

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 3 (1912)
Heft: 10

Artikel: Über Regulierschaltungen für elektromotorische Antriebe
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1062630>

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

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 die

Redaktion: Ing.-Consulent Dr. W. Kummer,
Mythenstrasse 15, Zürich II (Telephon 5806)

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)

Est 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“.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ sont à adresser à la

Rédaction: Ing.-Conseil Dr. W. Kummer
Mythenstrasse 15, Zurich II (Téléphone 5806)

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei
S.-A., Zurich

Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

III. Jahrgang
III^e Année

Bulletin No. 10

Oktober 1912
Octobre

Über Regulierschaltungen für elektromotorische Antriebe.

Von Prof. Dr. W. Kummer, Zürich.

Besondere „Regulierschaltungen“ sind bei elektromotorischen Antrieben dann anzuwenden, wenn für das Anlassen, Regeln und Abstellen der letztern *eigene Regelmachines* oder „Regelsätze“ herangezogen werden. Mit der Einrichtung von Regulierschaltungen ist demnach immer eine Komplikation der elektrischen Anlagen verbunden, die in den gewöhnlichen elektromotorischen Betrieben vermieden ist. Offenbar sind deshalb Regulierschaltungen nur in denjenigen Fällen gerechtfertigt, wo sie ganz besondere Aufgaben zu erfüllen haben, wie beispielsweise die Umgehung besonderer konstruktiver Schwierigkeiten an den Motoren oder an deren Nebenapparaten, ferner die Vermeidung aussergewöhnlicher Energieverluste bei gewissen Forderungen der Regelung, sowie auch die Abschwächung stärkerer Rückwirkungen in das stromliefernde Netz ¹⁾.

Eine Übersicht über die Entwicklung und Anwendung der Regulierschaltungen, wie sie in der vorliegenden Studie beabsichtigt ist, darf aus dem Grunde ein allgemeines Interesse beanspruchen, weil die Fälle, in denen Regulierschaltungen für nötig gehalten werden, im Laufe der Zeit nicht dieselben geblieben sind; die Fortschritte in der Konstruktion der elektrischen Motoren und Steuerapparate wirken vielmehr fortwährend in dem Sinne, dass die Berechtigung besonderer Regulieranlagen mehr und mehr zurückgeht: Das Ideal dieser Entwicklung liegt offenbar in der vollständigen Unterdrückung aller der komplizierten Einrichtungen, die zu einer Regulierschaltung gehören. An der Entwicklung der Regulierschaltungen ist im Besondern bemerkenswert die Stellung, die sie jeweilen zu den einzelnen Stromarten, sowie zu gewissen Anwendungsgebieten des elektromotorischen Antriebs eingenommen haben.

Die ältesten praktischen Anwendungen des elektromotorischen Antriebes sind bekanntlich mit Hilfe von *Gleichstrommotoren* verwirklicht worden (sie knüpfen sich an die Namen von *H. Fontaine*, *Z. Gramme* und *M. Deprez*). Es ist daher auch ganz folgerichtig die älteste Regulierschaltung auf das Gleichstromsystem begründet; sie ist von

¹⁾ Die Abschwächung von Rückwirkungen in ein stromlieferndes Netz ist ganz allgemein die Aufgabe der sog. „Pufferungs-Anlagen“. Insofern solche Anlagen nicht gleichzeitig und unmittelbar zur Motorenregelung dienen, gehört ihre Behandlung nicht hierher.

Ayrton und *Perry* im Jahre 1882 ausgebildet worden und betrifft die Regulierung von Gleichstrommotoren auf konstante Umdrehungszahl mit Hilfe eines Gleichstrom-Zusatzdynamo.¹⁾ Dasselbe Problem ist mittels ähnlicher Anordnungen dann auch von *Mordey* und *Watson* (1885), von *B. G. Lamme*, von *Silv. P. Thompson* und dann namentlich von *H. Ward Leonard* (1891) gelöst worden. Die Schaltung von Ward Leonard ist besonders bedeutungsvoll geworden; zudem weisen die bezüglichen Patentschriften²⁾ zum ersten Mal auf die reguliertechnische Kombination von Gleichstrommotoren mit einem primären Wechselstromnetz hin, und zwar mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung auf die elektrische Traktion.

Auf dem Gebiete des elektromotorischen Antriebs mittels *Wechselstrommotoren* entstanden die ersten Regulierschaltungen aus dem Bestreben, den Drehstrom-Drehfeldmotor in Einphasennetzen nutzbar zu machen. So wurden im Jahre 1897 bezügliche Regulierschaltungen, die aber sehr bald völlig bedeutungslos wurden, einerseits von *G. Ferraris* und *R. Arnò*, andererseits von *Ch. S. Bradley* angegeben. Ungefähr zur selben Zeit wurde die Grundlage zu weitem Regulierschaltungen anlässlich der erstmaligen technisch bedeutsamen Anwendung des Anlassens von Drehstrommotoren durch Änderung der Periodenzahl gegeben.³⁾ Dieses Anlassverfahren für Drehstrommotoren mit Kurzschlussankern wurde 1901 der Siemens & Halske A.-G. irrtümlich durch ein deutsches Patent⁴⁾ geschützt. Eigentliche Regulierschaltungen, beruhend auf der Verwendung von Drehfeldtriebmotoren, welche Mehrphasenstrom von variabler Frequenz aufnehmen und mit Kurzschlussankern ausgerüstet sind, während die Primärenergie in Form von Gleichstrom oder Einphasenstrom zur Verfügung steht, wurden nun, speziell für die Anwendung auf die elektrische Zugförderung, 1902 vom *Verfasser*⁵⁾ und 1905 von *J. B. Hallberg*⁶⁾ angegeben, und hat der grundlegende Gedanke seither in Regulieranlagen für indirekte elektrische Schiffsantriebe weitere Beachtung gefunden. Andere neuere Regulierschaltungen für Wechselstrommotoren betreffen Massnahmen zur Nutzbarmachung der Schlüpfungsenergie von Drehstrommotoren, an deren Leistungsgrösse oder Regulierbereich derartige Anforderungen gestellt werden, dass sie von einem einzelnen Motor, selbst von einem einzelnen Kommutatormotor, heutzutage noch nicht genügend erfüllt werden könnten. Die wesentlichen Gesichtspunkte dieser Einrichtungen, die ausnahmslos auf einer Frequenzregelung im Sekundärteil der Motoren beruhen, sind von *Linsenmann*⁷⁾ und *Krämer*⁸⁾ angegeben worden, während in Einzelheiten weitere Fortschritte durch Erfindungen von *Scherbius*⁹⁾ und *Heyland*¹⁰⁾ verwirklicht worden sind.

Nach dieser summarischen Übersicht über die Hauptmomente der Entwicklung der Regulierschaltungen für Gleichstrommotoren und Wechselstrommotoren sollen nun die technisch wichtigeren Anordnungen näher erläutert und ihre Bedeutung für die praktische Anwendung erörtert werden.

Regulierschaltungen für Gleichstrommotoren.

Die wichtigste Regulierschaltung für Gleichstrommotoren ist die 1891 von *H. Ward Leonard* angegebene. Das Ward Leonard'sche Verfahren zur „Regelung von Gleichstrommotoren mit besonderem Anker- und Erregerstromkreis“, wobei ohne Änderung des von einer besondern Quelle erzeugten Erregerstroms nur der Ankerstrom geändert wird, hat nach der deutschen Patentschrift (D. R. P. 77 266 vom 25. November 1891) das erfinderische

¹⁾ Journ. Soc. Teleg. Eng. 12. 1883, Mai.

²⁾ D. R. P. 77 266; E. P. 14 503; U. S. P. 463 802 und 468 100.

³⁾ Schöpfwerke des Memel-Deltas. E. T. Z. 1897. S. 599 ff.

⁴⁾ D. R. P. 136 013. Vergl. hierzu *Benischke* „Die asynchronen Drehstrommotoren“. Braunschweig 1904. Seite 95, Fussnote 2.

⁵⁾ D. R. P. 157 769 und E. K. B. 1906, S. 309.

⁶⁾ El. World and Engineer, Vol. XLV. N. 2. S. 99 ff.

⁷⁾ D. R. P. 155 860.

⁸⁾ D. R. P. 177 270 und 169 453.

⁹⁾ D. R. P. 179 525 und E. K. B. 1910, S. 101 ff.

¹⁰⁾ E. T. Z. 1907, S. 927 und E. K. B. 1908, S. 9 ff.

Merkmal darin, dass zur Erzeugung des veränderlichen Ankerstroms ein besonderer Hilfsstrom-Generator von einem Zwischenmotor angetrieben wird, welcher letzterer unmittelbar von der Hauptstromquelle gespeist wird. Die Ward Leonard-Schaltung beruht somit unbedingt auf einer Umformung, deren Produkt regelbarer Ankerstrom für einen oder mehrere gleichzeitig geregelte Gleichstrommotoren ist, während der Primärteil der Umformergruppe je nach der zur Verfügung stehenden Hauptstromquelle ein Gleichstrommotor oder auch ein Wechselstrommotor sein kann. Man kann daher, vom rein elektrischen Standpunkt aus, die Anwendungen der Ward Leonard-Schaltung einteilen in Anwendungen auf Gleichstromnetze und in solche auf Wechselstromnetze.

Anwendungen der Ward Leonard-Schaltung auf Gleichstromnetze. Zur Anwendung in Gleichstromnetzen hat Ward Leonard sowohl die ortsfeste Aufstellung seiner Reguliervorschaltung, wie auch deren Anordnung auf elektrischen Triebfahrzeugen vorgesehen. Die ortsfeste Aufstellung ist in Verwendung für den Antrieb von Papiermaschinen, wo es sich, bei kleineren Motorleistungen, lediglich um die Verwirklichung einer besonders feinen und verlustlosen Regelung der Geschwindigkeit handelt, sowie auch für den Antrieb von Fördermaschinen und Walzwerkmotoren, wo unter Umständen auch noch die Vermeidung schwerer Rückwirkungen auf das stromliefernde Netz als Forderung auftritt und den Einbau besonderer Schwunggewichte, bezw. eigentlicher Schwungräder (System *Ilgner*) in die Umformergruppe erforderlich macht. In Abbildung 1 ist das Schema einer solchen Schaltung nach Ward Leonard veranschaulicht.

Die Anwendung der Ward Leonard-Schaltung auf elektrische Triebfahrzeuge für Gleichstrombahnen ist unseres Wissens nur in einer vereinzelt Ausführung an einer 1896 durch Brown, Boveri & Cie. für die Pariser Vorort-Strecke „St-Germain-Grande Ceinture“ ausgerüsteten Umformerlokomotive für eine Gleichstrom-Kontaktleitung mit 500 Volt Fahrdrabtspannung versucht worden.¹⁾

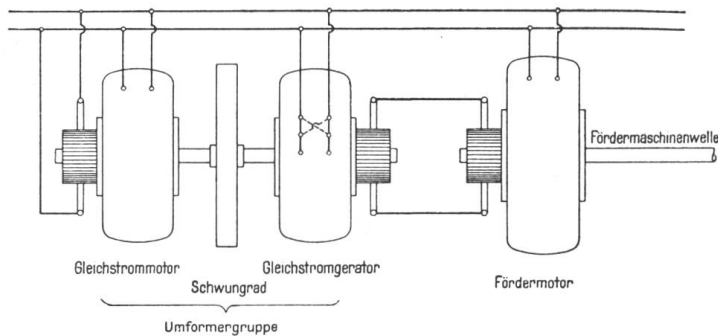


Abb. 1. Fördermaschinenantrieb mittels Ward Leonard-Schaltung und Ilgner-Schwungrad für Gleichstromnetze; Regelung normalerweise nur durch Feldveränderung am Gleichstromgenerator.

Anwendung der Ward Leonard-Schaltung auf Wechselstromnetze. Die besonders zahlreichen Anwendungen der Ward Leonard-Schaltung auf Wechselstromnetze finden sich bei ortsfesten Anlagen fast ausschliesslich im Anschluss an Drehstrom-Energieverteilungen. Andererseits hat eine Benutzung der Ward Leonard-Schaltung für elektrische Triebfahrzeuge lediglich in Verbindung mit Einphasenbahnen stattgefunden. Bei den ortsfesten Anwendungen der Ward Leonard-Schaltung auf Wechselstromnetze ist in den Fällen, wo eine Rückwirkung auf das stromliefernde Netz vermieden oder abgeschwächt werden soll, ebenfalls der Einbau von Schwungrädern in die Umformergruppe (System *Ilgner*) erforderlich und zeigt Abbildung 2 das Schema einer solchen Anordnung.

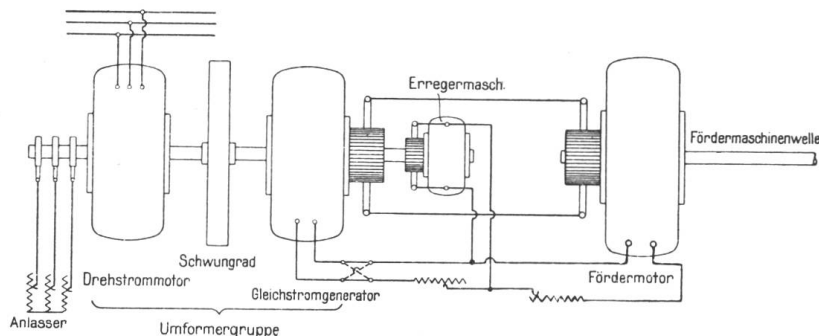


Abb. 2. Fördermaschinenantrieb mittels Ward Leonard-Schaltung und Ilgner-Schwungrad für Drehstromnetze.

¹⁾ Schweiz. Bauzeitung, Bd. XXXIX, S. 121.

Die Einphasen-Bahnanlage, auf der die Ward Leonard-Schaltung eine praktische Erprobung gefunden hat, ist die frühere Versuchsstrecke Seebach-Wettingen der Schweizerischen Bundesbahnen. Anlässlich der vorgenommenen Versuche ist daselbst die Ward Leonard-Schaltung für Bahnbetrieb noch im Besondern dahin verbessert worden, dass für das Anlassen des Primärteils des Umformers die als Einphasenseriemotor geschaltete Erregerdynamo des Sekundärteils und der Achsentriebmotoren zur Verwendung kommen konnte; Einzelheiten können dem Schema in Abbildung 3 entnommen werden.¹⁾ Es mag hier bemerkt

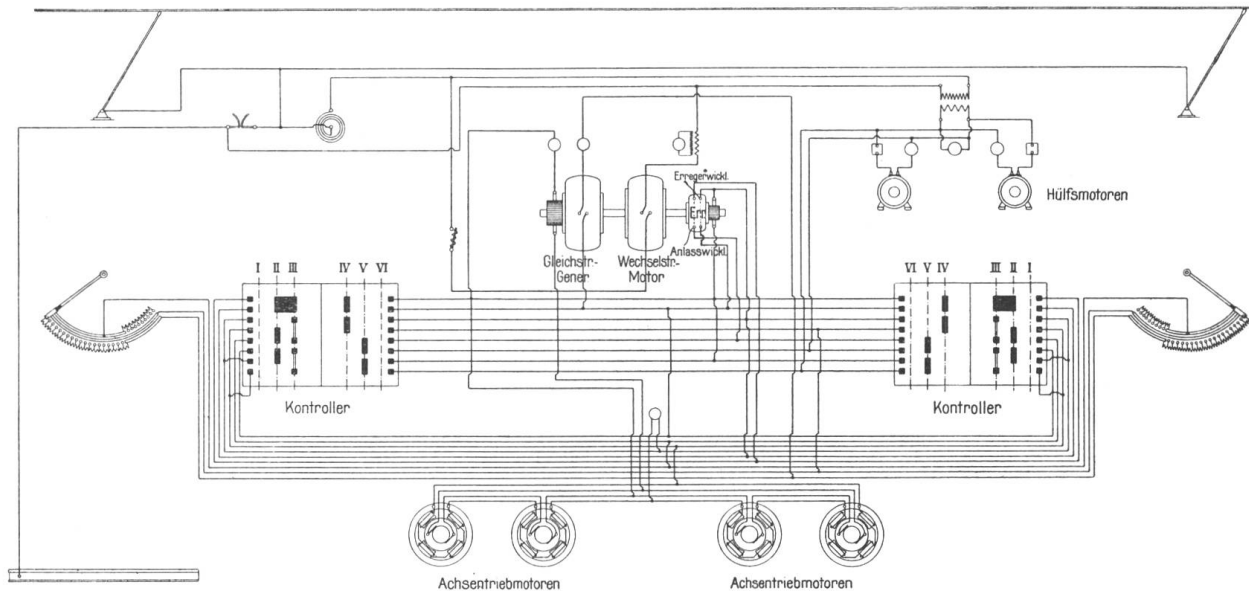


Abb. 3. Lokomotivantrieb mittels Oerlikon-Leonard-Umformung für Einphasen-Bahnanlagen.

werden, dass durch die Fortschritte in der Ausbildung der Einphasenkommutatormotoren die Ward Leonard-Schaltung für Einphasenbetrieb heute völlig überholt ist; diese Bemerkung trifft ferner zu für alle weiteren Einphasen-Gleichstrom-Umformungssysteme für Traktionszwecke, beispielsweise also auch für die Redresseur-Schaltung nach *Auvert-Ferrand*,²⁾ die von der Paris-Lyon-Méditerranée-Bahngesellschaft praktisch erprobt wurde.

Eine weitere Gruppe von Regulierschaltungen für Gleichstrommotoren, die man gelegentlich auch als „Leonardschaltungen“ zu bezeichnen pflegt, betreffen sog. *indirekte elektrische Antriebe*, wie sie neuerdings für den Antrieb von Fördermaschinen, Eisenbahnfahrzeugen und Schiffen bei Verwendung von unmittelbar kraftpendenden aber nur mittelbar antreibenden Dampfturbinen, Explosionsmotoren und Verbrennungsmotoren (Ölmotoren) vorkommen. Streng genommen ist die Bezeichnung „Leonardschaltungen“ für derartige Regulierschaltungen dann unzutreffend, wenn eine elektrische Umformung vermieden ist, da ja nach dem Patentanspruch von Ward Leonard die Zuführung von Ankerstrom variabler Spannung, wie sie bei diesen indirekten Gleichstromantrieben meistens erfolgt, noch nicht das Erfindungsmerkmal der nach ihm benannten Schaltung bildet. Weiter sind derartige Antriebe auch nur dann als „Regulierschaltungen“ zu bezeichnen, wenn ausser dem Gleichstromgenerator und dem Gleichstrommotor zum mindesten noch eine besondere Gleichstrom-Erregerdynamo als „Regelmaschine“ benutzt wird. Der älteste, allgemein bekannt gewordene derartige Antrieb dürfte im Jahr 1891 auf den dampf-elektrischen Lokomotiven von *Heilmann*, die für die französische „Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest“ während einiger Zeit im Betriebe waren, installiert worden sein. Der erste, in Bezug auf Leistungsfähigkeit bedeutende Antrieb dieser Art dürfte der Fördermaschinen-Antrieb sein, den die A.-G. Brown,

¹⁾ In dieser Abbildung ist im Gegensatz zu den übrigen Abbildungen, die nur generelle Schemata darstellen, ein detailliertes Schema veranschaulicht, da nur mittels eines solchen die Doppelverwendung der Erregermaschine verdeutlicht werden kann.

²⁾ Revue générale des Chemins de fer 1911, 34^e Année, I, page 497 etc.

Boveri & Cie. auf Mauve-Schacht in Beuthen (Ost-Schlesien) erstellt hat und der durch das Schema in Abbildung 4 veranschaulicht ist. Wie diesem Schema entnommen werden kann, ist die antreibende Dampfturbine ausser mit dem Gleichstrom-Generator und der Erregerdynamo für den Förderbetrieb auch noch mit einem Drehstrom-Generator gekuppelt, der auf ein gleichmässig belastetes Netz arbeitet und die sog. Grundbelastung der Antriebsturbine liefert; er nimmt auch, während der Bremsperioden des Fördermotors, die frei werdende Bremsenergie als Nutzarbeit auf, derart, dass nunmehr in diesen Perioden eine elektrische Energieumformung stattfindet.

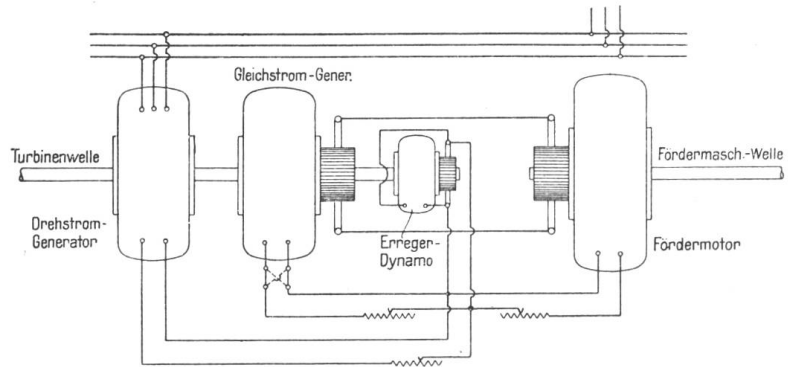


Abb. 4. Fördermaschinenantrieb mit Gleichstrom-Regulierschaltung und Drehstrom-Grundbelastung der Kraftmaschine.

In den vorgeführten und durch die Abbildungen 1—4 schematisch veranschaulichten Regulierschaltungen für Gleichstrommotoren finden wir alle prinzipiellen Gesichtspunkte entwickelt, die für die Ausbildung solcher Regulierschaltungen massgebend sind. Es versteht sich von selbst, dass diese Gesichtspunkte auch in anderer Weise als in Anlehnung an die hier mitgeteilten Schemata zu verwirklichen sind; es finden sich tatsächlich solche Anlagen denn auch in grösster Anzahl und Mannigfaltigkeit vor. Ihre Aufzählung und eingehendere Beschreibung kann jedoch hier, nach Erledigung der prinzipiellen Gesichtspunkte, wohl unterbleiben.

Regulierschaltungen für Wechselstrommotoren.

Unter den heute technisch wichtigen Anwendungen von Regulierschaltungen für Wechselstrommotoren, im Besondern für Drehstrommotoren, können wir zwei Gruppen unterscheiden: eine erste Gruppe beruht auf der Frequenzregelung im Primärteil (Stator) der Motoren, eine zweite Gruppe auf der Frequenzregelung im Sekundärteil (Rotor) derselben. Für die erste Gruppe können daher die Traktionspatente von *Kummer* und von *Hallberg* als Ausgangspunkt angesehen werden, wenn auch die betreffenden Regulierschaltungen für das Gebiet der elektrischen Traktion heute nicht mehr von Bedeutung sind. Für die zweite Gruppe von Regulierschaltungen sind *Linsenmann* und *Krämer* als grundlegende Pioniere anzusehen.

Regulierschaltungen für Drehstrommotoren mit Frequenzregelung im Stator.

Die Bedeutung von Regulierschaltungen für Drehstrommotoren mit Frequenzregelung im Stator liegt heute ausschliesslich in deren Anwendung auf sog. indirekte elektrische Antriebe, die, wie bereits erwähnt, für Fördermaschinen, Eisenbahnfahrzeuge und Schiffe bei Verwendung von unmittelbar kraftspendenden, aber nur mittelbar antreibenden Dampfturbinen, Explosionsmotoren und Verbrennungsmotoren in Gebrauch sind. Die betreffenden Regulierschaltungen sind vorerst nur im Schiffsantrieb zu einer gewissen Bedeutung gekommen, wo die Verwendung von Dampfturbinen zum unmittelbaren Antrieb der Propeller, infolge der Nichtübereinstimmung der günstigen Umdrehungszahl für die Turbinen einerseits und den Propeller andererseits, sowie bei besonderen Bedingungen für das Rückwärtsfahren den indirekten elektrischen Antrieb gerufen haben. Eine solche Regulierschaltung ist von *W. P. Durnall* unter dem Namen „Paragonsystem“ eingeführt und von *F. Niethammer* und *E. Siegel* weiter entwickelt worden.¹⁾ Die höchste Regulierfähigkeit für eine solche Anordnung ist in dem Schema von *K. Zickler* und *R. Czepek* vertreten, das wir in Abbildung 5 wiedergeben.²⁾

¹⁾ E. K. B. 1910, S. 673 ff.

²⁾ E. & M. (Wien) 1912, S. 637 ff. (Ö. P. 51 523).

Dieses System beruht auf der Kombination eines mit konstanter Umdrehungszahl angetriebenen Induktionsgenerators mit einem Umformer und einer Gleichstrommaschine; die ganze Regelung beruht auf der Verstellung der Regulierwiderstände in den Erregerstromkreisen.

Regulierschaltungen für Drehstrommotoren mit Frequenzregelung im Rotor. Die Regulierschaltungen für Drehstrommotoren mit Frequenzregelung im Rotor bezwecken die

Nutzbarmachung der Schlüpfungsenergie von Drehstrommotoren innerhalb des gewünschten Bereiches der Drehzahlregelung. Die hierzu erforderlichen Regelmaschinen können gegründet sein auf die Verwendung von Gleichstrom-Kommutatormaschinen als Zwischenmaschinen (Systeme Linsenmann, Krämer, Heyland), oder auf die Verwendung von Wechselstrom-Kommutatormaschinen als Zwischenmaschinen (Systeme Krämer, Scherbius, Heyland). Eine vollständige Würdigung dieser Regulierschaltungen für Drehstrommotoren mit Frequenzregelung im Rotor ist von Dr. *Georg Meyer*, Berlin, in einer „Die Verwendung verlustlos regelbarer Drehstrommotoren“ betitelten Arbeit in dem Abschnitt „Regelsätze für beschränkten Regelbereich“ gegeben worden,¹⁾ auf die hier verwiesen sein möge. Wir können uns hier darauf beschränken, diejenigen bezüglichlichen Anordnungen aufzuführen, die eine grössere praktische Bedeutung erlangt haben. Die Anwendungen, die hier in Frage kommen, sind insbesondere Antriebe in Hüttenwerken, nämlich Antriebe von Walzenstrassen, von Gebläsemaschinen, von schnelllaufenden Hochdruckpumpen u. dgl.

Da ist zunächst das *Reguliersystem mit Einankerumformer nach Krämer* (D. R. P. 177 270) aufzuführen, das wir schematisch in Abbildung 6 veranschaulichen; ausser dem

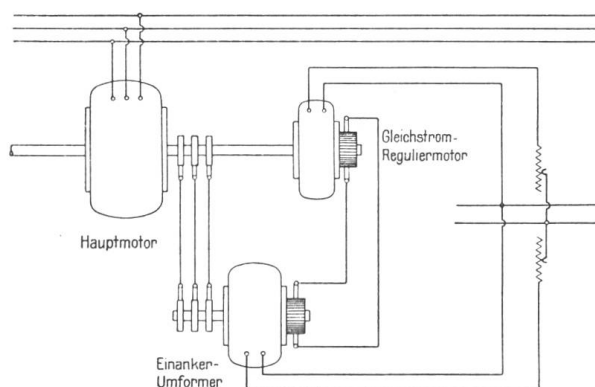


Abb. 6. Drehstrom-Hüttenmaschinenantrieb nach dem Reguliersystem mit Einankerumformer nach Krämer.

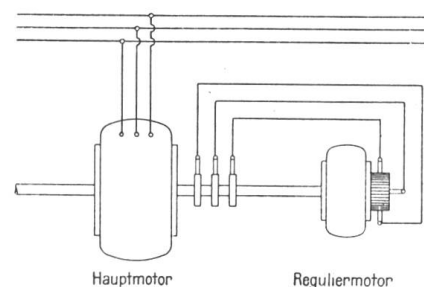


Abb. 7. Drehstrom-Hüttenmaschinenantrieb nach dem Reguliersystem mit Drehstromkommutator-Hintermotor nach Krämer.

eigentlichen Motor, dem sog. Hauptmotor, umfasst es einen Gleichstrom-Hintermotor in Verbindung mit dem Umformer. Der an die Schleifringe des Hauptmotors angeschlossene Einankerumformer wandelt die Schlüpfungsenergie um in Gleichstromenergie, die dem Hintermotor als solche zugeführt und von diesem in mechanische Arbeit umgesetzt wird; durch Einwirkung auf die Erregung des Hintermotors wird die Regulierung der Umdrehungszahl bewirkt.

¹⁾ E. K. B. 1911, S. 421.

Nahe verwandt mit der soeben beschriebenen Anordnung ist das *Reguliersystem mit Drehstrom-Kommutator-Hintermotor nach Krämer* (D.R.P. 169 453), das wir in Abbildung 7 schematisch vorführen; hier wird die Schlüpfungsenergie einem Drehstrom-Kommutatormotor zugeführt, der mit dem Hauptmotor durch Kupplung oder Riemenantrieb mechanisch verbunden ist. Für die Regulierung der Geschwindigkeit dient bei innerer Reihenschluss-schaltung des Reguliermotors eine Bürstenverstellung am Kommutator.

Eine Weiterentwicklung des soeben erläuterten Reguliersystems haben wir in dem *Reguliersystem mit Regulieraggregat nach Scherbius* (D. R. P. 179 525) zu erblicken, dessen Einzelheiten der Abbildung 8 entnommen werden können. Das Regulieraggregat besteht hier aus einer besondern Umformergruppe, gebildet aus dem als Kommutatormaschine gebauten und an die Rotorschleifringe des Hauptmotors angeschlossenen Reguliermotor und einem auf das Netz zurückarbeitenden Induktionsgenerator. Die Regulierung beruht auf der Änderung der Nebenschlusserregung des Reguliermotors und kann auch dazu benutzt werden, um die Phasenverschiebung des Hauptmotors zu kompensieren.

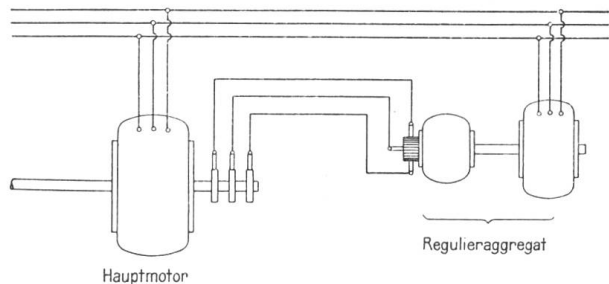


Abb. 8. Drehstrom-Hüttenmaschinenantrieb nach dem Reguliersystem mit Regulieraggregat nach Scherbius.

Als letztes Reguliersystem möge schliesslich noch auf das *Reguliersystem mit Frequenzwandlung nach Siemens-Schuckert-Heyland* näher eingetreten werden, dessen Prinzip dem Schema in Abbildung 9 zu entnehmen ist. Eine wesentliche Eigenschaft aller solcher Systeme

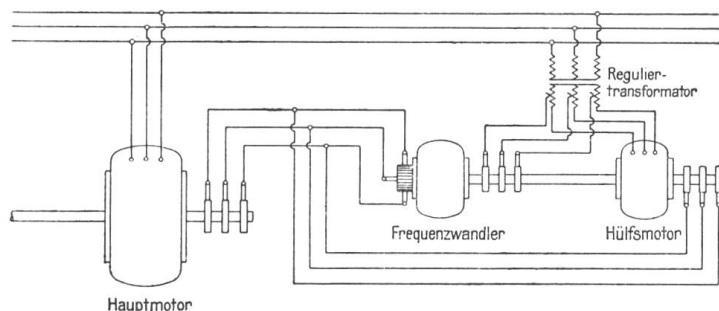


Abb. 9. Drehstrom-Hüttenmaschinenantrieb nach dem Reguliersystem mit Frequenzwandlung nach Siemens-Schuckert-Heyland.

liegt darin, dass der Hauptmotor auch unabhängig vom Regelsatz betrieben werden kann. Als Frequenzwandler dient eine Kommutatormaschine, die die Frequenz des Rotors des Hauptmotors in die Netzfrequenz umwandelt, und die mit demselben synchron rotieren muss; der Frequenzwandler ist daher entweder mit dem Hauptmotor mechanisch gekuppelt, oder er wird von einem besondern asynchronen Hilfsmotor angetrieben, der primär und sekundär an dieselben Frequenzen angelegt sein muss, wie der Hauptmotor. Die Regelung erfolgt über einen Reguliertransformator, mittels dessen der Frequenzwandler an das Netz angeschlossen ist.

Ein Überblick über die verschiedenen Regulierschaltungen für Gleichstrommotoren und für Wechselstrommotoren, von denen die für die praktische Anwendung wichtigsten hier näher erläutert wurden, zeigt, dass derzeit die Elektrotechnik mit Hilfe dieser zum Teil recht umständlichen Anordnungen eine Reihe schwieriger Probleme des elektromotorischen Antriebs bewältigt. Wie wir bereits bemerkten, ist zu erwarten, dass mit der Weiterentwicklung der Starkstromtechnik, insbesondere der Mehrphasen-Kommutatormotoren, die komplizierten Einrichtungen, die zu den Regulierschaltungen gehören, mehr und mehr verschwinden werden. Indessen sind wir von diesem Entwicklungsziel noch weit entfernt und kommen daher die Regulierschaltungen noch sehr ernsthaft in Betracht und zwar insbesondere im Antrieb von Bergwerk- und Hüttenmaschinen. Die Regulierschaltungen, um die es sich hier handelt, sind zweckmässigerweise Gleichstrom-Leonardschaltungen im Falle von grossem Regelbereich bei grossen Leistungen, und anderseits Drehstrom-Regulierschaltungen für Frequenzregelung im Rotor im Falle von kleinerem Regulierbereich bei grossen Leistungen. Ob sich die Regulierschaltungen im sog. indirekten Antrieb, insbesondere also im Antrieb von Schiffen, werden behaupten können, ist eine Frage, die nicht nur von der Entwicklung der elektrischen Maschinen, sondern auch von derjenigen der mechanischen Motoren abhängig ist; für diesen indirekten elektrischen Schiffsantrieb dürften zunächst die Drehstrom-Regulierschaltungen für Frequenzregelung im Stator zufolge der Möglichkeit der Anwendung von Drehstrommotoren mit Kurzschlussankern an den Propellerwellen als besonders aussichtsvoll angesehen werden können.

