

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 14 (1923)
Heft: 3

Artikel: Neuere Bauformen des Drehstrominduktionsmotors
Autor: Sachs, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060366>

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,
im Januar dazu die Beilage „Jahresheft“.

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

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Seefeldstrasse 301, Zürich 8 — Telephon: Hottingen 7320,
welches die Redaktion besorgt.

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

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36/38 Zürich 4 Telephon Selnau 7016

Ce bulletin paraît mensuellement. — „L'Annuaire“ est
distribué comme supplément dans le courant de janvier.

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

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Seefeldstrasse 301, Zurich 8 — Telephon: Hottingen 7320
qui s'occupe de la rédaction.

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

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36/38 Zurich 4 Telephon Selnau 7016

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de
l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XIV. Jahrgang
XIV^e Année

Bulletin No. 3

März 1923
Mars

Neuere Bauformen des Drehstrominduktionsmotors.

Von Dr. K. Sachs, Baden.

*An Hand der neueren Patentliteratur werden
eine Anzahl neuer Bauformen des Drehstrom-
induktionsmotors mit gewickeltem Anker und
Kurzschlussläufer besprochen und deren Aus-
sichten erörtert.*

*L'auteur examine une série de nouvelles dis-
positions brevetées pour la construction de mo-
teurs à induction à induit bobiné et autres et
discute la probabilité de leur application pra-
tique.*

Der Drehstrominduktionsmotor, schlechtweg Drehstrommotor genannt, ist einerseits dank einer mit grösster Gründlichkeit durchgebildeten Theorie, die als Errungenschaft erst des letzten Dezenniums die Streuung mit *allen* ihren Komponenten mit grosser Genauigkeit vorauszuberechnen gelehrt hatte, andererseits durch die jahrzehntelangen Erfahrungen grosser und kleiner Firmen auch in konstruktiver Hinsicht in beiden Formen, mit Phasen- oder Kurzschlussanker, zu der vollkommensten Maschine geworden, die die Elektrotechnik kennt, die — so sollte man meinen — in der Entwicklung als abgeschlossen gelten kann. Schon vor vielen Jahren aber setzte gleichzeitig das Bestreben ein, die völlig verschiedenen Anlauf- und Laufverhältnisse der beiden Motorformen gewissermassen umzugliessen, d. h. eine einzige Motorform zu schaffen, die in sich die günstigen Laufverhältnisse des Kurzschlussankermotors mit den gleich guten Anlaufbedingungen des Motors mit gewickeltem Anker vereinigen sollte. Massgebend für diese Bestrebungen waren in erster Linie Erwägungen konstruktiver und betriebstechnischer Natur. Der Anlasser stellt, sofern er nicht für dauernde Schlupfregulierung dient, ein teures Attribut des Motors mit gewickeltem Anker dar, amortisiert sich infolge seiner geringen „Benutzungsdauer“ nur schwer und erfordert mit seinen Schleifkontakten, ebenso wie die Schleifringe und Bürsten des Motors, Unterhalt und Wartung. Der Kurzschlussankermotor hingegen besticht immer wieder durch seinen einfachen und robusten Aufbau und das Fehlen jeglicher Schleifkontakte. Seine Anwendung ist aber aus bekannten Gründen nur auf Motoren kleiner Leistung beschränkt geblieben. Da nun die lapidarste Lösung, d. h. die Aus-

bildung des Kurzschlussankers mit hohem Anlauf mit dem Maximalmoment angepasstem Widerstand (Kurzschlussringe aus Widerstandsmaterial) Wirkungsgrad und Schlüpfung des Motors bei Lauf sehr erheblich verschlechtern würde, hat man im Laufe der Zeit und neuerdings wieder eine Anzahl von mehr oder weniger aussichtsvollen Zwischenformen geschaffen, die in der Folge hier im Zusammenhang besprochen werden sollen. Da einige derselben auf älteren, bereits bekannten Lösungen fussen, sollen auch diese der Vollständigkeit wegen kurz erwähnt werden.

Zu den ältesten Konstruktionen dieser Art gehören die *Motoren mit mitrotierendem Anlasswiderstand*, der durch einen unter Einwirkung der Fliehkraft stehenden Schalter stufenweise kurzgeschlossen wird ¹⁾. So einfach das Problem auch prinzipiell ist, konstruktiv einigermassen einfache und betriebssichere Lösungen sind auf diesem Gebiete eigentlich erst in den letzten Jahren bekannt geworden. Die Schwierigkeit

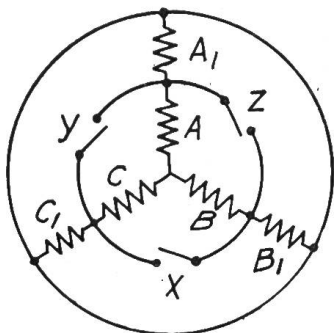


Fig. 1

liegt eben darin, dass zur Erzeugung der zur Betätigung der Schalter erforderlichen Fliehkräfte schwerfällige Konstruktionen nötig sind, deren Unterbringung bei kleinen Motoren mit kleinem Durchmesser Schwierigkeit macht. Gerade aber bei den letzteren, bei denen der stationäre Anlasser einen unverhältnismässig hohen Anteil am Gesamtanschaffungspreis ausmacht, wäre eine Verbilligung und Vereinfachung durch Einbau des Anlassers oder sonst eine passende Anordnung erwünscht gewesen. Eine nicht uninteressante Lösung hat vor einiger Zeit *J. Lebovici* ²⁾ vorgeschlagen. Dabei besteht die Rotorwicklung aus zwei Teilen (Fig. 1), und zwar aus der in Stern geschalteten Stammwicklung *A, B, C* von geringem Widerstand und der beim

Anlauf dazu in Serie geschalteten Zusatzwicklung *A₁, B₁, C₁* aus Widerstandsmaterial. Die drei Zentrifugalschalter *X, Y, Z* schliessen bei einer bestimmten Tourenzahl beide

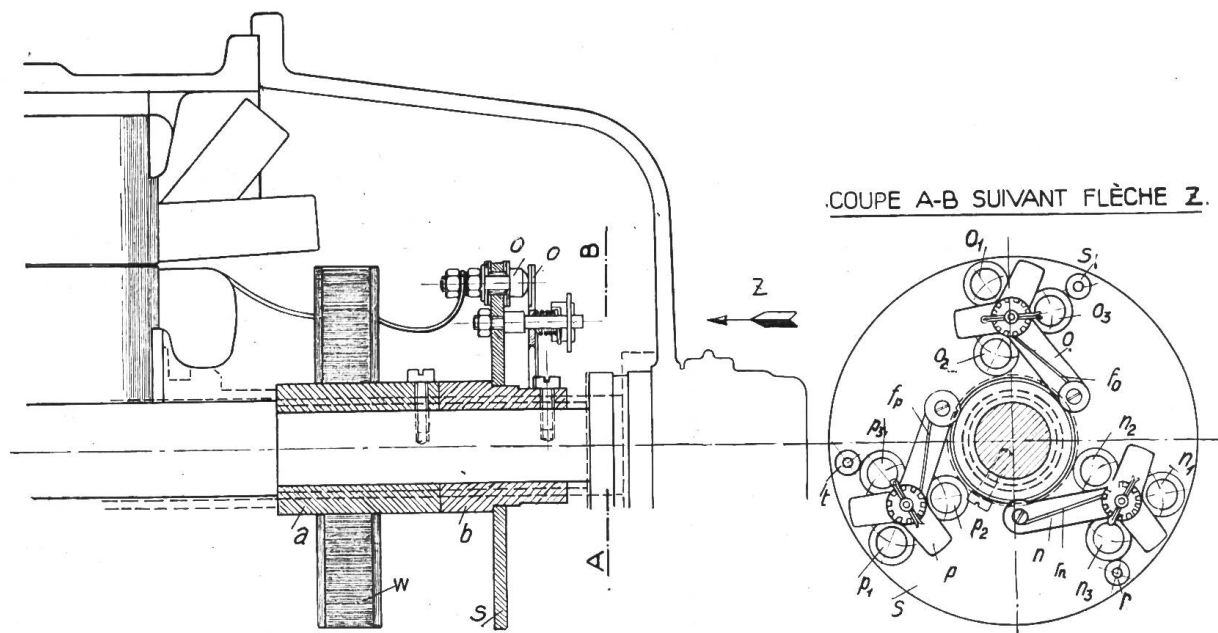


Fig. 2

Wicklungshälften in sich kurz. Bei grossen Motoren ist es erforderlich, die Zusatzwicklung zu unterteilen und stufenweise kurzzuschliessen. Der Motor von *Lebovici*

¹⁾ Motoren dieser Art wurden und werden von nahezu allen Firmen gebaut, so von Siemens & Halske, der AEG, der G. E. Co. und der Maschinenfabrik Oerlikon (beispielsweise die von dieser Firma gebauten Motoren der auf der Chur-Arosa-Bahn arbeitenden Umformer im neuen Kraftwerk der Stadt Chur an der Plessur).

²⁾ El. World, Bd. 71 (1918) Heft 17; E. u. M. 1919, Seite 445.

ist allerdings nicht neu und fusst bereits auf einer von *H. S. Meyer* im Jahre 1902 angegebenen Anordnung³⁾. Meyer bezeichnet die hochohmige Zusatzwicklung als Anlasswicklung, die er aus vielen Windungen dünnen Eisendrahtes mit abgestuftem Querschnitt ausführt und am Nutgrund unterbringt.

Sehr beachtenswert ist der vor kurzem bekannt gewordene Fliehkraftanlasser von *H. Cuénod* in Genf-Châtelaine⁴⁾, der vermöge seiner konstruktiven Durchbildung auch bei kleineren Motoren angewendet werden kann. Fig. 2 zeigt die Anordnung im Schnitt. Auf der Motorwelle sitzen zwei Büchsen, auf deren einer *a* der passend unterteilte Anlasswiderstand *W*, auf deren anderer *b* der eigentliche Fliehkraftschalter angebracht ist. Dieser besteht aus einer Scheibe *S*, die entsprechend der gewählten Widerstandsunterteilung drei Gruppen von Bolzenkontakten $n_1 n_2 n_3$, $o_1 o_2 o_3$

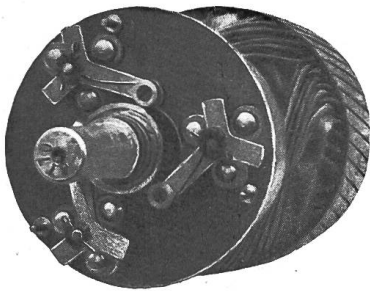


Fig. 3

und $p_1 p_2 p_3$ trägt, die mit den Anschlusspunkten des Anlasswiderstandes verbunden sind. Zu jeder Gruppe von Kontakten gehört je ein um seine Mittelachse drehbarer Kontakthebel *n*, *o*, *p* mit je drei Armen, von denen zwei gleich lang und unbeschwert sind, während je der dritte verlängerte entsprechend beschwert ist. Bei Stillstand liegen unter Einwirkung der Federn f_n , f_o und f_p die Kontakthebel mit ihrem beschwerten Ende auf der Büchse *b* auf. Bei Lauf wird die Federkraft durch die Fliehkraft überwunden, die Kontakthebel bewegen sich mit ihrem beschwerten Ende nach aussen, und zwar durch passende Abstimmung ihrer Gewichte in der Reihenfolge *n*, *o* und *p*. Bei ihrer Bewegung gleiten

die Kontakthebel mit ihren drei Armen über die Bolzenkontakte und schliessen diese und den Anlasswiderstand stufenweise kurz. Die Anschläge *r*, *s*, *t* verhindern ein Hinausschnellen der Kontakthebel über die Endstellung hinaus. Fig. 3 zeigt den Cuénodschen Anlasser in Ansicht.

Ein neuerer Motor mit Zentrifugalanlasser ist ferner jener von *T. F. Dunker* in Berlin, der 1921 an der Ausstellung in Essen zu sehen war⁵⁾. Dunker verwendet als Anlasswiderstand hochüberlastbare Widerstandspatronen, die in einem ringförmigen Rahmen sitzen und sich leicht auswechseln lassen. Das zwangsläufige Abschalten der Widerstandsstufen in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit des Ankers wird hier dadurch erreicht, dass die Schwunggewichte des in einem rechteckigen Rahmen untergebrachten Reglers durch zwei Hebel so mit der Nabe verbunden sind, dass bei der Bewegung der Gewichte nach aussen gleichzeitig eine Verdrehung des Reglers auf der Achse stattfindet. Fig. 4 zeigt den Zusammenbau des Motorankers mit Anlasser und Fliehkraftschalter.

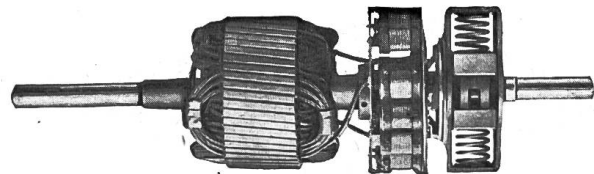


Fig. 4

Die *Maschinenfabrik Oerlikon* hat für ihre Kleinmotoren einen Zentrifugalanlasser entwickelt, der je nach Grösse der zugehörigen Motoren 3- und 6stufig (Fig. 5) und 9- und 12stufig (Fig. 6) gebaut wird. Der Anlasser besteht aus einem mit Kammern 2 versehenen Gussgehäuse 1, wobei die Zahl der Kammern der Stufenzahl des Anlassers entspricht. Der mitrotierende Widerstand 3 ist bandförmig aufgewickelt und wird durch die Bandagen 4, die Bügel 5 und die Schrauben 6 bzw. 7 gehalten. Die Wirkungsweise des Anlassers ist die folgende: Der primär an das Netz angeschlossene Motor nimmt eine dem vorgeschalteten Gesamtwiderstand entsprechende Tourenzahl an, wobei unter Einfluss der auf die Kontakte 8 wirkenden

³⁾ D. R. P. 138901, U. S. A. P. 769098.

⁴⁾ Schweiz. Pat. 83966, F. P. 512456.

⁵⁾ Siehe auch E. T. Z. 1921, Seite 1103.

Zentrifugalkraft der erste Kontakt nach aussen springt, sobald diese eine solche Grösse erreicht hat, dass die Kraft der Feder 10 überwunden wird. Dabei sind die ersten Kontakte zur Erlangung der nötigen Zentrifugalkraft mit einer Kontaktverlängerung 19 versehen. Beim Hinausspringen des ersten Kontaktes – unter Einwirkung des Sperrbolzens 12 mit der zugehörigen Feder 13 – wird dieser mit dem Bolzen 9 elektrisch verbunden, wodurch beim 3 stufigen Anlasser die erste Phase des Widerstandes kurzgeschlossen wird. Die Tourenzahl steigt entsprechend dem nunmehr reduzierten Widerstand, der zweite Kontakt springt nach aussen, wird in gleicher Weise mit dem zugehörigen Bolzen verbunden, und die zweite Phase des Widerstandes ist kurz-

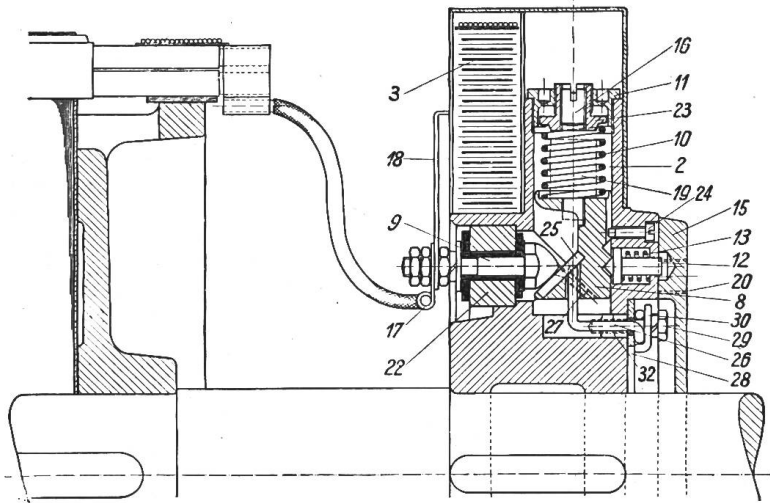


Fig. 5

geschlossen. Wieder steigt die Tourenzahl, der dritte Kontakt springt nach aussen, damit wird die dritte Phase des Widerstandes kurzgeschlossen, und der Motor erreicht die volle Drehzahl. Bei 6 stufiger Ausführung des Anlassers wird der Widerstand jeder Phase in zwei Stufen unterteilt, und es wird, ähnlich wie bei den Anlasserschaltungen bei Kranen und Aufzügen, hintereinander die erste Stufe der Phase I, dann die erste Stufe der Phase II und dann die erste Stufe der Phase III kurzgeschlossen. Dann wird die zweite Stufe der Phase I, dann die zweite Stufe der Phase II und zuletzt die zweite Stufe der Phase III kurzgeschlossen. Bei dem 9- bzw. 12 stufigen Anlasser ist der Widerstand jeder Phase in 3 bzw. 4 Stufen unterteilt. Die Reihenfolge des Kurzschliessens erfolgt analog wie beim 3 stufigen Anlasser. An den Kontakteinsatz 25 ist beim 9- und 12stufigen Anlasser das Ableitkabel 26 angelötet. Die Rotorwicklung des Motors ist an die drei Oesen 17 angeschlossen. Die Bänder 18 bewerkstelligen die Verbindung zwischen Widerstand 3 und Kontaktbolzen 9. Der Ring 15 dient zum gasdichten Abschluss des Apparates. Zum Unterschied von den bisher beschriebenen Anordnungen erfolgt bei den Oerlikon-Anlassern das Kurzschliessen der einzelnen Widerstandsstufen nicht

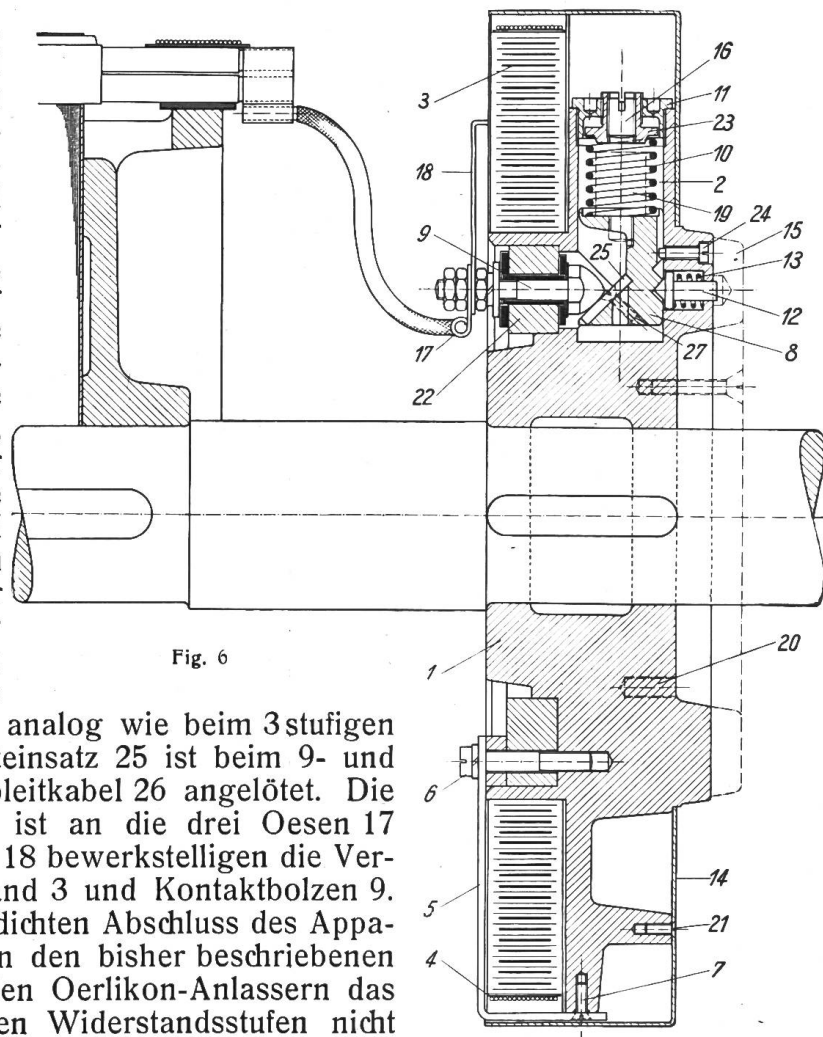


Fig. 6

gleichzeitig, sondern hintereinander. Die hierdurch primär entstehende ungleiche Phasenbelastung ist aber bei der Raschheit, mit der sich der Schaltprozess vollzieht, nicht von Bedeutung.

Das Prinzip des *Zentrifugalanlassers der A.-G. Brown, Boveri & Cie.* erhellt aus Fig. 7. Eine auf der Welle 1 des Motors befestigte Gusstrommel 2 trägt in ihrem Innern so viel Einzelkontaktapparate, als Widerstandsstufen vorhanden sind. Gezeichnet ist der Deutlichkeit halber nur ein Kontaktapparat. Er besteht aus dem im Drehpunkt 5 gelagerten Hebel 4, der an seinem Ende zur Erhöhung seiner Masse das Gewicht 6 trägt, und aus der Kontaktplatte 7, die unter Zwischenschaltung einer nachgiebigen Unterlage 8 mit dem Hebel 4 verbunden ist. Bei Lauf des Motors überwindet die auf den Hebel 4 bzw. sein beschwertes Ende wirkende Fliehkraft die Gegenkraft der Feder 9, die Kontaktplatte 7 bewegt sich (in der Pfeilrichtung) nach aussen und verbindet die drei Bolzenkontakte, die mit korrespondierenden Punkten des mitrotierenden Anlasswiderstandes verbunden sind. Durch die federnde Zwischenlage 8 wird eine gleichmässige Auflage der Platte auf den Kontakten erreicht. Hier erfolgt also die Abschaltung des Widerstandes in allen Phasen wieder gleichzeitig.

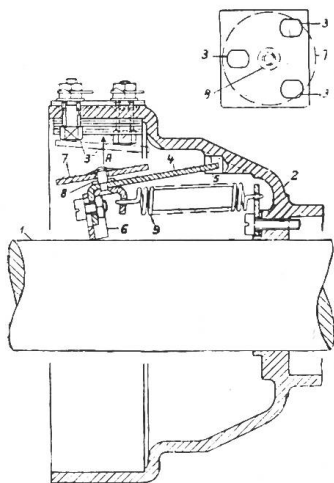


Fig. 7

Neben diesen rein konstruktiven Massnahmen der Verlegung des Anlasswiderstandes in den Motor, setzten auch Bestrebungen ein, durch passende Schaltung der Rotorwicklung, also auf elektrischem Wege, den Anlasswiderstand ganz entbehrlich zu machen. Einen vollwertigen Ersatz für den Anlasser vermögen aber diese Schaltungen nicht zu geben, da sie, wenn sie nicht einen komplizierten Schalter, der natürlich mitrotiert, erforderlich machen sollen,

nur in wenigen Stufen schaltbar sein dürfen. Der Anlassprozess ist daher nicht ganz frei von Stössen im erzeugten Drehmoment wie in der Stromaufnahme. Die bekannteste Schaltung dieser Art ist die Gegenschaltung, die *Goerges* im Jahre 1894 angegeben hat⁶⁾. Dabei besteht, wie Fig. 8 zeigt, jede Phase aus 2 Teilen von gleichem Drahtquerschnitt. Im Anlauf, wo die Punkte K_1, K_2, K_3 nicht verbunden sind, wirkt auf die Wicklungen einer Phase nur die Differenz der in ihnen induzierten *EMKK*, bei nahezu doppeltem Widerstande bzw. Reaktanz. Bei Lauf werden die Wicklungen durch einen Fliehkraftschalter, der die Punkte K_1, K_2, K_3 verbindet, in üblicher Weise kurzgeschlossen. Bei Drahtwicklung lässt sich diese Wicklungsunterteilung ohne weiteres in passender Weise durchführen; schwieriger wird die Sache bei Stabwicklung (Gleichstromtrommelwicklung), die gerade für Rotoren von Drehstrommotoren sehr verbreitet ist, deren Unterteilung in der Gegenschaltung in der Regel zu unzulässigen Unsymmetrien des Rotorfeldes führt, insofern als sich die magneto-motorischen Kräfte in einzelnen Nuten aufheben, in anderen wieder ganz oder zum Teil addieren würden. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes teilt die *A.-G. Brown, Boveri & Cie.* die Wicklung jeder Phase in zwei in bezug auf ihre Stabzahl gleiche oder annähernd gleiche Teile, die beim Anlauf in einer solchen Weise einander entgegengeschaltet werden, dass sich ihre Amperewindungen nicht völlig aufheben⁷⁾. In Fig. 9 ist jede Wicklungsphase in der Mitte aufgeschnitten. Die Phasenteile *a* sind mit ihren Enden I, II, III in Stern verbunden, wobei sämtliche Stäbe eines Teiles *a* in Serie geschaltet sind. Die Phasenteile *b*, die aus zwei parallel geschalteten Gruppen in Reihe geschalteter Stäbe bestehen, sind mit den Enden 1, 2, 3 ebenfalls in Stern verbunden und beim Anlauf den Phasenteilen *a* entgegengeschaltet.

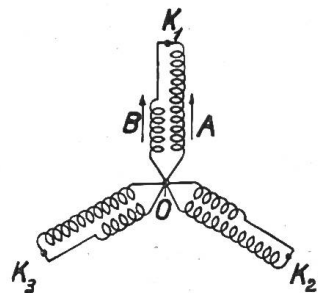


Fig. 8

⁶⁾ D. R. P. 82016; E. T. Z. 1894, Seite 646.

⁷⁾ Schweiz. P. 70824.

Bei Lauf werden durch Verbindung der Punkte u_1, u_2, u_3 die Phasenteile a den Phasenteilen b parallel geschaltet. Ist w die totale Windungszahl pro Phase und i der Strom im Wicklungsteile a , dann ist die wirksame Amperewindungszahl in Gegenschaltung

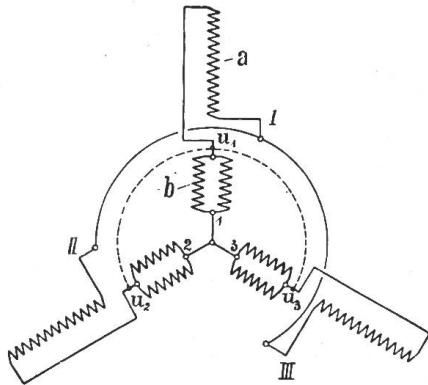


Fig. 9

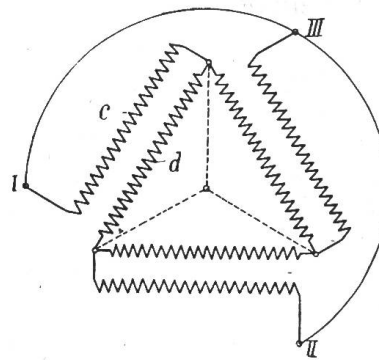


Fig. 10

$$i \frac{w}{2} - 2 \frac{i w}{2 \cdot 4} = \frac{i w}{4}.$$

Auch bei der Schaltung nach Fig. 10 ist die Wicklung jeder Phase in zwei gleiche Teile c und d geteilt, wobei die Teile c der 3 Phasen in Stern und die gegengeschalteten Teile d in Dreieck geschaltet sind. Hier kann die Zahl der in Reihe

geschalteten Windungen der beiden Wicklungsteile pro Phase gleich sein, denn die wirksamen Amperewindungszahlen sind trotzdem infolge der Verschiedenheit der Ströme im Stern- und Dreieckteil ungleich. Ist i der Strom im Teile c und w wieder die totale Windungszahl pro Phase, so beträgt hier die effektive Amperewindungszahl

$$i \frac{w}{2} - \frac{i}{\sqrt{3}} \frac{w}{2} = 0,211 i w.$$

Bei Lauf werden die in den Figuren 9 und 10 gestrichelt eingezeichneten zusätzlichen Verbindungen durch einen Fliehkraftschalter hergestellt, für den die A.-G. Brown, Boveri & Cie. zwei sehr originell durchgebildete Konstruktionen herausgebracht hat, die hier erwähnt werden mögen.

Die eine, speziell für kleinere Motoren entwickelte Konstruktion⁸⁾ zeigt Fig. 11 im Schnitt, und zwar links in der Ruhestellung (Anlauf des Motors), rechts im eingeschalteten Zustand (Laufstellung des Motors). Kennzeichnend für die Anordnung ist, dass die Kontaktbürsten c und ihre Träger h selbst die Schwunggewichte bilden. Auf der Motorwelle w sitzt eine Gleitmuffe b , die unter Einwirkung der 3 unter 120° am Umfang angeordneten Federn f so weit in Richtung des Deckels d des den ganzen Schalter umschließenden Gehäuses gedrückt wird, als es die Bürsten c erlauben. Diese werden je von einem um die Krümmung a drehbaren Winkelhebel getragen, dessen kürzerer Schenkel sich auf den vorspringenden Rand r der Gleitmuffe b abstützt. Bei Erreichen der Grenzdrehzahl legen sich die Bürsten c , die in der üblichen Weise Abbrennkontakte tragen, gegen die am Schaltergehäuse befestigten Kontakte k . Die Schnappwirkung wird dadurch erzielt, dass nach erfolgter Einleitung des Schaltvorganges die Fliehkraft im wesentlichen stärker zunimmt als die vom Federdruck ausgeübte Gegenkraft.

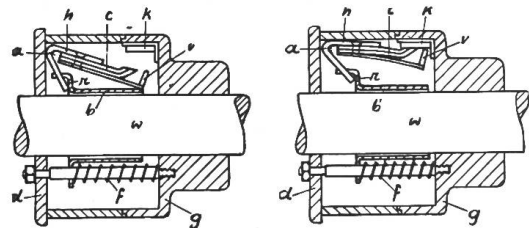


Fig. 11

Von wesentlich anderer Bauart ist die zweite, speziell auch für grössere Motoren gedachte Fliehkraft-Schalterkonstruktion⁹⁾ der A.-G. Brown, Boveri & Cie., die Fig. 12 im Schnitt zeigt, und zwar links in der Ruhestellung, rechts nach Erreichen der Grenzdrehzahl. Die Vorrichtung besteht wieder aus einem zylindrischen Gehäuse a , welches auf der Motorwelle b befestigt ist und in seinem Innern unter 120° ange-

⁸⁾ Schweiz. Patent No. 76 257, D. R. G. M. 667 983 und 668 001.

⁹⁾ Schweiz. Patent No. 74 275, D. R. P. 301 505.

ordnet isoliert, die drei mit den Rotorwicklungsenden verbundenen Kontakte *c* trägt. In dem Gehäuse zentriert sitzt konzentrisch zur Motorwelle und um diese drehbar die dreieckige Scheibe *d*, an der die drei Kontaktbürsten *e*, die wieder selbst Träger der Schwunggewichte sind, kniehebelartig um die Punkte *f* drehbar befestigt sind. Der andere Schenkel des Kniehebels *g* verbindet das Gelenk *h* mit dem am Gehäuse *a* sitzenden Drehpunkt *i*. Zwischen den Punkten *f* und *i* liegt die auf dem Gleitstück *l* geführte, als Druckfeder ausgebildete Gegenfeder, die den Kniehebel zu strecken sucht. In der Ruhestellung liegen die Bürsten an der Welle an. Mit zunehmender Drehzahl überwindet die Fliehkraft der Bürsten den Widerstand der Federn *k*.

Diese werden gespannt (zusammengedrückt), indem sich unter Drehung der Platte *d* in der Pfeilrichtung gegenüber dem Schaltergehäuse *a* die Punkte *f* und *i* einander nähern, wobei die Verbindungslinie der Punkte *f*, *h* und *i* nahezu zu einer Geraden wird. Die in der Ruhestellung bei gebeugtem Kniehebel zwangsläufig geführten Bürsten *e* können nunmehr ohne Hemmung durch die Federn *k* um die Punkte *f* schwingen, wodurch ein sattes Anliegen

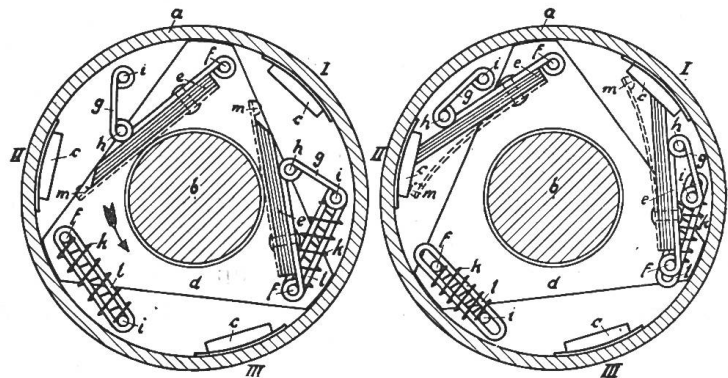


Fig. 12

der Bürsten an den Kontaktflächen auch dann gewährleistet wird, wenn diese nicht genau montiert sind. Um zu verhindern, dass der Schalter nach Erreichen der Grenzdrehzahl den Schaltprozess nicht zu Ende führt und auf halbem Wege stehen bleibt, wird der Mechanismus wieder so eingestellt, dass das von der Fliehkraft auf die Bürsten ausgeübte Moment mit zunehmendem Bürstenanschlag stärker wächst als die von den Federn auf die Bürsten ausgeübte Gegenkraft.

Alle die erwähnten Modifikationen des gewickelten Ankers sind bis zu einem gewissen Grade kompliziert, was wenigstens z. T. in dem komplizierten konstruktiven Aufbau dieser Läuferart begründet ist. Es ist aber verständlich, dass ungleich mehr Anordnungen bekannt geworden sind, die vom reinen Käfiganker ausgegangen sind, um aus diesem eine Zwischenform zu schaffen, die die Vorteile des gewickelten Ankers besitzen soll, ohne die einfache und robuste Konstruktion des Käfigankers zu verlieren. Zu der ältesten und bekanntesten Anordnung dieser Art gehört der Motor von *Boucherot*¹⁰⁾, dessen Rotor zwei konzentrisch ineinanderliegende Käfigwicklungen trägt, von denen die äussere Wicklung hohen Ohmschen Widerstand, die innere, im Nutgrund liegende Wicklung geringen Ohmschen Widerstand, jedoch vermöge ihrer Lage grosse Streuung besitzt. Der Motor arbeitet nach der resultierenden Drehmomentkurve beider Wicklungen, d. h. bei Anlauf wirkt fast ausschliesslich die äussere Wicklung allein, deren Widerstand so abgestimmt werden kann, dass der Motor mit etwa zweifachem Normalmoment anzieht. Bei Lauf ist mindestens zur Hälfte auch die innere Wicklung an der Drehmomentbildung beteiligt. Doch ist vermöge der grossen Streuung dieser Wicklung der Leistungsfaktor des Motors schlecht¹¹⁾.

Um diesen Nachteil zu beseitigen, hat in neuerer Zeit *F. Punga* den Boucherot-Motor in folgender Weise modifiziert¹²⁾. Der Rotor erhält wieder zwei konzentrische

¹⁰⁾ Bulletin de la Soc. Int. des El. 1898.

¹¹⁾ Den Motor von Boucherot baut die Firma Breguet in Paris listenmässig. Seine bedeutungsvollste Anwendung hat der Motor als Propellermotor beim Kriegsschiff „New-Mexico“ der amerikanischen Marine gefunden (General Electric Review, April-Heft 1919). Dort besteht die äussere Wicklung aus Neusilberstäben, während die innere in gewohnter Weise aus Kupferstäben ausgeführt wurde. In nahezu unveränderter Form, scheint neuerdings auch die Hengelosche Electricische en Mechanische Apparatenfabrik (Heemaf) in Hengelo, Holland, den Boucherot-Motor zu bauen.

¹²⁾ D. R. P. 328 162.

Wicklungen (Fig. 13), von denen jedoch hier die äussere als Laufwicklung mit geringem Widerstand ausgeführt und als normale verkettete Mehrphasenwicklung ausgebildet wird, während die innere Wicklung als Anlaufwicklung dient und als Käfiganker mit hohem Widerstand ausgeführt wird. Bei Anlauf wirkt ausschliesslich die innere Wicklung. Um den Anlaufstrom herabzudrücken, ist die innere (Käfig-)Wicklung zwecks Erhöhung ihrer Streuung auf eine geringere Nutzahl verteilt. Allerdings wird durch die erhöhte Rotorstreuung auch wieder das Anzugsmoment reduziert, das sich durch geeignete Abstimmung des Ohmschen Widerstandes bis zu einem Höchstwert als Optimum steigern lässt. Bei Lauf wirkt fast ausschliesslich die äussere Wicklung *a*, die bei Erreichen der normalen Drehzahl durch eine Kurzschlussvorrichtung *d* eingeschaltet wird, mit deren Betätigung zweckmässig Stern-Dreieckschaltung der Statorwicklung kombiniert werden kann. Wirkungsgrad, Schlüpfung und Leistungsfaktor bei Lauf sind beim Motor nach Punga zweifellos günstiger als beim Boucherot-Motor, dagegen kann der Punga-Motor kaum das Anzugsmoment des Boucherot-Motors erreichen, wenn auch bei den nur auf wenige Nuten verteilten Stäben der Anlaufwicklung des Punga-Motors die Stromverdrängung eine das Drehmoment erhöhende Wirkung ausüben dürfte.

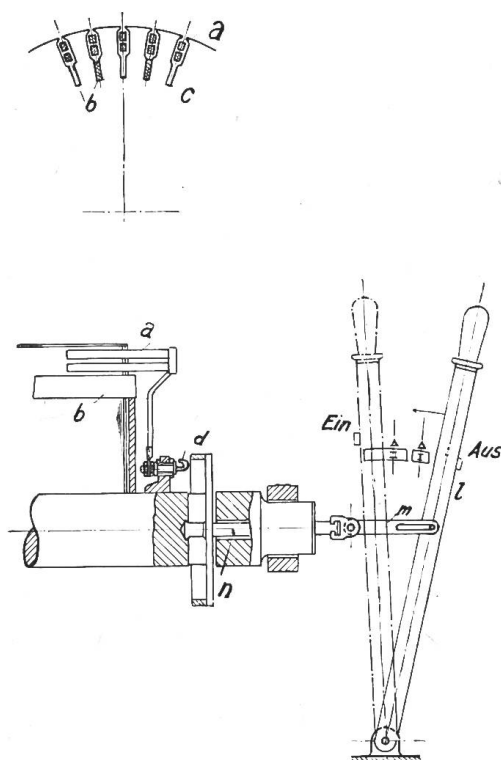


Fig. 13

Auf die Bedeutung der Stromverdrängung in den Läuferstäben von Asynchronmotoren während der Anlaufperiode hat wohl zuerst *L. D. Jones*¹³⁾ aufmerksam gemacht und auf deren Nutzbarmachung durch tiefe Nuten und radial hohe Leiter hingewiesen. *R. Rüdenberg* hat das Problem neuerdings wieder aufgegriffen¹⁴⁾ und einige sehr bemerkenswerte Lösungen vorgeschlagen, die jedoch allem Anschein nach über Versuchsausführungen noch nicht hinausgediehen sind.

Ausser seinem Doppelkäfiganker hat *P. Boucherot* im gleichen Jahre (1898) einen Motor angegeben, dessen Ständer aus zwei Teilen besteht, wovon der eine durch ein Handrad drehbar ist. Der Anker ist ein beiden Statoren gemeinsamer Kurzschlussanker mit durchgehenden Stäben, die ausser durch die Kurz-

schlussringe an den beiden Enden in der Mitte auch noch durch einen dritten Ring von besonders hohem Widerstand verbunden sind. Bei Anlauf stehen die beiden Ständerwicklungen so, dass die in den beiden Stabhälften induzierten Ströme einander entgegengesetzt gerichtet sind und ihren Weg durch den Ring von hohem Widerstand nehmen müssen, so dass der Motor mit hohem Moment anzieht. Bei Drehung der einen Ständerwicklung wird der durch den Widerstandsring fliessende Anteil des Rotorstromes kleiner und kleiner, um schliesslich praktisch auf Null zu sinken, wenn beide Statoren die gleiche relative Lage einnehmen. Der Motor läuft dann wie ein normaler Kurzschlussanker-Motor mit geringem Schlupf und hohem Wirkungsgrad. Boucherot hat später die mechanische Verdrehung des zweiten Stators durch eine Phasenumschaltung ersetzt¹⁵⁾, wobei aufeinanderfolgend die Statorphasen des einen Motors durch Wechseln des Anschlusses der Phasenenden an die Netzklemmen in drei Stufen von 60 zu 60° fortschreitend mit den Wicklungsphasen des

¹³⁾ General Electric Review 1913, Seite 229.

¹⁴⁾ E. T. Z. 1918, Seite 483 u. ff.

¹⁵⁾ L'Electricien, 2. VII. und 18. VII. 1904; siehe auch Z. f. E. 1904, Seite 479.

zweiten Stators zur Koinzidenz gebracht werden. In dieser Form hat die Firma *Cölner Elektromotorenfabrik Johannes Bruncken* den Boucherotschen Doppelmotor wieder aufgegriffen und sich eine spezielle Form der Statorumschaltung patentieren lassen (Fig. 14)¹⁶⁾, die darin besteht, dass zum Anlassen die Induktion zunächst

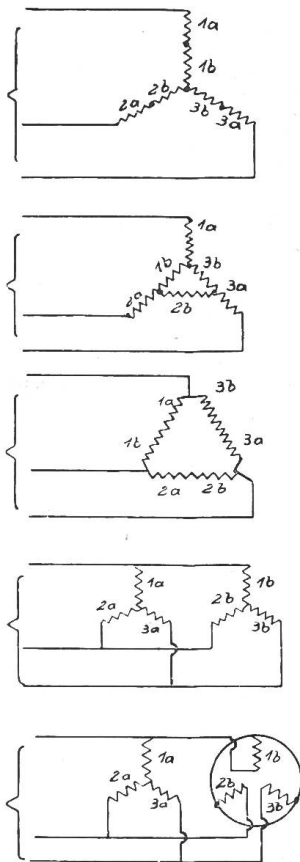


Fig. 14

dadurch entsprechend niedrig gehalten wird, dass beide Statorwicklungen in Stern und Serie zueinander geschaltet sind und hiernach die Induktion stufenweise gesteigert wird, indem aufeinanderfolgend die Schaltungen Stern-Dreieck-Serie, dann Dreieck-Serie, hierauf Stern parallel hergestellt werden. In der letzten Stufe erfolgt die Umkehrung des Drehfeldes des einen Ständers um 180° . Die Stufen I bis III sind ausgesprochene Anlasstufen zur Reduktion des Anlaufstromes. Da aber der Anlauf gleichzeitig mit reduziertem Feld erfolgt, ist auch das entwickelte Anlaufmoment trotz des zentralen Widerstandsringes entsprechend klein, weshalb der Motor in dieser Schaltung nur für schwach belasteten Anlauf geeignet sein dürfte.

Das beim Boucherotschen Doppelmotor ebenso wie bei der Bruncken'schen Modifikation desselben angewendete Prinzip der elektromagnetischen Ausschaltung des nur bei Anlauf wirkenden Läuferwiderstandes benützt *A. Aichele* in sehr origineller Weise bei seinem Kurzschlussanker¹⁷⁾ (Fig. 15), der in Verbindung mit einem polumschaltbaren Stator speziell für Schiffsantrieb entwickelt wurde. Die Rotorwicklung besteht aus lauter einzelnen, in sich kurzge-

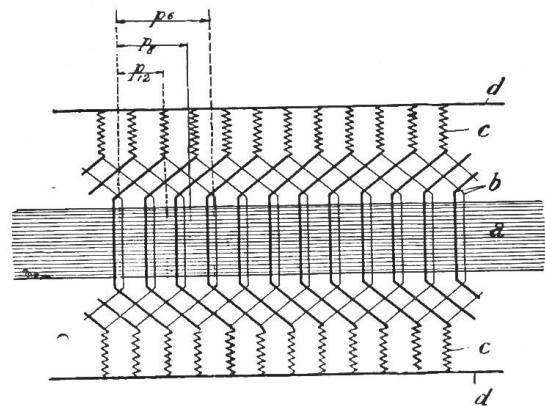


Fig. 15

schlossenen Spulen, die beidseitig an den Spulenmitten unter Zwischenschaltung von Widerstandsverbindern an kräftige Kurzschlussringe angeschlossen sind. Sind nun die Rotorspulen beispielsweise im Schritt entsprechend einer 6 poligen Teilung ausgeführt und wird in der Anlaufstellung vom Stator her 12 polig erregt, dann werden in den beiden Hälften jeder Spule jeweils Ströme von gleicher Richtung induziert, die sich durch die Widerstandsverbinder und die Kurzschlussringe schliessen. Der Motor läuft wie ein Kurzschlussankermotor mit grossem Rotorwiderstand mit kleinem Anlaufstrom und grossem Moment an. Wird nun im Stator auf sechs Pole umgeschaltet, die der Laufstellung (Marchgeschwindigkeit) entsprechen sollen, dann schliessen sich die Rotorströme, die jetzt je in beiden Spulenhälften verschiedene Richtung haben, nahezu vollständig durch die Spulen selbst, die Widerstandsverbinder sind praktisch stromlos, der Motor läuft mit geringem Schlupf und hohem Wirkungsgrad. Zweckmässiger ist es, noch Zwischenstufen zu schaffen und den Stator in bekannter Weise auf drei oder vier Polzahlen umschaltbar einzurichten. Die Rotorströme schliessen sich dann mehr oder weniger auch durch die Widerstandsverbinder, je nachdem sich die Zwischenpolzahl mehr oder weniger der Anlaufpolzahl nähert. Die Widerstandsverbinder werden zweckmässig in Form radialer Ventilationsfahnen ausgebildet.

¹⁶⁾ D. R. P. 327 284.

¹⁷⁾ Schweiz. Patent 80 285 der A.-G. Brown, Boveri & Cie. — Eine ähnliche Anordnung hat auch *Déri* angegeben (Z. f. E. 1898, Seite 285).

Kürzlich hat auch noch E. Ziehl einen Kurzschlussrotor angegeben¹⁸⁾, dessen Widerstand durch Aenderung der aktiven Stabzahl mittels mitrotierender Schalter verändert wird. Fig. 16 zeigt das Schema einer 4 poligen Käfigwicklung mit 12 Stäben.

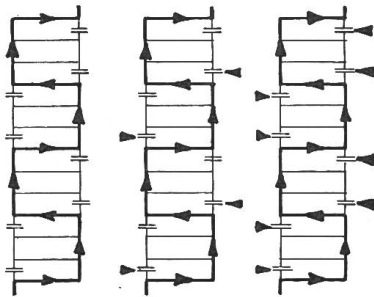


Fig. 16

Kennzeichnend für den Ziehlschen Anker sind die Unterbrechungsstellen in den Kurzschlussringen, die gemäss Schema durch die erwähnten eingebauten Fliehkraftschalter geschlossen werden. Diese Schalter, die allerdings für sehr hohe Stromstärken entworfen werden müssen, sollen nach Angaben von Ziehl nach 10000 Schaltungen noch vollkommen intakt gewesen sein. Ein 3 PS-Motor dieser Art hat mit dem 2,2fachen Normalstrom das 1,3fache Normaldrehmoment bei Anlauf entwickelt. Bei grösseren Motoren mit grösserer Stabzahl lassen sich diese Verhältnisse durch Erhöhung der Zahl der Schalter noch günstiger und der Anlauf stetiger gestalten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Motoren mit rotierendem Anlasswiderstand und Zentrifugalkurzschliesser oder kurzer Motoren mit Zentrifugalanlasser, einige Aussicht haben, sich in der Praxis durchzusetzen, wenn es sich um betriebssichere, nicht allzu komplizierte Konstruktionen handelt. Gelingt es, den Zentrifugalschalter schlagwettersicher abzukapseln, dann können diese Motoren u. E. als zweckmässiger Ersatz der Spezialmotoren mit Plattenschutz oder schlagwettersicher gekapselten Schleifringen dienen.

Fernwirkungen von Hochspannungsleitungen auf benachbarte Schwachstromleitungen.¹⁾

Von Prof. Dr. Reinhold Rüdenberg, Charlottenburg.

Der Autor untersucht die durch Hochspannungsleitungen in isoliert verlegten Schwachstromleitungen influenzierten Spannungen, ausgehend vom Falle der Einfachleitung. Er entwickelt darauf Formeln zur Berechnung der Einwirkung von Doppel- und Drehstromleitungen, sowohl im normalen Betriebe als auch bei einphasigem Erdschluss auf benachbarte Leitungen und zeigt, dass im letzteren Falle die induzierten Spannungen ein Vielfaches derjenigen beim normalen Betriebe betragen. Endlich gibt er auch die durch Erdung der Schwachstromleitungen in ihnen entstehenden Ströme an. In einigen Zahlenbeispielen errechnet er die übertragenen Spannungen und Ströme für verschiedenen Fälle.

Partant du cas d'une ligne isolée soumise à l'influence d'un conducteur voisin, réuni à une source de courant alternatif, l'auteur détermine l'influence d'une ligne à courant monophasé et d'une ligne à courant triphasé sur une ligne téléphonique ou télégraphique aussi bien dans le cas du fonctionnement normal de la ligne à haute tension que dans le cas où elle est en contact avec la terre. Il démontre que dans ce dernier cas les tensions induites sont un multiple des tensions induites en service normal. Il établit les formules pour les courants qui circulent dans la ligne téléphonique lorsque celle-ci est mise à la terre. Des exemples numériques donnent l'ordre de grandeur des tensions ou des courants qui se produisent dans les différents cas dans la ligne à basse tension.

Starkstromleitungen erzeugen in ihrer Umgebung elektromagnetische Felder, die in der Nähe verlaufende Schwachstromleitungen störend beeinflussen können. Es hat sich gezeigt, dass vor allem das elektrische Feld in der Umgebung von Hochspannungsleitungen elektrostatische Wirkungen auf erhebliche Entfernungen ausüben kann und dabei in den Schwachstromleitungen Spannungen influenziert, die zu unangenehmen Störungen in den empfindlichen Telephon- und Telegraphenapparaten führen können. Wir wollen deshalb die Fernwirkungen untersuchen, die von den stationären oder quasistationären elektrostatischen Feldern von Hochspannungsleitungen ausgehen. Derartige Untersuchungen sind schon wiederholt

¹⁸⁾ E. T. Z. 1922, Seite 723.

¹⁾ Aus einem demnächst im Verlage von Julius Springer erscheinenden Buche des Verfassers über „Elektrische Schaltvorgänge und verwandte Erscheinungen in Starkstromanlagen“.