

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 21 (1930)
Heft: 18

Artikel: Die Phasenkompensation
Autor: Dünner, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058275>

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: 17.05.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke

REDAKTION
Zürich 8, Seefeldstr. 301

Secrétariat général de
l'Association Suisse des Electriciens et de
l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der
Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et
sans indication des sources

XXI. Jahrgang
XXI^e Année

Bulletin No. 18

September II 1930
Septembre II

Die Phasenkompensation.

Bericht über den zweiten akademischen Diskussionsvortrag vom 14. Januar 1930
in der Eidg. Technischen Hochschule¹⁾, von Professor E. Dünner, Zürich.

621.3.018.1 + 621.313.333.072.7 + 621.319.4

Der Autor, Referent am 2. akademischen Diskussionsvortrag, gibt eine Zusammenfassung seines Referates, das über Synchron-Induktions-Motoren, Synchronmotoren mit eigenerregter Drehstromerregmaschine als Hintermotor und solche mit fremderregter Drehstromerregmaschine handelt. Er beleuchtet Vor- und Nachteile dieser drei elektromagnetischen Kompensationsarten und ihrer Varianten. Im weiteren resumiert er die anschliessende Diskussion, in welcher Vertreter der Theorie, der Industrie und des Betriebes das Wort ergriffen und in welcher auch die elektrostatische Kompensation eingehender besprochen wurde.

L'auteur présente un résumé de la conférence qu'il a donnée à la 2^e soirée de discussion de l'Ecole Polytechnique Fédérale, sur les moteurs synchrones à induction, les moteurs synchrones à excitatrice triphasée auto-excitée et ceux dont l'excitatrice est à excitation indépendante. Il souligne les avantages et les inconvénients de ces trois types de compensation électro-magnétique et de leurs variantes. L'auteur résume ensuite la discussion qui suivit sa conférence, à laquelle prirent part des théoriciens ainsi que des représentants de l'industrie et des exploitants, et au cours de laquelle la compensation électrostatique a fait également l'objet d'un échange de vues.

Das vom Autor gehaltene Hauptreferat ist im folgenden auszugsweise wiedergegeben. Da es als unmöglich bezeichnet werden muss, in einem Abend das umfangreiche Problem der Phasenkompensation auch nur einigermaßen erschöpfend zu behandeln, so beschäftigte sich der Referent, die Grosskompensation von Netzen im Zusammenhang mit Spannungsregulierung nicht weiter ausführend, nur mit der Einzelkompensation von Motoren.

Die übliche Netzbelastung zeigt nachteilenden $\cos\varphi$, hervorgerufen durch den Magnetisierungsstrom der angeschlossenen Verbraucher, wie Asynchronmotoren, Transformatoren u. a. Die Nachteile eines kleinen $\cos\varphi$ sind bekannt, in erster Linie ist die Erhöhung der Kupferverluste zu erwähnen, daneben der mit wachsendem Winkel φ zunehmende Spannungsabfall, Strom der Spannung zeitlich nachteilend.

Bei *Zentralkompensation* wird unabhängig vom einzelnen Verbraucher an geeigneten Netzpunkten Blindstrom entnommen. Dazu geeignete Anordnungen sind statische Kondensatoren und übererregte Synchronmotoren.

Bei *Einzelkompensation* wird man den Magnetisierungsstrom der einzelnen Verbrauchsobjekte einzeln oder in Gruppen aufheben, d. h. kompensieren.

¹⁾ Ein erster akademischer Diskussionsvortrag, von Prof. Dr. B. Bauer, fand am 3. Dezember 1929 statt und behandelte das Problem der Stabilität in gekuppelten Netzen. Wir hoffen, Gelegenheit zu haben, darauf zurückzukommen. — Diese Diskussionsvorträge werden von der Elektrotechnischen Abteilung der Eidg. Technischen Hochschule organisiert und in zwangloser Folge abgehalten. Sie bezwecken, die Beziehungen zwischen Hochschule und Praxis zu festigen.

Phasenkompensierte Kleinmotoren, wie sie nach Schaltung von Osnos, Heyland u. a. auf den Markt gebracht werden, zeigen alle den grossen Nachteil, dass der Anker mit einem stets Wartung benötigenden Kollektor versehen ist, so dass der Hauptvorteil der üblichen Asynchronmotoren, die Einfachheit in Bau und Bedienung, verloren geht.

Eine Anordnung, welche auch bei kleineren Motoren als empfehlenswert taxiert werden darf, bildet die Verwendung einer Kapazität, erzeugt durch statische Kondensatoren. Diese Art der Kompensation wird kurz als elektrostatische Kompensation bezeichnet. Dem etwas hohen Anschaffungspreis (bei 500 V ca. 60 Fr./BkW) stehen als Vorteil die sehr kleinen Verluste (0,3–0,4 %) gegenüber, zudem das Fehlen jeglicher Unterhalts- und Betriebskosten.

Einrichtungen, bei denen der Blindstrom durch Maschinen kompensiert wird, welche auf elektromagnetischer Grundlage beruhen, werden als elektromagnetische Kompensation bezeichnet. Die grosse Zahl der Schaltungen und Anordnungen kann in drei Klassen eingeteilt werden, die alle das gemeinsame Merkmal besitzen, dass der zu kompensierende Motor als Hauptmotor in Kaskade mit einem Erreger als Hintermaschine geschaltet ist.

Eine erste Klasse wird gebildet durch die sogenannten Synchron-Induktionsmotoren, kurz SI Motoren. Der Anlauf erfolgt als Asynchronmotor, bei grösseren Ausführungen mit reduzierter Spannung, der Lauf als Synchronmotor mit Hilfe des

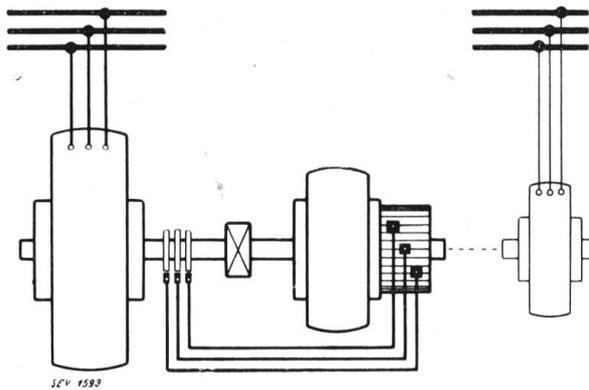


Fig. 1.

Drehstrommotor mit eigenerregtem Kompensator.

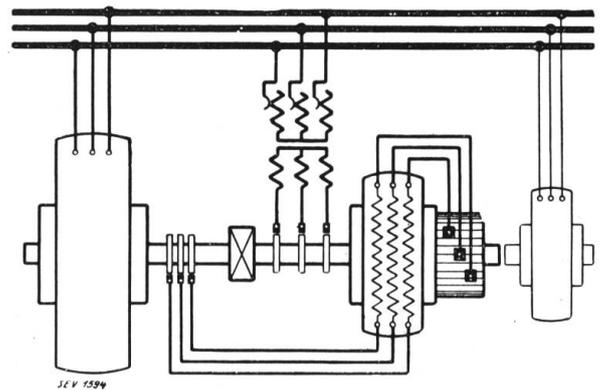


Fig. 2.

Drehstrommotor mit fremderregtem Kompensator.

vom Erreger gelieferten Gleichstromes. Das Schaltungsschema zeigt in der Rotorwicklung für den Gleichstrom zwei Phasen parallel, die dritte in Serie zu den andern.

Eine zweite Klasse, bei der der Charakter des asynchronen Motors erhalten bleibt, benützt als Hintermaschine eine eigenerregte Drehstromerregemaschine, die an die Schleifringe des Hauptmotors angeschlossen ist. Dessen Rotorströme bilden im Erreger das stets mit Schlupffrequenz im Raume rotierende Feld. Bei übersynchroner Umdrehungszahl bildet dieser demnach einen kapazitiven Widerstand (Fig. 1). Dem Uebelstand, dass mit abnehmendem Rotorstrom die im Erreger erzeugte Zusatzspannung zurückgeht, sucht man durch starke Sättigung zu steuern; es ist so möglich, bis zu $\frac{1}{4}$ Nennleistung eine nahnhafte Kompensation zu erzielen. Ein von der Firma Brown, Boveri & Co. (BBC) entwickelter Nebenschluss-Phasenkompensator vermeidet den obigen Uebelstand, indem der Erreger im Synchronismus infolge Selbsterregung als Gleichstrommaschine wirkt. Gewisse Schwierigkeiten entwickelt die Kommutation derartiger Erregermaschinen, da sich zur Stromwende-spannung noch die Transformationsspannung der kurzgeschlossenen Windungen addiert. Bei eigenerregten Erregermaschinen, die kein Drehmoment entwickeln, addieren sich die beiden Spannungen algebraisch. Gegen allgemeine Anwendung dieser mechanisch einfachen Lösung spricht der Wegfall gleichzeitiger Drehzahlregulierung, sowie das Versagen bei schwachen Belastungen.

Beide Möglichkeiten werden erfüllt durch die dritte Klasse von Kompensatoren, den fremderregten Drehstromerregemaschinen. Bei unkompensierter Ausführung arbeitet diese Erregermaschine als Frequenzumformer, der die dem Netz entnommene Zusatzspannung auf Schlupffrequenz umformt. Da Grösse und Phasenlage innerhalb der durch die Maschinengrösse festgelegten Grenzen beliebig eingestellt werden können, so ist neben Phasenkompensation auch gleichzeitige Tourenregulierung, unabhängig von der Belastung möglich. Die zugehörige Schaltung zeigt Fig. 2, das Vektordiagramm Fig. 3. Unter Vernachlässigung des Ohmschen Widerstandes der Statorwicklung lässt sich leicht beweisen, dass der Endpunkt des Vektors des Statorstromes auf einem Kreise liegt, dessen Mittelpunkt bei variabler Phasenlage selbst wiederum einem Kreise angehört, dem Thomälenkreis (Fig. 4).

Eine Erweiterung und Verbesserung der Schaltung erfolgt durch Anbringen einer Kompensationswicklung im Stator des Erregers. Die Maschine ändert dann zu einem fremderregten Drehstrom-Kommutatormotor bei Untersynchronismus, Generator bei Ubersynchronismus, während vom Netz nur noch der Magnetisierungsstrom bezogen wird. Die grosse Verbesserung liegt in der leichtern Kommutation, indem nun für die Stromwendespannung wie bei Gleichstrom nur noch das Streufeld

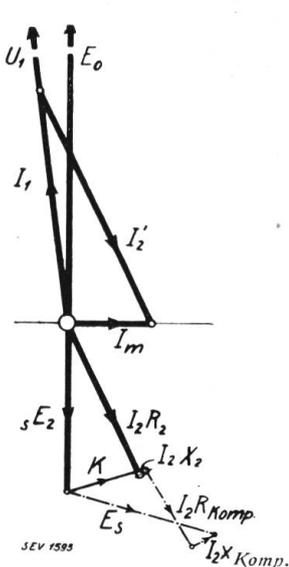


Fig. 3.

Drehstrommotor mit fremderregtem Kompensator.

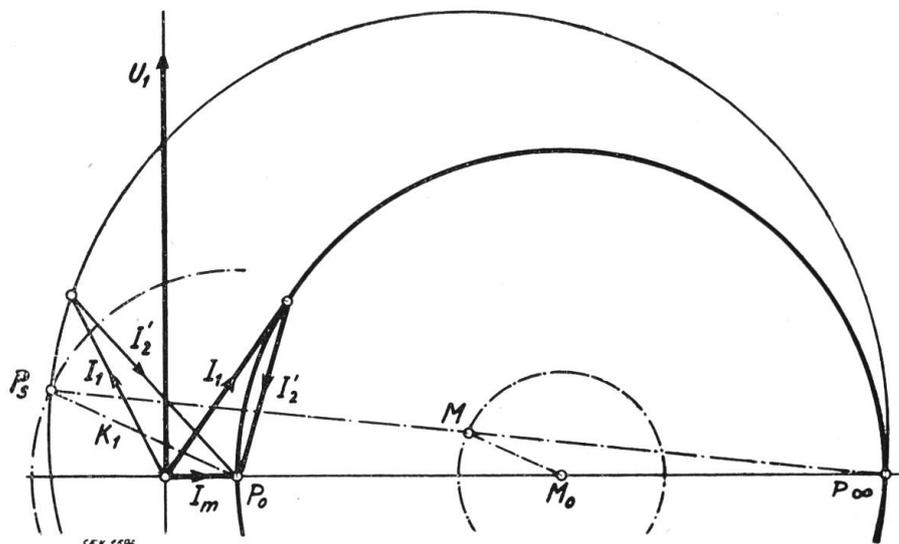


Fig. 4.

Drehstrommotor mit fremderregtem Kompensator.

der Nute in Frage kommt; zudem steht die Transformatorspannung, da der Motor ein Drehmoment entwickelt, senkrecht zur ersteren.

Die grosse Zahl der Varianten, die für den fremderregten Erreger möglich ist, kann nach folgenden Gesichtspunkten einigermassen klassiert werden:

a) Nach der Art des Antriebes. Die einfachste und häufigste Lösung kuppelt den Erreger direkt oder über Zahnrad mit dem Hauptmotor, also schlupffrei. Daneben sind auch Lösungen mit nur elektrischer Kupplung bekannt, der Erreger ist dann doppelt gespeist.

b) Nach Bau und Bewicklung des Stators. Unkompensiert bildet der Stator nur den magnetischen Rückschluss und kann bei Verwendung ganz geschlossener Nuten weggelassen werden. Um die Schwierigkeiten der Kommutation zu verkleinern, werden im Stator den Bürsten gegenüber grössere Aussparungen angebracht. Für grössere Leistungen kann im Stator eine Kompensationswicklung nicht umgangen werden. Eine weitere Variante ist durch Anbringen von Wendepolen möglich, die allerdings infolge der Unbestimmtheit des magnetischen Kreises und variabler Reaktanz nicht beliebt sind.

c) Nach der Art der Verdrehung der Phase der Zusatzspannung. Das einfachste Mittel dazu bildet das Verschieben der Bürsten, ein Verfahren, das leider nur bei unbewickeltem Stator brauchbar ist. Verdrehung der Kupplung oder ungleiche Schaltung im vorgeschalteten Erregertransformator lassen die Phasenlage einstellen; viel allgemeiner ist das Vorschalten eines Drehtransformators, der bei konstanter Sekundärspannung beliebige Phasenlage derselben gestattet.

* * *

In der anschliessenden **Diskussion** ergreift als erster Herr Assistent *Bindler*-Zürich das Wort, um auf eine nach seiner Ansicht bisher nicht ausgearbeitete Methode hinzuweisen, nach welcher das Kriterium der Phasenkompensation umfassend durch eine Gleichung dargestellt werden kann. Ausgehend vom allgemeinen Ausdruck der Impedanz des Asynchronmotors:

$$\mathfrak{Z}_A = r_s + j \omega_1 L_{ss\Delta} + \frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{\frac{r_2}{s} + j \omega_1 L_{RR\Delta}}$$

wird der Motor als kompensiert angenommen, wenn im Ausdruck:

$$\mathfrak{Z}_A = Z_a \cos \varphi + Z_a \sin \varphi \text{ der letztere Summand } Z_a \sin \varphi = 0 \text{ wird.}$$

Diese Bedingung in den expliziten Ausdruck der Motorimpedanz eingeführt, liefert nach einigen Umformungen die Gleichung:

$$L_{RR\Delta}^2 - L_{RS\Delta} L_{SR\Delta} \frac{L_{RR\Delta}}{L_{SS\Delta}} + \left(\frac{r_R}{s \omega_1} \right)^2 = 0.$$

Die Diskussion dieser Gleichung gibt die verschiedenen Möglichkeiten der Phasenkompensation. Ohne Umänderung des Motors bleiben $L_{SS\Delta}$, $L_{RS\Delta}$ und $L_{SR\Delta}$, so dass sich aus dem nun ausrechenbaren $L_{RR\Delta}$ die im Rotorkreis notwendige Zusatzimpedanz, welche bei negativem Wert einen kapazitiven Widerstand bedeutet, bestimmen lässt²⁾.

Als zweiter Redner beschreibt Herr Dipl.-Ing. *Kristen*-Oerlikon die Entwicklung der fremderregten Drehstromerregemaschine durch die Maschinenfabrik Oerlikon. Seine Ausführungen, die durch mehrere Lichtbilder ergänzt wurden, seien im folgenden kurz zusammengefasst: Die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) verwendet für die asynchrone Phasenkompensation mit Hintermaschine die kompensierte Form der Drehstromerregemaschine, normalerweise mit schlupffreier Kupplung. Damit ist die Möglichkeit geboten, die Hauptmaschine auch zur Lieferung von induktiver Blindleistung beizuziehen, wie dies bei Regelung der Systemspannung mittels Blindleistungsmaschinen der Fall ist. Für das grosse Anwendungsgebiet der Kompensation von induktivem Blindstrom hat die MFO eine neue Schaltung entwickelt, welche ermöglicht, ähnlich dem eigenerrigten Drehstromerregter, den Kompensator unabhängig vom Hauptmotor anzutreiben. Infolge des Wegfalles der starren Verbindung mit dem Hauptmotor ist die Phasenlage der dem Vordermotor eingepprägten EMK nicht mehr fixiert. Untersucht man nun alle möglichen Lagen, so zeigt sich das überraschende Ergebnis, dass nur jene einen stabilen Lauf sichern, die kapazitivem Arbeiten entsprechen. Die Phasenlage selbst wird von der Drehmoment-Tourencharakteristik des Antriebsmotors bestimmt; er bestimmt somit den Charakter des Stromdiagramms des Hauptmotors. Fig. 5 zeigt die Schaltung; der Schlupf-widerstand F bildet das eigentliche Steuerorgan. Trotz rein elektrischer Kupplung haben sich keine Pendlungen gezeigt; dagegen ist es möglich geworden, bei einem Walzwerkmotor das Kippmoment wesentlich zu erhöhen.

²⁾ Vergl. den diesbezüglichen Aufsatz im Bull. SEV 1930, No. 13, S. 429.

Herr Dr. *Kronld*-Oerlikon orientiert in einem ebenfalls mit Lichtbildern versehenen Referat über die Neuerungen der MFO im Bau der Synchron-Induktionsmotoren. Die übliche Schaltung des Rotors bei Speisung mit Gleichstrom, zwei Phasen parallel und in Serie zur dritten, gibt bei grösseren Leistungen infolge der grossen Ströme verschiedene Schwierigkeiten; man sucht sie zu umgehen, beispielsweise durch die Verwendung von zwei in Stern geschalteten Drehstromwicklungen (Fig. 6). Die Umgehung der grossen Anlaufspannung im Rotorkreis durch Hochbringen des Rotors mittels eines Anwurfmotors zeigt die folgenden Schwierigkeiten:

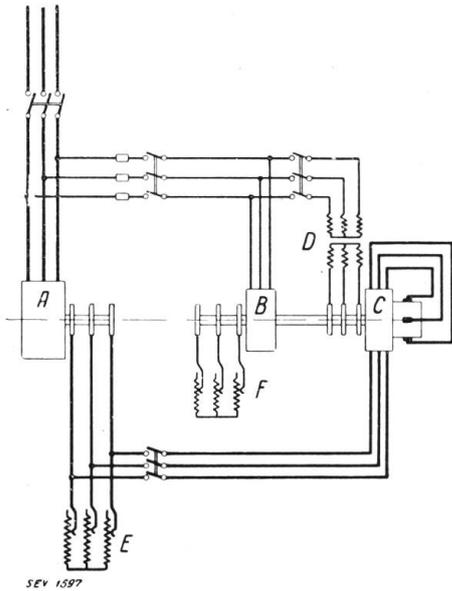


Fig. 5.

Schema für Drehstromasynchronmotor mit Phasenkompensator.

- A Asynchronmotor
- B Antriebsmotor zu C
- C Phasenkompensator
- D Erregertransform.
- E Anlasser zu A
- F Anlasser zu B

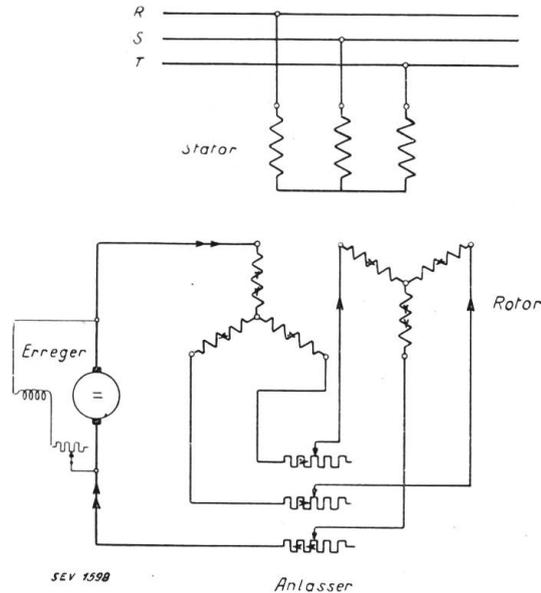


Fig. 6.

Schema für Synchron-Induktionsmotor

Zuschalten im Synchronismus bei offenem Rotor gibt eine Stossspannung in der Grösse der vollen Anlaufspannung; zuschalten bei geschlossenem Rotor gibt den Stosskurzschlussstrom von der ungefähren Grösse des 10-fachen Normalstromes. Die Belastbarkeit des SI-Motors, ca. 1,6 fach normal, kann erhöht werden, indem man den Erreger über drei Schleifringe und einen Stromtransformator mittels des Statorstromes zusätzlich erregt. Für reine Phasenschieber, d. h. Maschinen ohne mechanische Leistungsabgabe an der Welle, die ein Zwischenglied zwischen der bisher beschriebenen SI-Maschine und der Synchronmaschine mit ausgeprägten Polen bilden, erhält der Rotor die in Fig. 7 dargestellte Ausbildung; der grössere Luftspalt in den Pollücken verringert die von Oberfeldern herrührenden Verluste im Eisen.

Als weiterer Diskussionsredner spricht Herr Professor *Imhof*-Altstetten über statische Phasenkomensation, die in letzter Zeit mächtig an Boden gewonnen hat. Durch die Verwendung bester Spezialpapiere, einer ausserordentlich weitgehenden Trocknung derselben und Imprägnierung mit reinstem Transformatorenöl, ferner durch weitgehend durchgebildete Prüfverfahren, bestehend in der Prüfung auf elektrische Festigkeit, Wärmedurchschlagsfestigkeit, dielektrische Verluste, ist die Betriebssicherheit so gross geworden, dass für Anwendung in der Praxis kein Bedenken mehr besteht. Als besondere Vorzüge werden genannt: Die

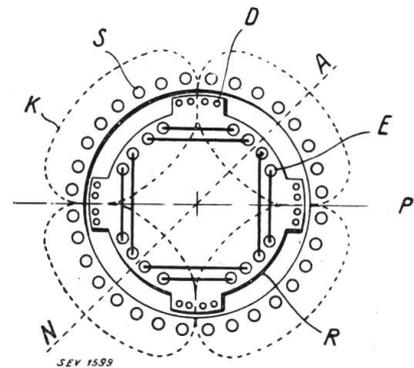


Fig. 7.

grosse Einfachheit in Aufbau und Schaltung, die sehr kleinen Eigenverluste (kleiner als 5‰ der Blindleistung), der Wegfall von Wartung und Unterhalt. Aehnlich wie in Amerika wird auch in der Schweiz das System der Batterien bevorzugt, die aus einer Anzahl von Kondensatoren mässiger Grösse bestehen, welche, parallel geschaltet, in besonderen Gestellen untergebracht werden. Für die an und für sich etwas teurere Batterie im Gegensatz zum Einzelkondensator sprechen die folgenden Gründe: Gute Anpassungsmöglichkeit an den Betrieb, Möglichkeit der Absicherung kleiner Teilleistungen, beliebige Erweiterungsmöglichkeit, Anpassungsfähigkeit an den Raum, grosse Kühlflächen, lokalisierte Störungen. Der Referent zeigt in mehreren Lichtbildern die von der Micafil gewählte Anordnung. Nach seiner Ansicht kommen zur Kompensation kleiner Blindleistungen nur Kondensatoren in Betracht, für grosse Leistungen kann die Lösung mit rotierendem Kompensator im Vorteil sein; für 500 V sind heute schon Batterien bis zu 1000 BkVA in Betrieb. Störungen durch Resonanz mit Oberwellen sind praktisch sehr selten, die diesbezüglichen Befürchtungen waren übertrieben³⁾.

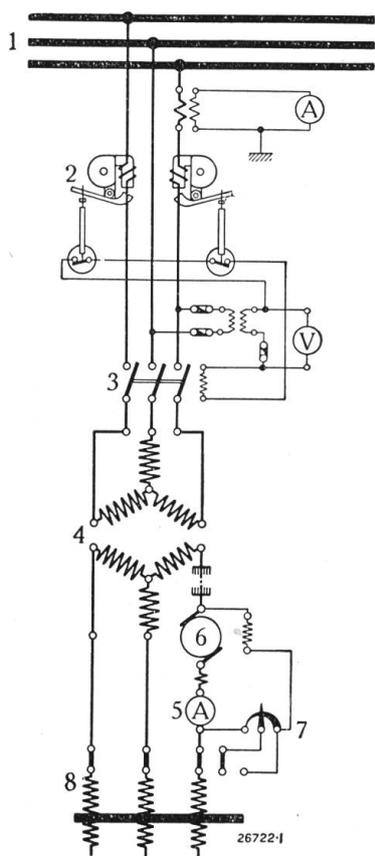


Fig. 8.

Verbindlichkeit für die S.B.B. zur Zeit eine Kondensatorbatterie für 350 BkVA im Unterwerk Burgdorf aufgestellt, die direkt an 16 000 V angeschlossen ist. Auf Grund dieser Versuchsausführung ist ein Einheitspreis von 75 Fr. pro BkVA unverbindlich angegeben worden.

Als letzter Diskussionsredner spricht Herr Ing. *Doswald* über den Bau der Synchron-Induktionsmotoren der Firma BBC Für die Rotorwicklung wird ebenfalls die von Danielson 1902 angegebene Schaltung, 2 Phasen parallel in Serie zur dritten, benützt. Die dadurch bedingte ungleiche Strombelastung der Phasen hat nur geringe Unterschiede in der Erwärmung der einzelnen Wicklungsteile zur Folge. Zwecks Erleichterung des Synchronisierungsvorganges und Erhöhung der Betriebssicherheit wurde eine Schaltung nach Fig. 8 entwickelt. Der Erreger bleibt im Rotorkreis, ist aber während des Anlaufes spannungslos, da der volle Widerstand

³⁾ S. Bull. SEV 1919, No. 19, S. 652.

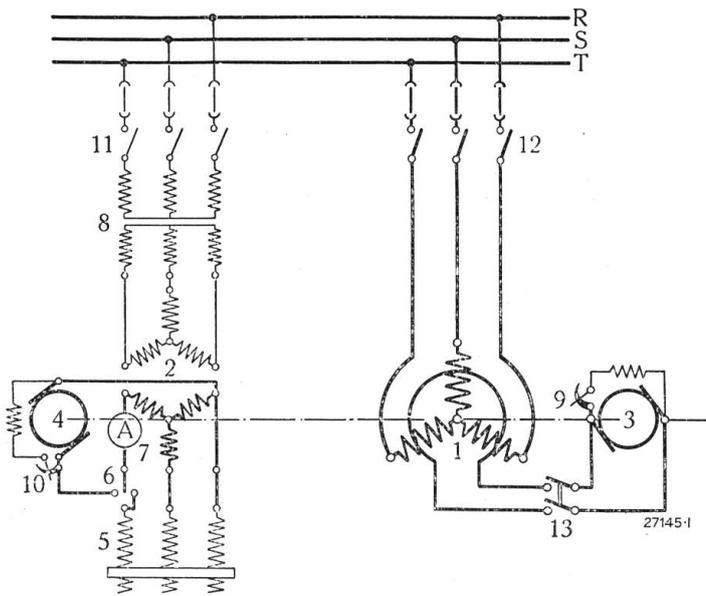


Fig. 9.

des Magnetregulators eingeschaltet ist. Nach erfolgtem Anlauf wird derselbe durch die Kurzschlusschiene des Anlassers kurzzeitig überbrückt, der Erreger also etwas übererregt. Die Unbestimmtheit der Polarität hat hier keine Bedeutung. SI-Motoren eignen sich u. a. zum Anwerfen von synchronen Blindleistungsmaschinen; allfällige Fehlwinkel bis zu 30° können durch Aenderung der Magneterregung leicht korrigiert werden. Hier wird für den Anwurfsmotor zweckmässig ein Erregerumschalter beigegeben, um falsche Polarität und damit Zuschalten bei Phasenopposition zu verhindern (Fig. 9). Der günstigste Augenblick liegt

zeitlich beim Beginn derjenigen Halbwellen des Schlupfstromes, welche gleiche Richtung, bzw. gleiche Polarität haben wie der Erregerstrom, was mit Hilfe eines polarisierten Amperemeters leicht erkannt werden kann.

Ueber die Grundlagen der elektrischen Mass-Systeme, insbesondere über die Dimension der Dielektrizitätskonstanten und der Permeabilität.

Von Prof. Dr. H. Greinacher, Bern.

537.7 : 621.317.681

Da in der technischen Literatur hin und wieder unvollständige oder unrichtige Darstellungen über die elektrischen Maßsysteme enthalten sind (Beispiele werden zitiert), erläutert der Autor die Entwicklung der verschiedenen theoretischen Maßsysteme, weist auf die prinzipiellen Unterscheidungsmerkmale hin und geht zum Schluss kritisch auf das praktische (technische) Masssystem ein, unter besonderer Berücksichtigung des Masses der Dielektrizitätskonstanten und der Permeabilität.

On rencontre encore trop souvent dans la littérature technique des idées fausses ou incomplètes au sujet des systèmes de mesures électriques; c'est pourquoi l'auteur, qui en cite des exemples, explique le développement des différents systèmes théoriques de mesures, rend attentif aux différences de principe qui les distinguent et critique pour finir le système pratique (technique) de mesures, en tenant spécialement compte de la mesure de la constante diélectrique et de la perméabilité.

Es besteht kein Zweifel: In der theoretischen Literatur gibt es ausgezeichnete Darstellungen der elektrischen Mass-Systeme und erschöpfende Zusammenstellungen der Dimensionsverhältnisse. Es seien nur die vorbildlichen Tabellen in M. Abraham-Föppl: Theorie der Elektrizität, 1921, Bd. I, Seite 225 und M. Planck: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 1928, Seite 204, mit den entsprechenden Ausführungen erwähnt. Dagegen findet man in der praktischen Literatur (Experimentalphysik, Elektrotechnik) gelegentlich unvollständige, ja fehlerhafte Darstellungen. Insbesondere sind es die Dimensionen der Dielektrizitätskonstanten und der Permeabilität (bzw. der Suszeptibilität), die etwa unrichtig angegeben werden (z. B. in Landolt-Börnstein: Physikalisch-chemische Tabellen, 1912, Seite 1268; G. Benischke: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik, 1914, Seite 598). Es scheint mir daher nicht ganz überflüssig zu sein, einiges über die Dimensionen der Dielektrizitätskonstanten und der Permeabilität, trotz des ehrwürdigen Alters dieser beiden