

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Lastverteilung : Regulierung, Fernmessen, Fernsteuern, Fernregeln, Kommandoräume  
**Autor:** Engler, E.A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060859>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

auf Einheitsleistungen wohl keine wesentlich grössern Maschinen mehr gebaut werden. Die zulässige Leistungskonzentration in einer Maschine ist sicher auch in den grössten Industriezentren mit den heute

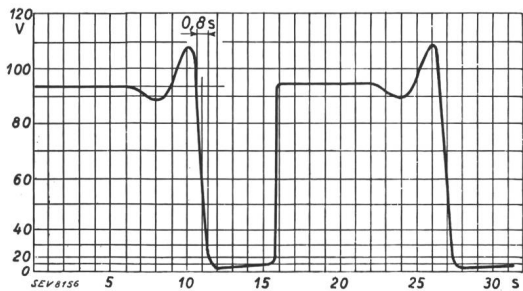


Fig. 8. Spannungsaufbau am Erreger mit Brown-Boveri-Hochleistungs-Oeldruck-Schnellregler.

vielfach ausgeführten Maschinen von 100 000 kVA erreicht. Speziell bei uns in der Schweiz wurde mit der Aufteilung in 3 Einheiten die Leistung 40 000 kVA nirgends überschritten.

Bezüglich Höhe der Maschinenspannung, wo der Kampf zwischen der Ausführung mit Generator und Transformator oder Hochspannungsgenerator geht, müssen wohl noch längere Betriebserfahrungen abgewartet werden, bis ein schlüssiges Urteil gefällt werden kann. In der Schweiz, wo ziemlich hohe Uebertragungsspannungen vorliegen, ist die erste Lösung die gegebene.

Eine letzte Frage betrifft die Reduktion der grossen Ventilationsverluste, siehe Tabelle I. Immer

Verluste einer Synchronmaschine von 30 000 kVA, 3000 U/min.

Tabelle I.

	kW
Eisenverluste . . . . .	113
Kupferverluste im Stator . . . . .	125
Kupferverluste im Rotor (Erregung) . . . . .	90
Ventilations- und Reibungsverluste . . . . .	150
Zusatzverluste . . . . .	75
<b>Totalverluste</b>	<b>553</b>

wird der Anreiz bestehen, sie durch Verwendung eines leichtern Kühlmediums zu reduzieren. Wenn auch die Verwendung von Wasserstoff konstruktive Komplikationen mit sich bringt und die Kosten der Generatoranlage um 10 bis 20 % erhöht, so spricht doch vieles dafür, dass diese Frage nicht ruhen

wird. Sind die in Amerika gesammelten Erfahrungen zufriedenstellend (es sind dort Synchronmaschinen mit zusammen über 1 Million kVA Leistung mit dieser neuen Kühlung im Betriebe), so dürfte ihrer Einführung auch bei uns der Weg gebnet sein.

Bekanntlich können Asynchronmaschinen, übersynchron angetrieben, Wirkleistung als Generator abgeben, leider unter Aufnahme von Blindleistung. Als Grossmaschinen sind sie sehr selten und auch als Kleingeneratoren, wo sie den Kraftausgleich und die Drehzahlregulierung der Turbine besorgen, ist ihre Anwendung nur vereinzelt.

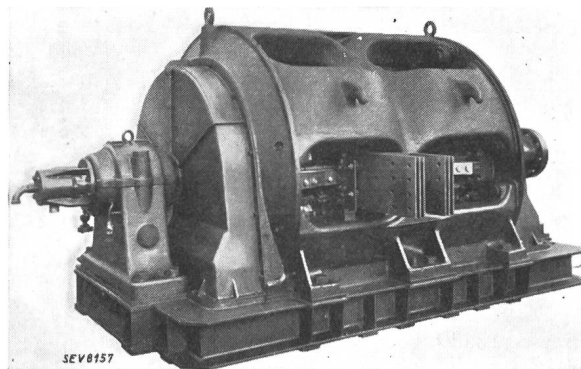


Fig. 9. Unipolarmaschine. 13 V, 30 000 A, 750 U/min. (Brown Boveri.)

Der Bau der Gleichstromgeneratoren für normale Spannungs- und Stromverhältnisse bewegt sich in den althergebrachten Bahnen, wobei dank der jahrzehntelangen Erfahrungen die Ausnützung und die Güte stets etwas gesteigert werden konnte. Spannungen über 3000 Volt werden kaum verlangt und bereiten am Kommutator schon erhebliche Schwierigkeiten; häufiger sind die Maschinen für niedrige Spannung, dafür sehr grossen Strom. Fig. 9 zeigt die Ansicht einer von Brown Boveri kürzlich gebauten Unipolarmaschine für 13 V und 30 000 A. Der Anker trägt keine Wicklung, sondern benützt als Leiter die Wirbelbahnen des massiven Eisenrotors, der im Innern von Kühlwasser durchflossen ist. Die Schwierigkeiten derartiger Maschinen liegen vornehmlich in der Stromabnahme, und deren Verhalten wird über die Zukunftsaussichten solcher Ausführungen entscheiden.

## Lastverteilung: Regulierung, Fernmessen, Fernsteuern, Fernregeln, Kommandoräume.

Von E. A. Engler, Baden,

621.311.177

Die heutige Technik der Zusammenarbeit zwischen Lauf- und Speicherwerken und das Parallelarbeiten ganzer Netzgruppen unter sich und mit solchen des Auslandes wird kurz dargestellt. Die Probleme der Regulierung, des Fernmessens, Fernsteuerns und Fernregeln, die die Zusammenarbeit verschiedener Werke und Werkverbände stellt, werden erörtert. Schliesslich werden kurz einige Richtlinien für die zweckmässige Gestaltung der Kommandoräume angedeutet.

L'auteur expose la collaboration entre usines au fil de l'eau et usines à accumulation, ainsi que la marche en parallèle de groupes entiers de réseaux entre eux et avec ceux de l'étranger. Il examine les problèmes que pose la collaboration de plusieurs usines ou groupes d'usines en matière de réglage, de télémessure, de télécommande et de télé-régulation. Finalement, il esquisse quelques directives pour l'aménagement rationnel des postes de commande.

Die Lastverteilung im schweizerischen Elektrizitätswerkbetrieb ist im wesentlichen beherrscht

vom Verbundbetrieb zwischen Laufwerken und Speicherwerken. Die grossen Laufwerke sind an

den Flüssen im Norden und im Mittelland, die Hauptabgabezentren im Mittelland und die Speicherwerke im Gebirge, also mehr im Süden des Landes gelegen.

In der Verbundwirtschaft wird in erster Linie darnach getrachtet, die Laufwerke zur Deckung der Grundlast möglichst vollständig auszunützen und den Speicherwerken die Deckung der Spitzenleistung und des Leistungsausfalles der Laufwerke in der Niederwasserperiode zu übertragen. Da für die Gesamtheit der der allgemeinen Versorgung dienenden Elektrizitätswerke die Laufwerkleistung zwischen ca. 650 000 kW bei günstigster Wasserführung und ca. 300 000 kW bei Winterniederwasser schwankt und der Einsatz der Speicherwerke je nach Tages- und Jahreszeit zwischen nahezu Null (in der Sommernachtzeit) und dem Gesamtwert der ausgebauten Spitzenleistung von 650 000 kW (während der Winter-Tagesspitzenzeit) variiert, so ergibt sich ein sehr stark wechselnder Energiefluss in den Uebertragungsanlagen. Dabei kann es in gewissen Leitungen sogar vorkommen, dass innert eines Tages der Energiefluss die Richtung mehrmals wechselt.

Aber auch zwischen den einzelnen Speicherwerken sind je nach den hydrologischen Verhältnissen oft für kürzere oder längere Zeit grössere Lastverschiebungen vorzunehmen.

Ausser der Verteilung der Wirkleistung ist auch die Verteilung der Blindleistung zu beachten. Zur Zeit guter Wasserführung und dementsprechend grosser Leistung der Laufwerke sind die Maschinengruppen der Speicherwerke bei kleiner Wirkleistungsabgabe oft mit grossem Blindleistungseinsatz zur Spannungshaltung heranzuziehen. Dagegen sind zur Zeit geringer Wasserführung und dementsprechend geringer Leistung der Laufwerke deren Maschinengruppen bei kleiner Wirkleistungsabgabe mit grossem Blindleistungseinsatz zur Spannungshaltung heranzuziehen, wobei die Speicherwerke erhöhte Wirkleistung abgeben.

Es sei an dieser Stelle auch noch der sogenannte Gewitterbetrieb erwähnt. Während Gewittern erweist es sich als nützlich, die Last möglichst auf alle Werke in der Weise gleichmässig zu verteilen, dass bei Netzauftrennungen bei Störungen die einzelnen Netzteile möglichst je von einem der Werke aus mit normaler Frequenz und Spannung weiter betrieben werden können, was die Wiederzusammenschaltung der einzelnen Netzteile sehr erleichtert. Diese Lastverteilung bewirkt aber auch an sich schon eine Verminderung der Gefahr des Ausstrittfallens der Werke.

Da fast jede grössere Energieversorgungsunternehmung in der Schweiz für die Energieerzeugung über eine Werkkombination von Lauf- und Speicherwerken verfügt, ist das Problem der Lastverteilung bei allen Unternehmungen ähnlich gestaltet.

In der Regel führt jede der grösseren Energieversorgungsunternehmungen einen eigenen Betrieb. Dabei arbeiten die Laufwerke, soweit möglich, immer mit voller Belastung und die Frequenzhaltung erfolgt durch eines der Speicherwerke. In Nachtzeiten und am Sonntag, bei sehr geringer Netzbe-

lastung, kann es vorkommen, dass die Netzlast kleiner ist als die verfügbare Laufwerkleistung. In solchen Zeiten muss dann eines der Laufwerke die Frequenzregulierung übernehmen. Bei der Frequenzregulierung muss ganz allgemein für genaue Einhaltung des absoluten Sollwertes Sorge getragen werden (zeitgeregelte Frequenz).

Die meisten grösseren Unternehmungen stehen im Energieverkehr (Energie-Export und Energie-Import) mit dem benachbarten Auslande. Soweit dieser Energieverkehr im Parallelbetrieb mit den ausländischen Unternehmungen erfolgt, handelt es sich gewöhnlich darum, in der Energieabgabe ein zum voraus vereinbartes Leistungsprogramm einzuhalten. Diese Leistungseinstellung erfolgt zum Teil unter Verwendung von Fernmesseinrichtungen, welche die Uebergabeleistung am Grenzübergang der Leitung fernmeldet nach dem regulierenden Speicherwerk, das in diesem Falle nach Uebergabeleistung reguliert, statt nach Frequenz. In einem Falle erfolgt seit einiger Zeit diese Regulierung versuchsweise automatisch (Fernmessung der Uebergabeleistung mittels leitungsgerechter Hochfrequenzübertragung, Einstellung einer konstanten Uebergabeleistung, in der Höhe wechselnd nach Programm, durch automatischen Leistungsregler).

Der Energieverkehr grösserer schweizerischer Werkgruppen unter sich erfolgt seltener im Parallelbetrieb als durch Einrichtung von Separatbetrieben (Zuschalten einzelner Maschinengruppen aufs fremde Netz zwecks Lastabgabe, Zuschalten abgetrennter Netzbetriebe aufs fremde Netz zwecks Lastaufnahme). Der Parallelbetrieb schweizerischer Werkgruppen unter sich wird zur Zeit dadurch erschwert, dass beispielsweise zwei Werkgruppen durch Parallelschaltung bei gemeinsam belieferten oder miteinander ebenfalls gekuppelten ausländischen Unternehmungen bereits synchron sind, so dass bei Kupplung der beiden schweizerischen Unternehmungen in der Schweiz ein Ringschluss entstehen würde.

Das Problem des allgemeinen Parallelbetriebes der schweizerischen Grossunternehmungen unter sich harret noch der Lösung. Die Frage, ob man sich hierfür besonderer Einrichtungen wird bedienen müssen (Quertransformatoren, Frequenzumformer) steht noch offen. Dem direkten Parallelbetrieb der Netze durch unmittelbare Kupplung steht auch noch die verschiedene Behandlung der Nullpunktfrage in Hochspannungsnetzen entgegen (Nullpunkt isoliert, über Erdschlusskompensationspulen oder starr geerdet). Von grosser Bedeutung für den allgemeinen Parallelbetrieb ist auch eine gleichmässige Behandlung der Relaisfragen (Schnelldistanzschutz).

Von Interesse ist die Kupplung der schweizerischen Drehstromnetze mit den 16<sup>2</sup>/speriodigen Einphasennetzen der SBB und verschiedener Privatbahnen. Die Kupplung erfolgt an mehreren Stellen über rotierende Umformergruppen, z. T. über elastische Gruppen mit Asynchronmotorgenerator mit wirtschaftlicher Schlupfregulierung auf der Dreiphasenseite<sup>1)</sup>, z. T. über starre Gruppen

<sup>1)</sup> Bull. SEV 1934, Nr. 3, S. 65.

mit beidseitigen Synchronmaschinen. Neuerdings erfolgt eine solche Kupplung zwischen einem 50-Perioden-Industrienetz und einem 40-Perioden-Bahnnetz auch über eine elastische Mutatorgruppe (Quecksilberdampf-Mutatoren mit Gittersteuerung)<sup>2)</sup>.

Hilfsmittel der Lastverteilung sind die Telephonverbindungen zwischen den Werken. Sie erfolgen z. T. niederfrequent über das öffentliche Telephonnetz oder über von der Eidg. Telephonverwaltung gemietete Leitungsschleifen, z. T. über werkeigene, leitungsgerichtete Hochfrequenztelephonanlagen.

Unseres Erachtens liegen namentlich im Fernmessens über Telefonschleifen oder mit leitungsgerichteter Hochfrequenz und in der automatischen Leistungs- und Frequenzregulierung die Hilfsmittel, deren man sich noch in ausgiebigerem Masse wird bedienen müssen, wenn mit der Zeit durch direkten Parallelbetrieb grösserer Werkgruppen eine noch bessere Ausnützung der disponiblen Energie und der Anlagen erfolgen soll.

In Zusammenarbeit von Konstruktionsfirmen elektrischer Apparate mit solchen des Turbinenbaues wurden auch bereits schon Turbinenregler durchgebildet, bei denen die Turbinenbeaufschlagung und damit die Leistungsabgabe direkt von elektrischen Grössen (Frequenz, Leistungsübergabe) aus beeinflusst wird. Solche Regler befinden sich schon im praktischen Probetrieb in Kraftwerken.

Zum weiteren Studium des Problems der Frequenz- und Leistungsregulierung, insbesondere in bezug auf den Parallelbetrieb grösserer Werkgruppen, soll auf Beschluss des Vorstandes des SEV eine besondere Kommission eingesetzt werden.

Der infolge der Lastverteilung zwischen Lauf- und Speicherwerken stark wechselnde Einsatz der einzelnen Werke und der ebenso stark wechselnde Energiefluss in den Leitungen bedingt entsprechende Fluktuationen in der *Spannungshaltung* der Hochspannungsnetze. Die Spannungsschwankungen sind deshalb an vielen Stellen der Hochspannungsnetze verhältnismässig gross. Dieser Umstand bedingt, dass fast alle wichtigeren Abgabestellen mit

<sup>2)</sup> Bull. SEV 1939, Nr. 9, S. 225; siehe auch in dieser Nummer: F. Grieb, Netzkupplung.

Transformation auf Verteilspannung mit Spannungsreguliereinrichtungen versehen sein müssen, und zwar mit ziemlich grossem Regulierbereich. Wurden hiefür früher mit Vorliebe Induktionsregler verwendet, so kommen heute vorzugsweise Reguliertransformatoren zur Anwendung, indem die Abtransformatoren auf der Verteilspannungsseite mit unter Last von Hand oder automatisch schaltbaren Regulierstufen versehen sind.

Die Technik des *Fernmessens, Fernsteuerns und Fernregelns* findet in der Schweiz Anwendung im Betrieb unbedienter, einfacher Kraftwerksanlagen, die als Nebenkraftwerke von benachbarten grösseren Werken aus fernbedient werden. Auch die Fernbedienung von Unterwerken sei zu erwähnen (z. B. Fernsteuerung und Ueberwachung des Unterwerkes Bickigen vom Kraftwerk Mühleberg<sup>3)</sup> und des Unterwerkes Brislach von der Betriebsleitung Delsberg der Bernischen Kraftwerke A.-G. aus).

Bei den *Kommandoräumen* zeigt sich die Entwicklung in der Steigerung der Uebersichtlichkeit im Sinne möglichst getreuer Anlehnung der Anordnung des Kommandoraumes an das Schaltbild und die örtliche Anordnung der Maschinen und Schaltanlagen selbst. Im Sinne der Konzentration und Uebersichtlichkeit geht die Entwicklung weiter dahin, die Kommandoräume nicht zu gross zu gestalten und für den eigentlichen Netzbetrieb nicht wesentliche Nebenbetriebe (Eigenbedarf, örtliche Verteilanlagen) auf Nebenräume zu verweisen. Angestrebt wird ferner die Unterbringung der Relais für den Netzschutz möglichst im Kommandoraum selbst. Weiter zeigt sich die zunehmende Verwendung schreibender Messgeräte. So erwies es sich als sehr nützlich, die Felder der abgehenden Leitungen von 50-kV-Betriebsspannung und mehr durchgehend konsequent mit Registrierwattmetern auszurüsten, was die Lokalisierung und Abklärung von Störungen sehr erleichtert. Diesem Zweck dienen insbesondere auch die Störungsschnellschreiber, deren bei Störung auf raschen Vorschub eingestellter Ablauf einen tieferen Einblick in den Verlauf der Störung, in das Arbeiten des Netzschutzes und in die Stabilität der Netze gestattet.

<sup>3)</sup> Bull. SEV 1931, Nr. 14, S. 333.

## 2. Umformung, Uebertragung, Verteilung.

### Transformatoren.

Von J. Kübler, Baden,

mit Beiträgen von H. Schneider, Zürich-Oerlikon, und V. Rochat, Genf.

621.314.2

*Die Frage des wirtschaftlichsten Baues der Verteiltransformatoren wird gestreift. Dann wird auf die vielfachen, interessanten Probleme des Baues von Grosstransformatoren eingegangen. Schliesslich werden die Messwandler und die Löschspulen behandelt.*

*L'auteur touche à la question de la construction la plus économique des transformateurs de distribution. Il étudie ensuite les nombreux problèmes intéressants de la construction des gros transformateurs. Finalement, il traite encore la question des transformateurs de mesure et des bobines d'extinction.*

Am Gesamtkapitalaufwand für die Transformatoren eines grossen Netzes, an den totalen Leerlaufverlusten und am Blindstromaufwand sind die *Verteiltransformatoren*, die die Mittel-Netzspannung

auf die Gebrauchsspannung heruntersetzen, in hohem Masse beteiligt. Es rechtfertigt sich also, über diese im Schrifttum etwas vernachlässigten Transformatoren einige Worte zu verlieren. In erster