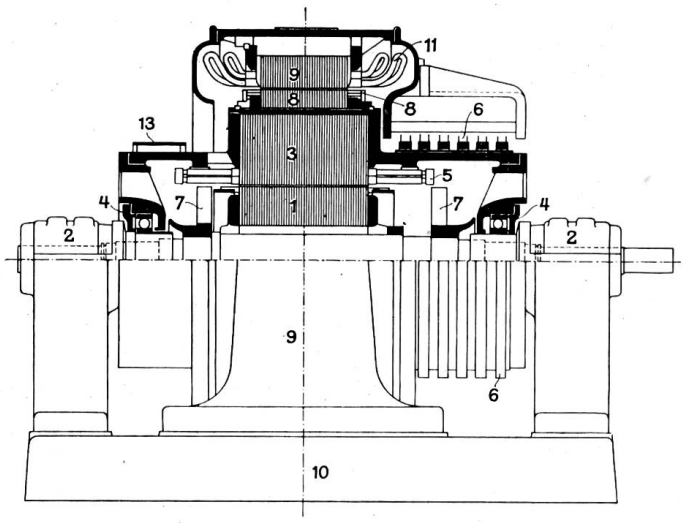

Fig. 7.
Typenskizze des Doppelrotormotors der Maschinenfabrik Oerlikon.
(Bildstock der Schweiz. Bauzeitung).

1. Kurzschlussanker des Hauptmotors.
3. Primärteil (Stator) des Hauptmotors.
8. Kurzschlussanker des Hilfsmotors.
9. Stator des Hilfsmotors.

Bezüglich der näheren Beschreibung des Motors sei auf die Mitteilung von *Hoeffleur*, Oerlikon, „Schweiz. Bauzeitung" vom 23. Mai 1914 verwiesen.

Die Firma *Brown, Boveri & Co.* benutzt zur Regelung des Drehstrominduktionsmotors auch eine Kaskadenschaltung, nur setzt sie an Stelle des oben erwähnten Stufenmotors einen Kollektormotor, der die Schlupfenergie elektrisch oder mechanisch wieder

nutzbar macht. Die Kombination ist unter dem Namen *Regulieraggregat* bekannt. Ein Vorteil dieses Systems liegt in der Möglichkeit der Phasenkompensation.

Die neuesten Fortschritte der direkt (verlustlos) regulierbaren Wechselstrommotoren, der *Kollektor-Motoren*, treten an der Ausstellung in vollem Umfange zu Tage. Unter den *Einphasenkollektormotoren* finden wir für Kleinmotoren den Repulsionsmotor vertreten, seitens der Firma *Brown, Boveri & Co.* die bekannte besondere Ausführung in Dérischaltung. Diese ist auch mit sinngemässer Anpassung an den Verwendungszweck für Traktionszwecke zur Verwendung gelangt, während hier die *Maschinenfabrik Oerlikon* eine besondere Form des Reihenschlussmotors heranzieht. Die Seriencharakteristik dieser Motortypen hat ihnen eine Reihe spezieller Anwendungsgebiete eröffnet, die alle an der Ausstellung zur Anschauung gebracht sind. Obenan steht *die elektrische Traktion mit Einphasenwechselstrom.* Durch eine lange Reihe mühsam errungener Erfahrungen sind hier Spezialkonstruktionen geschaffen worden, die den Motor für die schwersten Anforderungen des Vollbahnbetriebes geeignet machen. Aehnlich fordern auch die übrigen Anwendungsgebiete Anpassung an spezielle Betriebsbedingungen. So verlangte der Betrieb der *Ringspinnmaschinen* besondere Konstruktionen zur automatischen Tourenverstellung, d. i. Bürstenverschiebung, die *Kranbetriebe* Vorrichtungen zur Steuerung der Bürstenbrücke von unten oder vom Führerstand aus. Ein von der Firma *Brown, Boveri & Co.* weit gefördertes Anwendungsgebiet ist endlich die *elektrische Förderanlage,* wo neben dem Gleichstromantrieb in Leonardschaltung von der Firma viele Anlagen für Drehstrombetrieb mittels *Doppelkollektormotor* gebaut wurden. Dieser besteht im Prinzip aus zwei Einphasenkollektormotoren, die unmittelbar oder über Einphasentransformatoren nach Scott'scher Schaltung an das Drehstromnetz angeschlossen werden. Den hohen Anforderungen an die Manövrierfähigkeit des Motors wird in betriebssicherer Weise durch das System der Bürstenverschiebung unter Verwendung zweier Bürstensätze (Schaltung Déri) entsprochen. Die zum kompletten Förderaggregat erforderlichen Nebenapparate sind in übersichtlicher Anordnung neben dem Fördermotor an der Ausstellung aufgestellt. An Stelle der Seiltrommeln der Fördermaschine arbeitet eine Bremsscheibe. Das Aggregat, normal 200 PS, max. 400 PS, ist für eine Nutzlast von 2000 kg bei 12 m Fördergeschwindigkeit vorgesehen. Die ganze Anlage, die im Betrieb zu sehen ist, gibt den Eindruck grösster Manöverierfähigkeit und Betriebssicherheit wieder, die den Förderanlagen der Firma vom Auslande nachgerühmt werden.

Alle diese Spezialkonstruktionen des Einphasenkollektormotors wären wohl einer eingehenden Behandlung würdig, doch kann diese, wie eingangs schon erwähnt, des grossen noch verbleibenden Stoffes wegen nicht in diesen Bericht aufgenommen werden.

Der *Drehstromkollektormotor* kommt von den genannten zwei Firmen als Motor mit Seriencharakteristik auf den Markt. Sein vorzugsweises Anwendungsgebiet findet er vorerst als Kleinmotor für Ringspinn- und Zwirnmaschinen und ähnliche Antriebe. An der Ausstellung sind eine grössere Zahl solcher Motoren vertreten. Für die von *Brown, Boveri & Co.* gebauten Regulieraggregate sind freilich schon Spezialkonstruktionen bis 500 kVA in Anwendung gekommen. Die Schwierigkeiten der Kommutation bedingen allgemein relativ niedrige Kollektorspannungen, man ist daher bei höheren Netzspannungen gezwungen, zwischen Ständer und Läufer einen Transformator einzuschalten, was die Anlage kompliziert, dies mag einer der Gründe sein, warum sich der Dreiphasenkollektormotor nur langsam einbürgert.

c. Die Vorrichtungen zur Verbesserung des Leistungsfaktors.

Von den zwei Mitteln zur Verbesserung des Leistungsfaktors in Stromverteilungsanlagen:

1. Aufstellung von Maschinen im Kraftwerk (oder Unterwerken), die die Lieferung des wattlosen Energiebedarfs des ganzen Netzes (oder Teile desselben) übernehmen, und

2. Aufstellung von Maschinen in Verbindung mit den Motoren, die sogenannten Kompensationseinrichtungen im engeren Sinne, die den Magnetisierungsstrom der einzelnen Motoren an Ort und Stelle liefern, stehen heute hauptsächlich die letzteren im Interesse

der Elektrizitätsindustrie. An der Ausstellung sind zwei verschiedene Systeme zu sehen: der *Phasenkompensator Bauart Brown, Boveri & Co.* und der *Kapp'sche Vibrator* von der *Maschinenfabrik Oerlikon* hergestellt. Bekanntlich kommen für die zentrale Lieferung der wattlosen Energie des Netzes Synchronmotoren und Einankerumformer in Frage. Wann das eine oder das andere der oben erwähnten Kompensationsmittel zur Anwendung gelangen soll, hängt von der Disposition der Anlage und von wirtschaftlichen Erwägungen ab. Der Verfasser hat diese Frage anlässlich der Beschreibung des Phasenkompensators von Brown, Boveri & Co. im „Bulletin" No. 9, 1913, etwas erörtert. Dass durch die Einführung der direkt kompensierten Motoren das Uebel an der Wurzel gefasst wird, steht ausser Zweifel, so lange jedoch die verkaufte Energie nicht nach den abgegebenen kVAh berechnet wird, liegt für den Abonnenten keine direkte Veranlassung zur Anschaffung von Phasenkompensatoren vor und damit für den Stromproduzenten kein sicherer Vorteil bezüglich Verbesserung des Netzleistungsfaktors. Für Werke mit ausgedehnten Primärleitungen dürfte daher die zentralisierte Kompensationsanlage immer noch in Frage kommen. Der Gewinn liegt in der vollen Ausnützung der Generatoren- und Verteilanlage. Er kann aber nur recht zu Tage treten, wenn die Verbesserung des Leistungsfaktors den tatsächlichen Betriebsverhältnissen angepasst ist, d. h. wenn die Synchronmotoren durch eine automatische Steuerung nach Massgabe der jeweiligen Belastung kompensieren. Solche Vorrichtungen sind mit unserem Reglermaterial durchaus möglich, doch sind sie nach Kenntnis des Verfassers in Europa noch nicht zur Ausführung gelangt.

Zurückkommend zu den direkt kompensierenden Vorrichtungen sei noch des *Kapp'schen Vibrators* gedacht, der Apparat ist in der Bauart der *Maschinenfabrik Oerlikon* an der Ausstellung zu sehen. Allgemein besteht das Prinzip all dieser Apparate darin, dass sie in den Rotorstromkreis des Motors eingefügt, dem Rotor eine dem Rotorstrom um 90° voreilende EMK aufdrücken. Kapp lässt diese EMK in einem Gleichstromanker erzeugen, der, vom Rotorstrom durchflossen, in einem fremd erregten feststehenden Gleichstromfeld mit der Periodenzahl des Rotorstromes frei schwingt. Entsprechend den drei Phasen sind drei unabhängige in Stern oder Dreieck geschaltete Anker vorgesehen, die vertikalaxig im gleichen Felde angeordnet sind. Fig. 8 gibt das schematische Schaltungsbild; Fig. 9 zeigt das äussere des Apparates, wie er von der Maschinenfabrik Oerlikon gebaut wird. Bezüglich

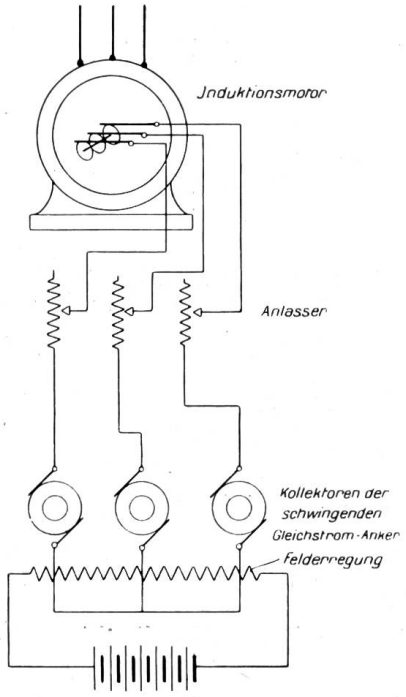

Fig. 8.

Schaltung des Kapp'schen Vibrators der Maschinenfabrik Oerlikon.

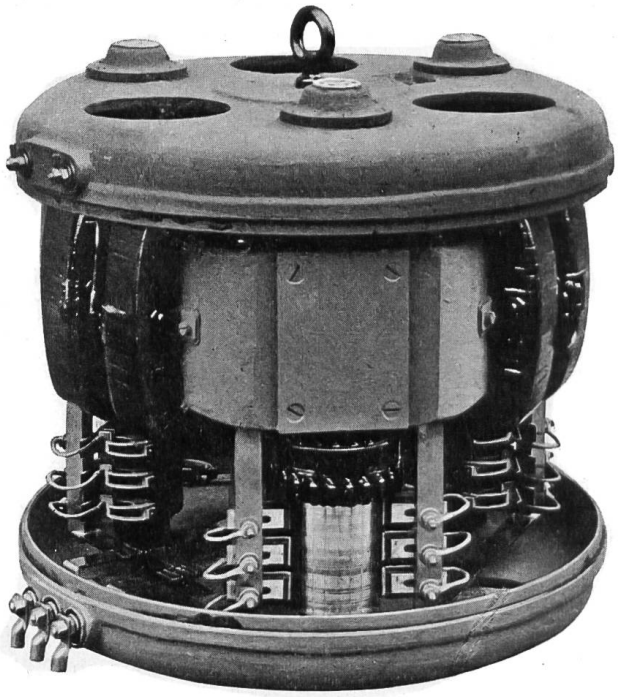

Fig. 9.

Kapp'scher Vibrator, abgedeckt, von der Maschinenfabrik Oerlikon gebaut.

der Theorie des Apparates sei auf den Aufsatz von Kapp (E. T. Z. 1913, Heft 33) verwiesen. In seinen praktischen Resultaten scheint der Kapp'sche Vibrator dem Phasenkompensator von Brown, Boveri & Co. ebenbürtig zu sein. Auch er hält den Leistungsfaktor von zirka 35% Last an bis über Vollast selbsttätig auf $\cos \varphi = 1$. Ein Nachteil dürfte in der erforderlichen Gleichstromquelle liegen.

d. Umformer und Gleichrichter.

Von den Umformern, Spezialausführungen abgesehen, bietet heute der *Einanker-Umformer* das meiste Interesse. Infolge seiner Vorteile bezüglich Gewicht pro Leistungseinheit, Wirkungsgrad und Raumbedarf, der Motorgeneratorgruppe gegenüber, hat er trotz grösserer Konstruktions-Schwierigkeiten letztere in der max. Einheitsleistung bereits überholt. So sind in letzter Zeit von den Amerikanern solche Maschinen für 7500 kW und mehr Gleichstromleistung gebaut worden. Auch bei uns bringt man neuerdings den Einankerumformern grosses Interesse entgegen. Die Erfahrungen im Bau dieser Umformer sind heute so weit gediehen, dass man selbst für hohe Leistungen und Spannungen absolut betriebssichere Ausführungen zu bauen versteht, gewisse Schwierigkeiten stehen noch der Verwendung hoher Tourenzahlen entgegen. In seinem Beitrag zum Jahrbuch der Elektrotechnik 1912 fordert *Breslauer* zum Bau der Turbotypen auf und gibt Beispiele von ausgeführten Umformern mit wirtschaftlich zu kleiner Umdrehungszahl. Dass man hierin wieder einen Schritt weiter gekommen ist, zeigen die von *Brown, Boveri & Co.* für die *Gleichstrombahn Steffisburg-Thun-Interlaken* gebauten Einankerumformer, die bei 1200 Umdrehungen/Min. und 1100 Volt 400 kW auf der Gleichstromseite abgeben. Die Umfangsgeschwindigkeiten dieser Maschinen fallen schon in den Bereich der Turbodynamos, für den Kollektor beträgt diese rund 45 m./Sek. Ein ähnlicher Einankerumformer kleinerer Leistung (300 kW und 275 Volt, auf der Gleichstromseite bei $n = 1000$) ist von der gleichen Firma zur Ausstellung gebracht worden.

In den letzten Jahren ist eine neue Art Umformer für Starkstrombetriebe im *Gross-Quecksilber-Gleichrichter* entstanden. Seine Wirkungsweise ist wie man weiss, dadurch gekennzeichnet, dass er im Wechselstromkreise dem Stromdurchgang in der einen Richtung einen unendlich hohen Widerstand entgegensetzt, während in der anderen Richtung eine konstante, von der Belastung und Betriebsspannung unabhängige Gegenspannung von 10—20 Volt zu überbrücken ist. Durch diese ist auch der Wirkungsgrad des Gleichrichters gegeben und damit gleichzeitig sein Vorteil charakterisiert, nämlich der bei höheren Betriebsspannungen sich einstellende hohe Nutzeffekt, der nahezu unabhängig vom Belastungsfaktor ist.

Die Firma *Brown, Boveri & Cie.* hat in Bern einen solchen Apparat für 150 kW, 500 Volt ausgestellt. Die von ihr gebaute Konstruktion ist nach den Patenten von *Prof. Hartmann* ausgeführt und soll im nachfolgenden etwas näher beschrieben werden.[6]) Der Aufbau dieses Grossgleichrichters geht aus Fig. 10 hervor. Das gesamte Vakuumgefäss besteht im wesentlichen aus einem unten weiten Dampfraum und einem etwas engeren oberen Kondensationsraum, beide hergestellt aus gewalzten Stahlzylindern. Boden und oberster Deckel sind angeschweisst, während das massive ringförmige Verbindungsstück R an den Kondensationszylinder angeschweisst mit dem Dampfzylinder durch eine leicht lösbare Quecksilberdichtung verbunden ist. Dieser Ring trägt die im Kreis angeordneten Anoden, während die Kathode, in der Regel Quecksilber, durch einen trichterförmigen Chamottekör-

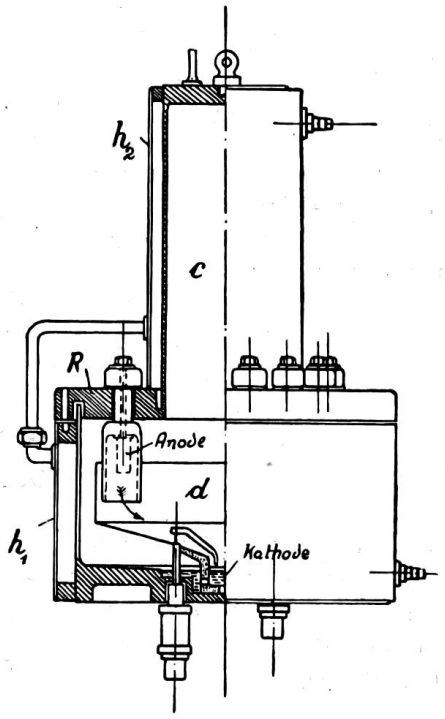

Fig. 10.
Querschnitt eines Grossgleichrichters nach Patent Prof. Hartmann
Fabrikat Brown, Boveri & Co.

[6]) Nach Mitteilungen von Brown, Boveri & Cie.

per eingefasst wird. Die Zündung des Lichtbogens beim Inbetriebsetzen erfolgt durch elektromagnetisch gesteuerte Hilfsanoden. Die Zahl der Arbeitsanoden beträgt je nach Leistung 6,12 oder 18; sie werden mit und ohne Wasserkühlung ausgeführt, wobei die maximal zulässige Belastung pro Anode etwa 100 Ampère bezw. 26 Ampère beträgt. Zur Zeit können Spannungen von 60 bis ca. 500 Volt auf der Gleichstromseite erzielt werden. Es ist zu hoffen, dass die Apparate in nächster Zeit auch für höhere Spannungen gebaut werden können, da der Gleichrichter seiner grossen momentanen Unbelastbarkeit wegen in Parallelschaltung mit Batterien sehr wohl für die Gleichstromtraktion in Frage kommen könnte. Sein Vorteil gegenüber rotierenden Umformern liegt, wie schon gesagt, vor allem im hohen Wirkungsgrad; die Firma gibt für diesen, gerechnet von Niederspannungsanschluss des Transformators bis Gleichstromsammelschienen, folgende Werte an:

Verbrauchsspannung	Wirkungsgrad
60 Volt	75 %
110 „	84 %
220 „	90,5 %
440 „	94,6 %
550 „	95,3 %
1000 „	96,2 %

Nach Mitteilungen der Firma sollen sich diese Werte zwischen $^1/_4$ und $^5/_4$ Vollast nur um rund $1 \div 2$ % ändern.

Im übrigen sei noch auf die von *Epstein* [7]) veröffentlichten Betriebsmessungen an einer Einphasengleichrichteranlage von 240 Volt und 360 Amp. verwiesen. Bis heute sind Apparate mit Leistungen bis 500 kW in Ausführung.

c. *Transformatoren.*

Die technische Entwicklung im Bau von Transformatoren zeitigt naturgemäss die gleiche Erscheinung der gesteigerten Materialausnützung. Welcher Anteil hierbei der Verbesserung der Eisenbleche und der vergrösserten Beanspruchung derselben zufällt, zeigen am besten die Konstruktionsdaten von Transformatoren kleiner Leistung, die auch heute noch ohne künstliche Kühlung gebaut werden. Das Gewicht pro Leistungseinheit betrug z. B. im Mittel für Drehstromtransformatoren von zirka 50 kVA (Ausführung mit natürlicher Luftkühlung [8]):

im Jahre	kg pro kVA
1890	35
1906	20,5
1909	9,6
1911	8,3

Dass durch die Einführung der künstlichen Kühlung noch eine weitere Beanspruchung des aktiven Materials möglich war, ist wohl bekannt. Die nachfolgende Tabelle schweizerischer Ausführungen lässt erkennen, welchem absoluten Grenzwerte die Konstruktionen hierin zustreben. Die Werte beziehen sich auf Drehstrom-Transformatoren für 50 $\sim$ mit künstlicher Kühlung.

---

[7]) Siehe E. T. Z. 1913, Heft 51.

[8]) Diese wie die nachfolgenden Daten entstammen den eingangs erwähnten Zusammenstellungen des Schweiz. Elektr. Vereins.

Jahr	Grösste Leistung kVA	Bei einer Spannung Volt	Gewicht inkl. Oel kg	Gewicht ohne Oel kg	Gewicht pro kVA ohne Oel
1890	200	5 000	5 330	4 830	24,1
1899	350	16 000	4 700	3 900	11,1
1901	1 150	26 000	8 810	7 000	6,1
1910	5 250	48 500	20 500	16 000	3,05
1913	7 500	65 000	26 100	19 500	2,60
1913	23 500	25 000	44 250	36 450	1,55

Rechnen wir für den letztgenannten Transformator von 23 500 kVA das Oelgewicht hinzu, so steigt das Gewicht pro Leistungseinheit für die „ganze Maschine" auf den immer noch sehr kleinen Wert von 1,8 kg pro kVA. Wie weit ganz allgemein im Transformator die Materialausnützung getrieben werden kann, zeigt erst die Gegenüberstellung eines Turbogenerators ungefähr gleicher Leistung (25 000 kVA, $n = 1000$), der von einer unserer Schweizerfirmen mit einem Gewicht von 4,5 kg pro kVA gebaut wurde.

Die obige Zusammenstellung gibt übrigens zugleich ein Bild der Entwicklung der Elektrizitäts-Erzeugungs- und Verteilanlagen, die ja als eigentliche Triebfeder stets wachsende Forderungen an die Industrie stellen. Die je grösste Einheitsleistung aufgestellter Transformatoren hat sich demnach innerhalb 23 Jahren mehr als verhundertfacht. Parallel damit ging die Steigerung der Betriebsspannung; während bis 1904 als höchste Betriebsspannung für in der Schweiz gebaute Transformatoren 40 000 Volt galt, sind nun heute auch bei uns Ausführungen für 100 000 Volt in Konstruktion. Die damit verknüpften Fortschritte der Isoliertechnik sind am besten durch die Entwicklung der Prüf-Transformatoren gekennzeichnet. Die Ausführungen schweiz. Konstruktion sind heute bei einer dauernden Betriebsspannung für Prüfzwecke von 500 000 Volt angelangt.

Die *Maschinenfabrik Oerlikon* und *Firma Brown, Boveri & Co.* haben beide solche *Prüf-Transformatoren* in Bern betriebsmässig aufgestellt. Die Einphasen-Transformatoren sind je für 500 000 Volt Betriebsspannung gewickelt bei einer Leistung von rund 500 kVA resp. 200 kVA. Zur Orientierung diene, dass der 500 kVA-Prüftransformator der Maschinenfabrik Oerlikon ein totales Gewicht von rund 34 000 kg aufweist, wovon allein 19 000 kg auf das Oel entfallen. Am meisten muss heute die Konstruktion der Durchführungen interessieren. Während die Maschinenfabrik Oerlikon auch hier ihre bekannte Konstruktion aus geschichteten Isolierrohren verwendet, die für diese hohe Spannung eine ganz respektable Länge erhalten haben, führt *Brown, Boveri & Co.* neuerdings Bakelit-Durchführungen auf den Markt, die, nach modernen Gesichtspunkten entworfen, eine sehr wirtschaftliche Materialausnützung verraten. Der Vorzug der Verwendung des Bakelits liegt in der werkstattmässigen Bearbeitungsmöglichkeit dieses Isoliermaterials.

Von den Transformatoren für Licht- und Kraftbetriebe sind nur kleinere *marktgängige Typen* zur Ausstellung gebracht worden, nichts destoweniger sind diese in ihrer Anpassungsfähigkeit an die verschiedenen Betriebsbedingungen der Erwähnung wert. Die vorzüglichen Eisensorten, die heute dem Konstrukteur zu Gebote stehen, lassen selbst für sehr kleine Leistungen noch sehr hohe Jahres-Wirkungsgrade erreichen, während andererseits für Kraftbetriebe Typen vorliegen, die bei geringen Gesamtverlusten heute sehr wohlfeil zu Markte stehen. Auch im konstruktiven Aufbau sind Fortschritte zu verzeichnen. Bemerkenswert ist z. B. die Verwendung autogen geschweisster Wellblechkessel zur Vermeidung undichter Stellen und die Spezialkonstruktionen für Stangentransformatorstationen. Die *Maschinenfabrik Oerlikon* hat hier eine interessante Ausführung auf ihren Stand gebracht, bei der die Hochspannungssicherungen und der Ueberspannungsschutz in zweckmässiger Weise mit dem Transformator zusammengebaut sind.

Bei den *Grosstransformatoren* sind die Bestrebungen zum Eigenschutz gegen Ueberspannungen und Kurzschlüsse interessant. Bekannt und allgemein gebräuchlich ist die besonders sorgfältige Isolierung der Eingangswindungen; doch scheinen gerade jüngst ge-

machte Erfahrungen diese Vorkehrung als nicht hinreichend zu bewerten. Als Schutz gegen die Wirkungen momentaner Kurzschlüsse steht wie bei den Generatoren vorerst die Vergrösserung der Kurzschlussreaktanz zur Hand. Der daraus resultierende relativ grosse Spannungsabfall kann bei diesen im Betrieb durch einen automatischen Regler ausgeglichen werden, nicht aber beim Transformator, wo man ja für unregulierbare Ueberlandtransformatoren z. B. den Spannungsabfall ziemlich klein wählen muss. Da man mit der Kurzschlussreaktanz hier an eine engere Grenze gebunden ist, muss den mechanischen Kräften, die die Spulen beim plötzlichen Kurzschluss angreifen, auf konstruktivem Weg begegnet werden. Allgemein werden diese unter sich sorgfältig verkeilt, für besonders grosse Ausführungen hat die Firma Brown, Boveri & Co. eine Sonderkonstruktion geschaffen, die sog. kurzschlusssichere Ausführung. Diese ist dadurch charakterisiert, dass der Spulenkörper jedes Schenkels als ganzes durch kräftige Längsbolzen unter Zwischenschaltung von Pressfedern dauernd zusammengepresst wird. Dadurch wird die event. Bildung von Zwischenräumen durch das sich setzen einzelner Spulen ausgeglichen und somit den axialen Kräften beim Kurzschluss der Spielraum genommen.

(Schluss folgt in nächster Nummer.)