

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 19 (1928)
Heft: 7

Artikel: Anlaufkupplungen für Käfig-Ankermotoren
Autor: Schmid, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060552>

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: 14.05.2025

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

XIX. Jahrgang
XIX^e Année

Bulletin No. 7

April I 1928
Avril I

Anlaufkupplungen für Käfig-Ankermotoren.

Von der Materialprüfanstalt des S. E. V. (Ing. P. Schmid).

621.313(00544)

Der Autor beschreibt die Anlaufverhältnisse von Käfigankermotoren (Kurzschlussankermotoren) und die Rückwirkungen, die die Anlaufstromstöße auf die Helligkeit von Glühlampen (Flimmern) haben. Er kommt zum Schluss, dass der Leeranlauf solcher Motoren in Stern-Dreieckschaltung keine unzulässig hohen Stromstöße ergibt und vergleicht sodann die Eigenschaften verschiedener selbsttätiger Kupplungen untereinander und mit den Anlaufverhältnissen unter Anwendung von Leer- und Festscheibe. Diese Vergleiche erfolgen an Hand von oszillographischen Stromaufnahmen, welche die Materialprüfanstalt des S. E. V. an Motoren mit verschiedenen auf dem Marke befindlichen Anlauf-Kupplungen vorgenommen hat. Die Untersuchungen ergeben, dass mit einer der geprüften Konstruktionen die Anlauf-Ströme sich innert zulässiger Grenzen bewegen und dass somit Käfig-Ankermotoren, welche vor den Schleifringmotoren den Vorzug der einfacheren Bauart und Bedienungsweise, des höheren Wirkungsgrades und der kleineren Blindstromaufnahme haben, bei Anwendung geeigneter Kupplungen bis zu höheren Leistungen als gegenwärtig allgemein üblich, zugelassen werden könnten.

L'auteur décrit les conditions de démarrage des moteurs à cage d'écureuil (à induit en court-circuit) et la répercussion des à-coups de courant sur l'intensité lumineuse de lampes à incandescence (tremblement). Il arrive à la conclusion que la marche à vide de tels moteurs, connectés en étoile-triangle, ne donne pas naissance à des à-coups de courant excessifs, puis il compare les propriétés de différents embrayages automatiques entre eux et avec l'embrayage connu par courroie et poulie folle. Cet examen comparatif, basé sur des oscillogrammes relevés par la station d'essai des matériaux de l'A. S. E. sur des moteurs munis de différents embrayages automatiques qu'on trouve dans le commerce, montre qu'avec l'un de ceux-ci le courant de démarrage demeure dans les limites admissibles. Il s'ensuit que les moteurs à cage d'écureuil, qui ont sur les moteurs à bagues l'avantage d'une construction simple et d'une conduite facile, d'un rendement supérieur et d'une consommation moindre de courant déwatté, peuvent être tolérés pour des puissances plus élevées que ce n'était généralement le cas jusqu'à présent, si l'on a soin d'utiliser un embrayage approprié.

I. Teil.

A. Einleitung.

Die Frage, inwieweit die Käfigankermotoren zum Anschluss an das allgemeine Verteilnetz zugelassen werden können, ist noch heute stark umstritten. Auf der einen Seite sind es die Konsumenten und Motor-Fabrikanten, die von den Werken fordern, dass die billigen, einfach zu bedienenden und betriebssicheren Käfigankermotoren ohne weiteres ans Netz angeschlossen werden dürfen, andererseits behaupten die Werke, dies sei mit Rücksicht auf die heftigen Anlaufstromstöße und die daraus resultierenden Spannungs-Schwankungen nicht zulässig.

Allerdings fehlt es nicht an Erfindungen und Vorschlägen, wie durch besondere elektrische oder mechanische Anordnungen die Ausbildung dieser Stromstöße auf ein erträgliches Mass herabgesetzt werden könnte, allein die Auswirkung dieser Erfindungen ist meist nicht so günstig, wie die Ankündigungen der Fabrikanten erwarten lassen, und dabei oft erst noch durch teure und komplizierte Vorrichtungen erkaufft.

In Anbetracht der umfangreichen Literatur, die in den letzten Jahren über dieses Problem entstanden ist, scheint es nützlich, den Lesern des Bulletin eine rein sachliche Zusammenfassung über den gegenwärtigen Stand dieser Angelegenheit zu geben, um sodann über die Untersuchungen der Materialprüfanstalt des S. E. V. zu berichten.

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf diejenigen Lösungen des Problems, die durch eine rein mechanische, automatisch wirkende Kupplung zwischen Rotorwelle und Lastübertragungsmechanismus (Riemenscheibe, Wellenkupplung oder Zahnradgetriebe) event. in Verbindung mit Stern-Dreieckschalter die Verwendung des normalen Käfigankermotors zu ermöglichen suchen. In Anlehnung an die Abhandlung von Kloss (No. 8 des Literatur-Verzeichnisses) werden im ersten Teil dieser Arbeit die Eigenschaften des Käfigankermotors und die prinzipielle Wirkungsweise der verschiedenen Kupplungs-Systeme an Hand von Diagrammen erörtert, sowie die Gesichtspunkte, die bei der Beurteilung von Spannungs-Schwankungen massgebend sind, kurz dargelegt.

Der zweite Teil befasst sich mit der Berichterstattung über Versuche, die durch die Materialprüfanstalt des S. E. V. an verschiedenen Kupplungen durchgeführt wurden, während im dritten Teil die Schlussfolgerungen und das Literatur-Verzeichnis enthalten sind.

B. Die charakteristischen Eigenschaften des Käfigankermotors.

Der Käfigankermotor ist von einfacher, robuster Bauart. Er weist keine Teile auf, die sich im Betrieb nennenswert abnutzen und bedarf deshalb fast keiner Wartung. Dadurch ist er auch in vielen Betrieben (u. a. Landwirtschaft), wo kein sachverständiges Bedienungspersonal vorhanden ist, als besonders geeignet zu empfehlen.

Infolge Wegfallens der Schleifringe ist seine Baulänge kürzer als die eines Schleifringankermotors gleicher Leistung, woraus eine ganz wesentliche Gewichtsersparnis resultiert. Auch in bezug auf Wirkungsgrad und Leistungsfaktor ist der Käfigankermotor dem Schleifringankermotor überlegen.

Hieraus ist ersichtlich, dass ein Interesse an der Erschliessung weiterer Anwendungsgebiete für den Käfigankermotor, sowohl von Seite der Energielieferanten, wie auch der Motorbesitzer vorhanden ist¹⁾.

Im folgenden werden nun zuerst die Verhältnisse beim Anlauf des Käfigankermotors erörtert und das Kriterium dargelegt, wonach, ausgehend von den durch die Stromstöße verursachten Spannungs-Schwankungen beurteilt werden kann, inwieweit diese Stromstöße ein merkliches Zucken des Glühlampenlichtes verursachen können.

In Fig. 1 sind Statorstrom und Drehmoment des Motors in Funktion der Tourenzahl aufgezeichnet. Hervorzuheben ist die Tatsache, dass dem höchsten Stromwert nicht das Maximum des entwickelten Drehmomentes zugeordnet ist. Als das Arbeitsgebiet des Motors ist derjenige Bereich der Tourenzahl zu betrachten, wo mit der Abnahme der Drehzahl eine Zunahme des Drehmomentes verbunden ist. Der bei der Drehzahl Null auftretende Strom wird Dauerkurzschlussstrom genannt, im Gegensatz zum Einschaltstromstoss, der aus dem vorgenannten Strom und einem darüber gelagerten, mit der Zeit exponentiell abklingenden Gleichstrom besteht.

Angenommen der Motor sei unbelastet und werde in Dreieck-Schaltung ans Netz geschaltet, so ergibt sich ein Einschaltstromstoss, der bis auf den zehnfachen

¹⁾ Weitere Angaben siehe No. 1 und 9 des Literatur-Verzeichnisses.

Wert des Nennstromes ansteigen kann, aber bei kleinen Motoren innert zirka einer Periode auf den Dauerkurzschlussstrom (ca. das fünffache des Nennstromes) abklingt. Mit wachsender Tourenzahl nimmt auch das entwickelte Drehmoment zu, so das

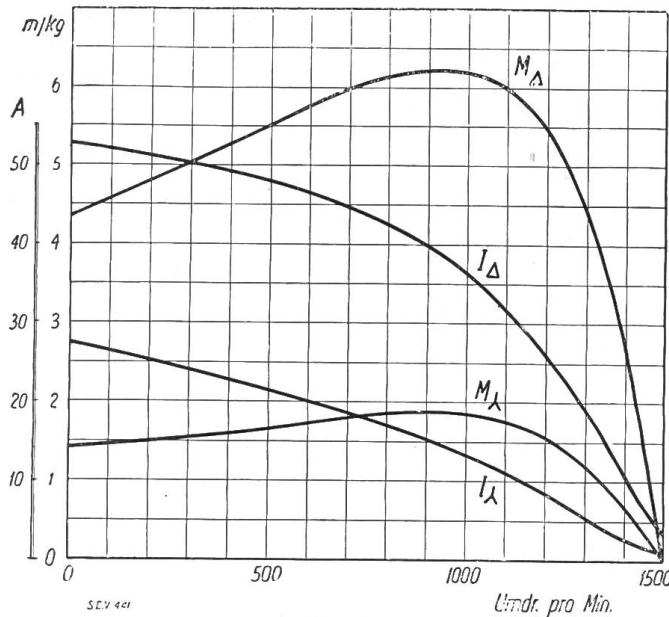


Fig. 1.
Drehmoment (M_λ und M_Δ) und Statorstrom (I_λ und I_Δ) eines Käfiganker-Motors in Funktion der Tourenzahl.

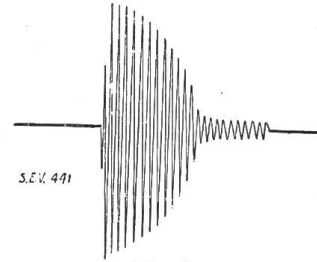


Fig. 2.
Oscillogramm des Anlaufstromes eines unbelasteten Käfiganker-Motors bei direktem Einschalten auf Dreieck.

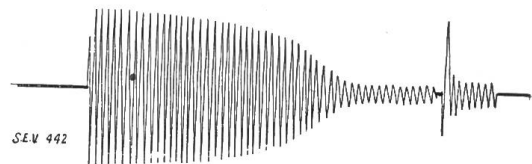


Fig. 3.
Oscillogramm des Anlaufstromes eines unbelasteten Käfiganker-Motors bei Einschalten mittels Stern-Dreieck-Schalter.

der Rotor rasch die Leerlauf-Tourenzahl erreicht und nur noch den Leerlaufstrom dem Netz entnimmt (Fig. 2). Der Einschaltstromstoss ist in der Figur nicht sichtbar.

Ein weniger heftiger Stromstoss ergibt sich, wenn der Motor mit reduzierter Spannung anläuft. Dabei ist aber zu beachten, dass das Drehmoment des Motors nach einer Potenz-Funktion der Spannung abnimmt, deren Exponent etwas grösser als 2 ist. In Anbetracht, dass es sich in der vorliegenden Abhandlung hauptsächlich um kleinere Motoren handelt, kommt als Anordnung zur Spannungsreduktion nur der Stern-Dreieck-Schalter in Betracht.

Der Leeranlauf in Stern-Schaltung lässt sich leicht aus Fig. 1 ablesen. Hat der Motor die Leerlauf-Drehzahl erreicht, so wird auf Dreieck umgeschaltet, was nur einen ganz geringen und kurz dauernden Stromstoss bewirkt. Das Oszillogramm eines solchen Anlaufes ist in Fig. 3 dargestellt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei Leeranlauf des Motors die Einschaltung mit Stern-Dreieck-Schalter eine wesentliche Verkleinerung der Anlaufstromstösse zeitigt.

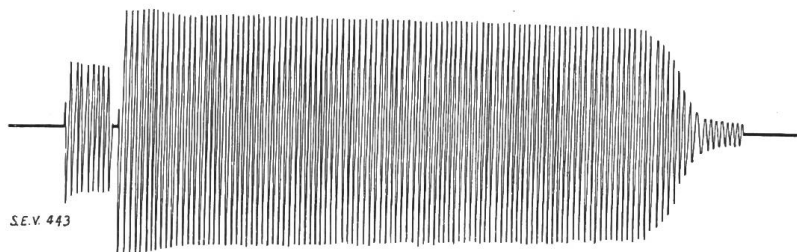


Fig. 4.
Oscillogramm des Anlaufstromes eines überlasteten Käfiganker-Motors bei Einschalten mittels Stern-Dreieck-Schalter. (Der Motor läuft erst nach Uberschalten auf Dreieck an.)

Anders liegen die Verhältnisse jedoch, wenn es sich um Anlauf des Motors unter Belastung handelt. Diese ist meistens in Form einer zu beschleunigenden Masse (Schwungräder, Transmissionen, Getriebe) gegeben. In diesem Falle genügt dann oft das Anlauf-Drehmoment des Motors in Stern-Schaltung nicht, um

die Anlaufwiderstände zu überwinden und er nimmt so lange den Dauerkurzschlussstrom auf, bis die Umschaltung auf Dreieck stattfindet. Nun erfolgt ein heftiger Anlaufstromstoss, wobei der Motor anzulaufen beginnt, die Stromstärke sinkt und

das Drehmoment zunimmt. Wie Fig. 4 zeigt, kann der Anlauf in diesem Falle viele Sekunden dauern. Unter solchen Umständen hat die Anwendung des Stern-Dreieck-Schalters keinen Zweck.

C. Zusammenhang des Zuckens des Glühlampenlichtes mit der Dauer und der Grösse der Spannungs-Schwankungen.

Es wurde schon zu Anfang dieser Arbeit erwähnt, dass die Bedenken der Elektrizitätswerke gegen den Anschluss von Käfigankermotoren beliebiger Grösse hauptsächlich durch deren hohe Anlaufströme und die daraus resultierenden Spannungs-Schwankungen bedingt sind.

Je nach Grösse und Dauer bewirken diese Spannungsschwankungen Unstetigkeiten (Zucken, Flimmern) des Glühlampenlichtes, deren Auftreten wo immer möglich verhindert werden muss. Entgegen anders lautenden Aeusserungen sei betont, dass die Stetigkeit des Glühlampenlichtes für viele Berufsarten (geistige Berufe, dann aber auch Uhrmacher, Präzisionsmechaniker, Sticker u. s. f.) von grosser Wichtigkeit ist.

Der Spannungsabfall im Netz ist u. a. auch von der Impedanz der Zuleitungen, sowie dem innern Spannungsabfall in Generatoren und Transformatoren abhängig. Bei den heutigen Verhältnissen spielen bei diesen Spannungsabfällen im Sekundärnetz allerdings nur diejenigen im direkt vorgeschalteten Transformator und den nachfolgenden Zuleitungen eine Rolle. Man beachte ferner, dass der Motor-Anlaufstrom gegen die Spannung nur eine sehr geringe Phasenverschiebung aufweist. Daher ist der Spannungsabfall bei einer sonst noch irgendwie belasteten Zuleitung durch geometrische Addition der beiden Teilspannungsabfälle zu bilden, d. h. die Zunahme des Gesamt-Spannungsabfalles in der Zuleitung erfolgt nicht im Verhältnis zur Zunahme des transportierten Stromes.

Es ist also nun die Frage zu beantworten, bei welcher Grösse und Dauer einer Spannungsänderung noch ein Flimmern des Glühlampenlichtes konstatiert werden kann. Im folgenden werden hauptsächlich die Ergebnisse einer englischen Arbeit²⁾ wiedergegeben, weil sie sich auf neuere Glühlampen bezieht. Sie stellt einen Kontrollversuch einer früheren deutschen Arbeit³⁾ dar.

Die nach vielen Vorstudien als am geeignetsten befundene Versuchsschaltung zur Untersuchung von Flimmererscheinungen ist in Fig. 5 dargestellt und ohne

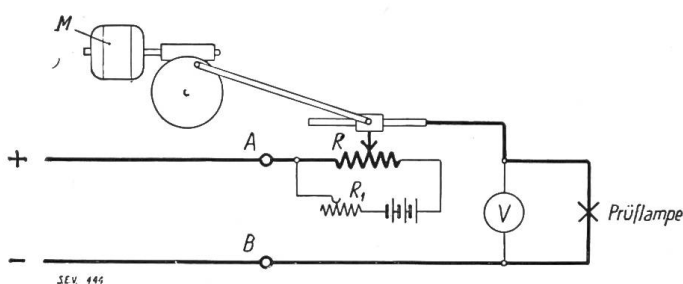


Fig. 5.

Versuchsanordnung zur Erzeugung von nach Grösse und Frequenz regulierbaren Schwankungen des Glühlampenlichtes.
(M = Antriebsmotor, R = Gleitwiderstand, R_1 = Regulierwiderstand.)

weitere Erläuterung verständlich. Bemerkte sei nur noch, dass die Durchführung der Versuche mit Gleichstrom erfolgte und dass durch besondere Messungen festgestellt wurde, dass die Spannung zwischen den Klemmen A und B konstant blieb. Die Grösse der Spannungsschwankungen liess sich durch Variation des Widerstandes R_1 einstellen, ihre Dauer wurde durch Regulieren der Tourenzahl des Motors M verändert.

Als vorteilhafteste Versuchsanordnung ergab sich das Aufstellen eines schwarz bedruckten Schirmes (50×66 cm) im Abstand von 45 cm von der Glühlampe. Diese Einrichtung befand sich in einem Dunkelmzimmer. Der Beobachter hielt sich bei allen Versuchen in 180 cm Entfernung von diesem Schirme auf. Besondere Sorgfalt wurde darauf verwendet, dass keine direkten Lichtstrahlen ins Auge des Beobachters fallen konnten.

²⁾ No. 4 des Literatur-Verzeichnisses.

³⁾ No. 3 des Literatur-Verzeichnisses.

In Fig. 6 sind die Ergebnisse von Versuchen an drei verschiedenen Glühlampen dargestellt. Jede Kurve verbindet diejenigen Punkte, die für eine gegebene Frequenz der Spannungs-Schwankungen deren kleinsten Wert angeben, welcher ein gerade noch bemerkbares Flimmern zu erzeugen vermag. Daraus ist zu entnehmen, wie ungemein kleine Spannungs-Schwankungen im Bereiche von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{12}$ Sekunde Dauer schon dem Auge bemerkbare Lichtschwankungen zu erzeugen vermögen. Immerhin wirken sich diese* Tatsachen in der Praxis nicht so scharf aus, wie aus den Experimenten geschlossen werden könnte. Dies rührt einerseits von Umständen her, die auf die Empfindlichkeit des Auges einwirken (Flächenhelligkeit, Blendung), anderseits durch die Charakteristiken der Glühlampen bedingt sind.

Werden diese Erkenntnisse auf die Stromstöße und die damit verbundenen Spannungs-Schwankungen beim Anlaufen eines Käfigankermotors angewendet, so lässt sich aus den Oszillogrammen (Fig. 2 und 3) ohne weiteres erkennen,

1. dass die sehr rasch abklingenden Einschaltstromstöße (so lange sie die Dauer von ca. 0,08 Sek. nicht überschreiten) bei den gebräuchlichen Glühlampen kein merkliches Zucken des Lichtes erzeugen können;
2. dass auch der Leeranlauf mit Stern-Dreieck-Schalter im allgemeinen wegen der bedeutend geringeren Spannungs-Schwankungen kein störendes Licht-Zucken hervorrufen kann.

D. Mechanische Anlauf-Kupplungen.

1. Uebersicht.

Aus den vorstehenden Betrachtungen lässt sich ohne weiteres schliessen, dass die Zulassung des Käfigankermotors zum Anschluss an elektrische Verteilnetze in vermehrtem Masse und bis zu höheren Leistungen erfolgen dürfte, wenn durch irgend eine Einrichtung das Leeranlaufen des Motors gewährleistet und dieser selbst in Stern-Dreieck-Schaltung angelassen würde.

Als einfachste, technisch oft mögliche Einrichtung kann die Anordnung einer Leer- und Festscheibe erwähnt werden. Mit ihr könnte obiger Bedingung ohne weiteres entsprochen werden. Allein es haften ihr die schwerwiegenden Nachteile an, dass sie einerseits doch schon einigermassen geschultes Personal erfordern und dass sie überhaupt bei vielen Maschinen eine nicht gern in Kauf genommene, weitere Komplikation bedeuten würde. Ausserdem wäre dem Werke dadurch keine Sicherheit geboten, dass man sich dieser Anordnung bedient, und nicht aus Bequemlichkeit den Motor belastet anlaufen lässt.

Wird an dem Grundsatz festgehalten, dass der normale Käfigankermotor, höchstens noch mit Stern-Dreieck-Schalter kombiniert, zur Anwendung gelangen soll, so muss innerhalb dieses Gebietes die Anordnung mit Leer- und Festscheibe in *elektrischer Beziehung* als Idealfall bezeichnet werden. Um ihm möglichst nahe zu kommen, wobei aber doch gleichzeitig die oben genannten Nachteile vermieden werden sollten, muss nun eine Einrichtung, Kupplung, zwischen Rotorwelle und Lastübertragungsmechanismus eingeschaltet werden, die folgenden Anforderungen zu genügen hat:

- a) Die Kupplung muss vollständig automatisch ein- und ausrücken, so dass die Bedienung des Motors durch ungeschultes Personal erfolgen kann.

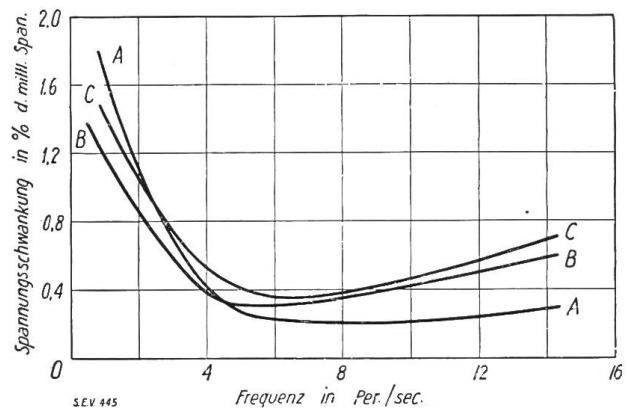


Fig. 6.
Grenzkurven des Flimmerns des Glühlampenlichtes in Abhängigkeit von Grösse und Frequenz der Spannungsschwankungen.
Kurve A : 30 Watt, 200 Volt-Vakuum-Lampe,
Kurve B : 30 Watt, 50 Volt-Vakuum-Lampe,
Kurve C : 100 Watt, 230 Volt-Gasgefüllte-Lampe.

- b) Die konstruktive Durchbildung muss derart sein, dass die Kupplung als selbstständiges Maschinenelement ohne Komplikation an jedem normalen Käfigankermotor angebracht werden kann.
- c) Die Kupplung soll ein Leeranlaufen des Motors ermöglichen derart, dass seine Stromaufnahme möglichst genau mit derjenigen des Anlaufens mit Leer- und Festscheibe übereinstimmt.

Eine weitere Anforderung an die Kupplung, deren Konsequenzen oft nicht genügend berücksichtigt werden, betrifft ihre Ueberlastbarkeit. Der Käfigankermotor darf, wie jede andere elektrische Maschine, eine gewisse Zeit, besonders auch während des Anlaufens, um ein bestimmtes Mass überlastet werden. Die Kupplung soll imstande sein, diese Ueberlast anstandslos zu bewältigen. Diese Forderung ist allerdings leicht zu erfüllen, man beachte aber nur, dass so die noch erlaubte Ueberstromstärke während des Anlaufvorganges automatisch so lange auftritt, bis die stationäre Tourenzahl des Lastsystems erreicht ist. Auf diesen wichtigen Punkt wird bei der Diskussion der Versuchsergebnisse näher eingetreten.

Was nun die zurzeit auf dem Markte befindlichen Kupplungen anbetrifft, so weisen sie folgende, gemeinsame Züge auf:

- a) Sie werden direkt auf die Rotorachse aufgekeilt.
- b) Sie sind entweder als Riemenscheibe oder als Flanschkupplung durchgebildet, wobei jedoch eine Relativbewegung zwischen antreibendem und getriebenem Teile möglich ist.
- c) Der zum Uebertragen des Drehmomentes dienende Mechanismus wird durch die Zentrifugalkraft zum Einrücken gebracht.

Bevor auf die Wirkungsweise der nachfolgend beschriebenen Kupplungssysteme näher eingetreten wird, sei noch besonders darauf aufmerksam gemacht, dass die Diagramme noch keinen Aufschluss über den zeitlichen Verlauf des Anlaufes geben. Dagegen können daraus die dabei auftretenden Drehmomente und Stromstärken sehr einfach ermittelt werden, wodurch ein guter Begriff von den prinzipiellen Unterschieden des Anlaufes bei verschiedenen Kupplungen gewonnen wird. Die Dauer der einzelnen Stromstösse, auf die es bei der Beurteilung der daraus folgenden Spannungs-Schwankungen in Hinsicht auf das Flackern des Glühlampenlichtes ankommt, kann nur durch oszillographische Aufnahmen einwandfrei ermittelt werden.

Bei der Ableitung der nachfolgenden Diagramme ist vorausgesetzt worden, dass mit der Ueberschaltung von Stern auf Dreieck so lange zugewartet wird, bis der stationäre Zustand in Stern-Schaltung erreicht ist. An Hand der Diagramme dürfte es aber jedem Leser möglich sein, auch die heftigeren Stromstösse abzulesen, die bei zu frühem Ueberschalten (wie es bei nachlässigem oder ungeschultem Personal leicht vorkommen kann) eintreten würden.

2. Reine Fliehkraft-Kupplungen.

Reine Fliehkraft-Kupplungen sind dadurch charakterisiert, dass mit dem Anlauf des Rotors die Fliehkörper nur der Zentrifugalkraft unterworfen sind und sich deshalb schon bei geringen Tourenzahlen an den anzutreibenden Teil der Kupplung anlegen, wodurch der Motor schon sehr früh mit einem bremsenden Moment belastet wird. An Hand der Fig. 7a und 7b sei der Anlauf mit reiner Fliehkraft-Kupplung beschrieben. In Fig. 7a sind die Drehmomenten-Kurven M_{Δ} und $M_{\star}$ (Drehmoment des Motors bei Stern- und Dreieck-Schaltung) und M_k (durch die Kupplung übertragbares Drehmoment) als Funktion der Tourenzahl eingetragen. Schaltet man den Motor auf Stern ein, so hat er bald eine solche Tourenzahl angenommen, dass die Fliehkörper sich an die anzutreibenden Teile der Kupplung legen. Infolgedessen entsteht schon während des Anlaufes des Rotors ein bremsendes Moment, das mit der Tourenzahl quadratisch anwächst. Die dabei erzeugte Arbeit wird als Wärme den Kupplungsteilen zugeführt. Da wo M_k und M_{Δ} sich schneiden (Punkt C), hat der Motor seine stationäre Tourenzahl erreicht. Das entwickelte Moment genügt nicht, um die Last anzutreiben und die Kupplung gleitet. Schaltet man auf Dreieck um,

so erfolgt während des Stromunterbruches ein Tourenabfall, wodurch das übertragbare Moment auf den Wert C_2 sinkt. Das antreibende Moment springt aber im Augenblick des Einschaltens auf Dreieck auf den Wert C_3 . Infolgedessen wird der Rotor stark beschleunigt, bis dahin, wo die Kurve M_k den Wert der Nennlast (N) erreicht. Von hier an werden Motor und Last gemeinsam beschleunigt, bis der Punkt E erreicht ist. Mit Abnahme der Relativgeschwindigkeit zwischen antreibendem und getriebenem Teil der Kupplung ändert sich der Reibungskoeffizient, wodurch eine kleine Steigerung des übertragenen Momentes, verbunden mit einem Drehzahlabfall des Motors eintritt. Bei Erreichen des Punktes R wird die Relativgeschwindigkeit zu Null, die Kupplung wird starr. Von hier an bewegen sich Motor und Last gemeinsam und erreichen nach einiger Zeit Punkt N , womit der Anlaufvorgang abgeschlossen ist.

In Fig. 7b kann der Verlauf des Statorstromes während des Anlaufvorganges an Hand der stark ausgezogenen Linie leicht abgelesen werden. Wie durch Vergleich der Fig. 7a und 7b hervorgeht, sind entsprechende Punkte in beiden Figuren gleichbezeichnet.

3. Fliehkraft-Kupplungen mit Vorspannung.

Bei der Betrachtung der reinen Fliehkraft-Kupplungen ergab sich, dass die Fliehkörper schon bei sehr geringen Tourenzahlen sich an das anzutreibende Stück legen und dadurch eine bremsende Wirkung auf den Anlauf des Motors ausüben. Die Fliehkraft-Kupplungen mit Vorspannung suchen diesen Nachteil zu vermeiden, indem durch Anbringen von Federn die Fliehkörper der Kupplung so lange der Wirkung der Zentrifugalkraft entzogen werden, bis die Tourenzahl einen gewissen Wert erreicht hat.

Der so erhaltene Anlaufvorgang entspricht demjenigen nach Fig. 7a mit dem Unterschiede, dass die Parabel M_k eine solche Koordinaten-Transformation erfahren hat, dass ihr Scheitel statt im Nullpunkt nun in den negativen Teil der Y-Achse (Punkt F) verschoben wird. Die bezüglichen Verhältnisse sind in Fig. 8a und 8b dargestellt. Wird nun der Motor wieder in Stern angelassen, so läuft er leer an, bis der Punkt B erreicht ist. Von hier an ist die Zentrifugalkraft grösser als die Federvorspannung $O-F$, die Fliehkörper legen sich an den anzutreibenden Teil der Kupplung und der Rotor wird infolgedessen von hier an in seinem Anlauf gebremst bis der stationäre Zustand beim Schnittpunkt C erreicht ist. In diesem Zeitpunkt ist die Umschaltung auf Dreieck notwendig. Es erfolgt ein Tourenabfall bis nach D und im Augenblick des Einschaltens ein Stromstoss, dessen stationärer

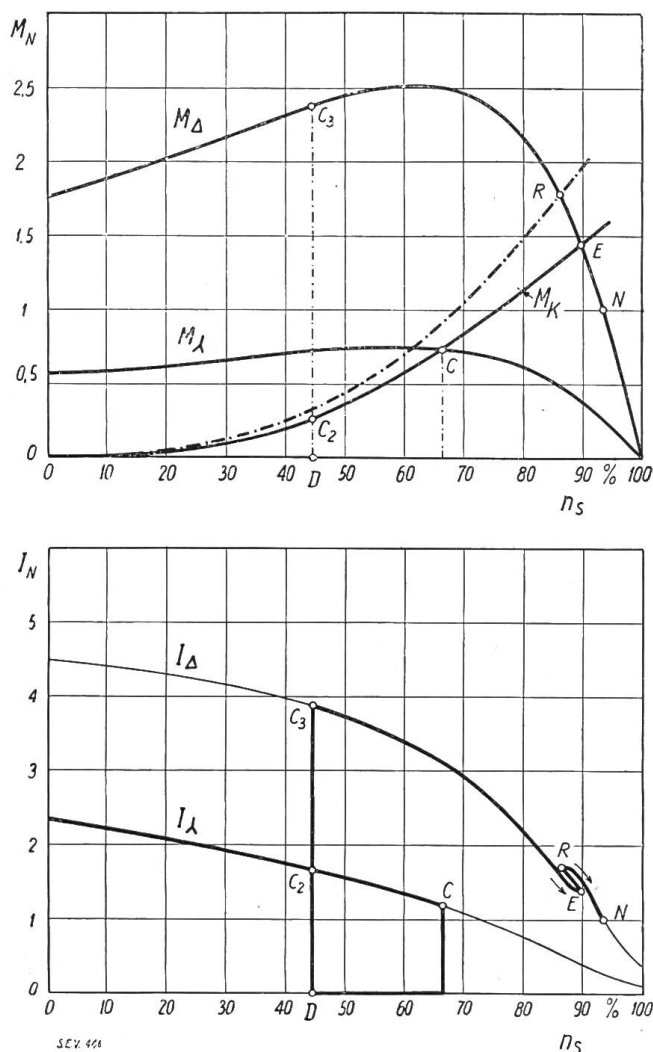


Fig. 7 a (oben) und 7 b (unten).
Anlaufvorgang bei reinen Fliehkraft-Kupplungen in Funktion der Tourenzahl.

Kurve M_k : Durch die Kupplung bei Gleiten übertragbares Moment.

Kurve OR : Durch die Kupplung bei Haftreibung übertragbares Moment.

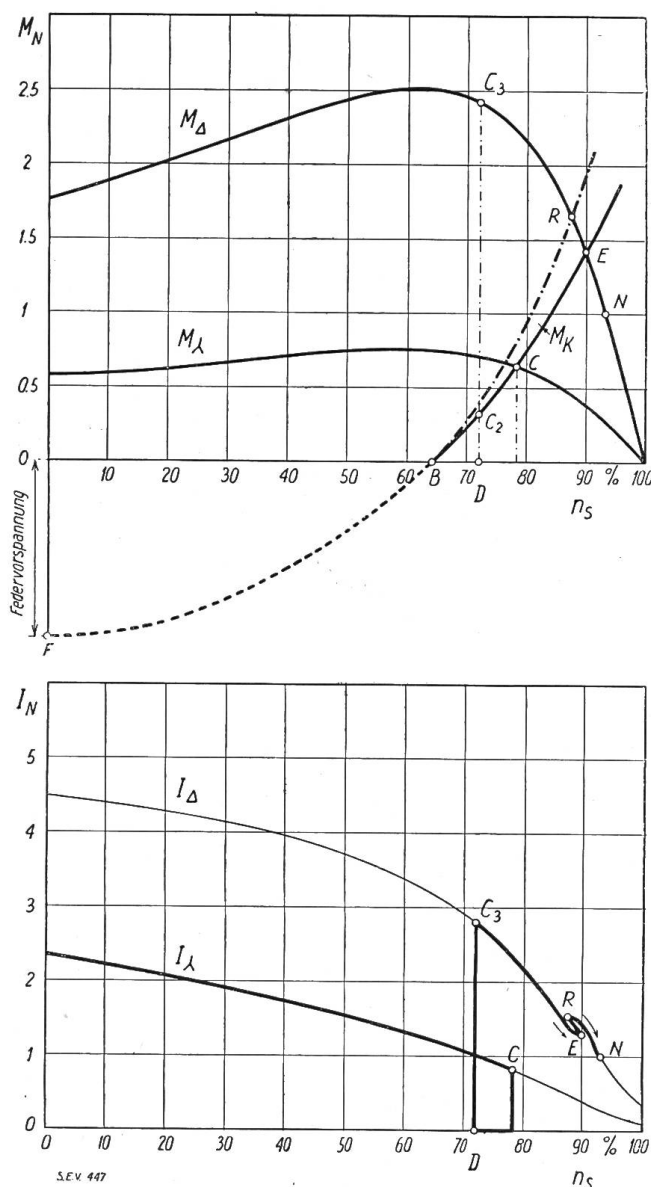


Fig. 8 a (oben) und 8 b (unten).
Anlaufvorgang bei Fliehkraftkupplungen mit Federvorspannung
in Funktion der Tourenzahl.
Kurve M_K : Durch die Kupplung bei Gleiten übertragbares Moment.
Kurve BR : Durch die Kupplung bei Haftreibung übertragbares
Moment.

Wert durch die Strecke $D-C_3$ in Fig. 8b dargestellt wird. Infolge des zugeordneten, grossen Drehmomentes $D-C_3$ (Fig. 8a) wird der Motor stark beschleunigt weiterlaufen, bis die Kurve M_K den Wert des Lastmomentes erreicht und sich die Last zu bewegen beginnt. Hierdurch nimmt aber auch die Relativgeschwindigkeit zwischen angetriebenen und treibenden Kupplungsteilen ab. Der im Punkte E erreichte Zustand wird so lange innegehalten, als die Relativgeschwindigkeit noch nicht Null geworden ist⁴⁾. Bei deren Erreichen geht der Reibungskoeffizient von demjenigen für gleitende Reibung in denjenigen für Haftreibung über, wodurch eine weitere Steigerung des übertragbaren Drehmomentes erfolgt. Diese Tatsache drückt sich durch ein Wandern des Betriebspunktes von E nach R aus. Hier wird die Kupplung starr und Motor und Last bewegen sich gemeinsam beschleunigt bis der Punkt N erreicht ist. Hiemit ist der Anlaufvorgang abgeschlossen.

4. Bei Umschaltung von Stern auf Dreieck einrückende Kupplungen.

Die bis jetzt beschriebenen Kupplungssysteme sind unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass die Tourenzahl allein das Einkuppeln bedingt. Infolgedessen wird der Motor bei Vollast-Anlauf stets schon bei Stern-Schaltung belastet und erleidet dann beim Umschalten auf Dreieck einen merklichen Tourenabfall, was stets zu hohen Stromstössen nach dem Einschalten auf Dreieck führt.

Einen besonderen Vorteil gewährt nun ein Kupplungs-System, das den Motor erst dann zu belasten gestattet, wenn die Umschaltung auf Dreieck bereits vollzogen ist. Dadurch wird ein wirkliches Leeranlaufen des Motors, wie bei Verwendung von Leer- und Festscheibe, gewährleistet.

An Hand der Fig. 9a und 9b können die Anlaufvorgänge verfolgt werden. Der Motor läuft in Stern-Schaltung an bis er nahezu die Synchron-Tourenzahl erreicht hat (Punkt C). Beim Ueberschalten auf Dreieck erfolgt ein kurzdauernder Schaltstromstoss, wobei gleichzeitig die Sperrvorrichtung für die Kupplungsteile ausgelöst wird. Infolgedessen wird nun der Motor abgebremst bis Punkt E erreicht ist; aber schon vom Punkt N an beginnt die Last sich zu bewegen. In diesem Betriebszustande (Punkt E) verharret der Motor so lange, bis seine Tourenzahl nahezu mit derjenigen des angetriebenen Teiles der Kupplung übereinstimmt. Nunmehr erfolgt

⁴⁾ Der Einfachheit halber wurde der Veränderung des Reibungskoeffizienten in Funktion des spez. Flächendrucks nicht Rechnung getragen.

auch hier der Uebergang von der gleitenden zur Haft-Reibung. Dies bedingt einen weiteren Drehzahl-Abfall, verbunden mit einer Steigerung des übertragenen Drehmoments. Die Kupplung wird starr (Punkt *R*), Motor und Last bewegen sich gemeinsam beschleunigt, bis der Punkt *N* erreicht ist.

Aus Fig. 9 a und 9 b ist zu ersehen, dass diese Art des Anlaufens derjenigen bei sachgemäsem Bedienen eines mit Leer- und Festscheibe ausgerüsteten Käfigankermotors vollkommen entspricht.

II. Teil.

A. Beschreibung der Versuchsobjekte.

1. Reine Fliehkraftkupplungen.

Kupplung I. Diese Kupplung dient zur Uebertragung des Drehmomentes von der Rotorwelle auf eine weitere Welle (Prinzip Flansch-Kupplung). Das treibende Stück *A* (Fig. 10) ist auf der Rotorwelle (*R*) aufgekelt und trägt an seinem Umfang aufgenietet die beiden Lederriemen *B*. Das angetriebene Stück *E* der Kupplung umfasst die vorgenannten beiden Stücke derart, dass die Kupplung vollständig eingeschlossen ist. Bei Anlauf des Rotors legen sich die Riemenstücke *B* nach aussen und pressen sich an das anzu-treibende Stück *E* der Kupplung. Das so entwickelte Bremsmoment steigt mit der Tourenzahl quadratisch an und bewirkt von einem gewissen Wert an die Mitnahme der Last. Zur Vergrößerung des übertragbaren Moments werden die Riemen *B* durch angenietete Lederstücke *B'* und Blechstreifen *B''* beschwert.

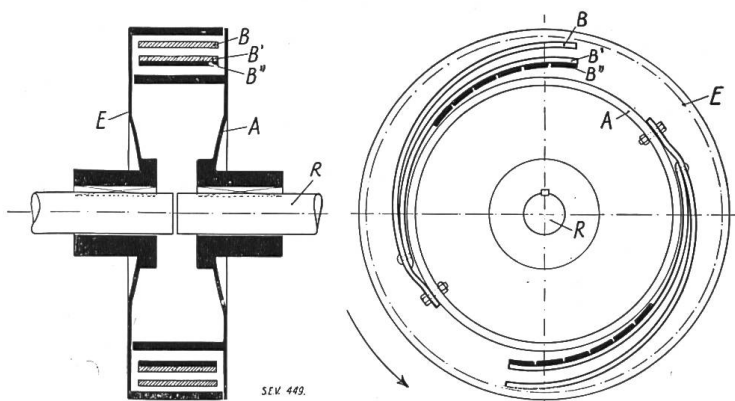


Fig. 10.

Schematische Darstellung der Kupplung I.

R : Rotorwelle
 A : Antreibender Teil
 E : Angetriebener Teil
 B und B' : Lederriemen. B'' : Blechstreifen.

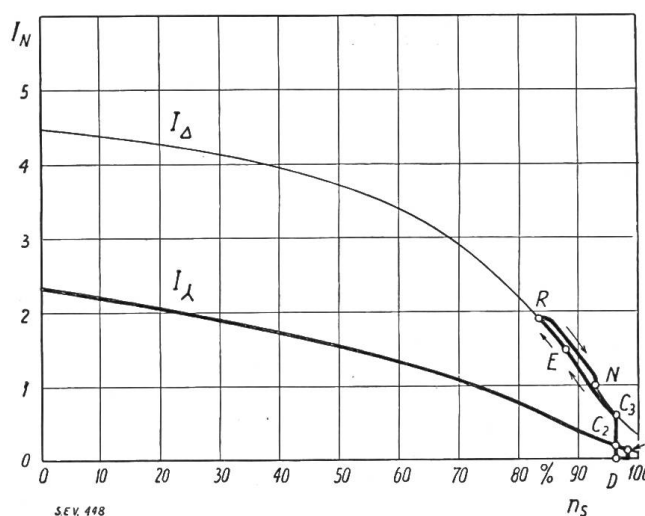
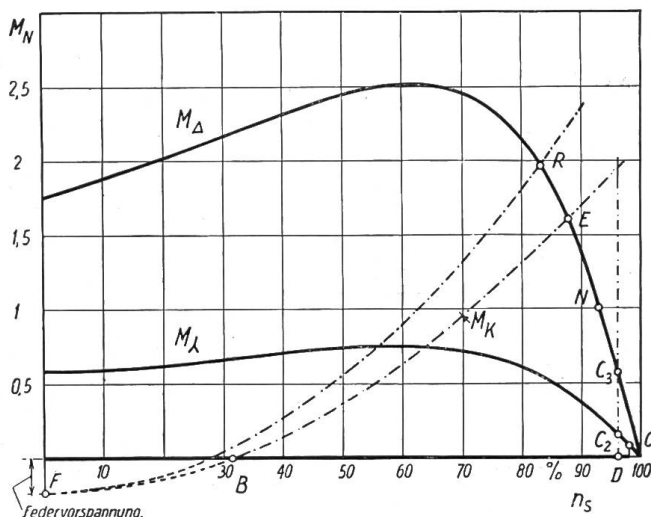


Fig. 9 a (oben) und 9 b (unten).

Anlaufvorgang bei Kupplungen, welche erst beim Ueberschalten von Stern auf Dreieck einrücken. Die Kurven *FE* und *FR* stellen diejenigen Drehmomente dar, welche die Kupplung bei Gleiten oder Haftreibung ausüben würde, wenn ihre Fliehkörper der Zentrifugalkraft folgen könnten.

Die Verwendung der Kupplung kann nur dort in Frage kommen, wo keine betriebsmässigen Änderungen des Motor-Drehsinnes vorkommen.

Kupplung II. Diese Kupplung ist als Riemenscheibe ausgebildet. Auf der Rotorwelle ist das sternförmige Stück *A* aufgekelt (Fig. 11), das mit den beweglichen Stücken *B* im Eingriff steht. Der als Riemenscheibe dienende Gehäusedeckel *C* ist bei *D* auf dem Körper *A* leicht drehbar gelagert. Die Kupplung ist mit einer Oelfüllung versehen, deren Niveau

(0—0), bei Ruhe, ebenfalls in die Figur eingetragen ist. Bei Anlauf des Rotors legt sich zwischen die Stücke *B* und *C* eine Oelschicht, die ein einigermaßen unbelastetes

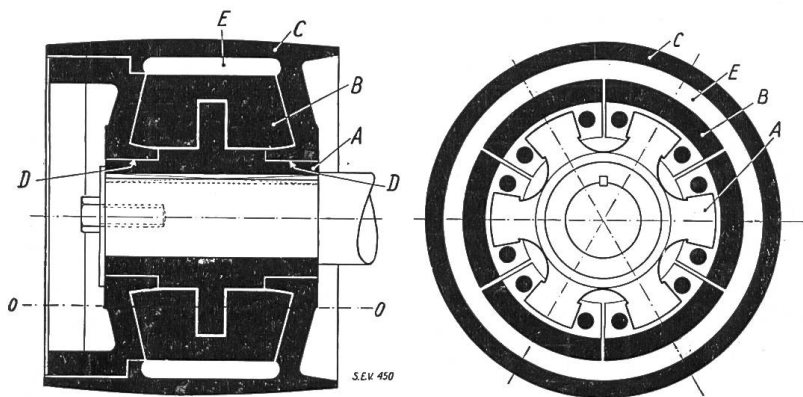


Fig. 11.
Schematische Darstellung der Kupplung II.
A: Antreibender Teil } der Kupplung.
C: Angetriebener Teil }
B: Fliehkörper.
D: Gleitlager. E: Hohlraum.

Anlaufen des Motors ermöglichen soll. Bald aber wird das Oel in den Hohlraum *E* geschleudert; gleichzeitig nimmt die Pressung zwischen *B* und *C* zu, was eine Steigerung des übertragbaren Moments bewirkt. Ist einmal die Last auf die Tourenzahl des Motors beschleunigt worden, so wird auch diese Kupplung starr.

Die Kupplung kann durch Einsetzen von 2, 3, 4 oder 6 Stücken *B* auf verschieden grosse, übertragbare Momente eingestellt werden.

Die Oelfüllung muss (nach dem Firmen-Prospekt) alle 3 bis 4 Monate erneuert werden. Diese Kupplung kommt ohne weiteres auch bei Aenderung des Drehsinnes zum Eingriff.

2. Fliehkraft-Kupplung mit Vorspannung.

Kupplung III. Diese Kupplung ist als Riemenscheibe ausgebildet. Wie aus Fig. 12 hervorgeht, handelt es sich um eine Rutschkupplung bekannter Konstruktion, die durch die Fliehkörper *A* gesteuert wird. Diese Gewichte sind um die Achse *B* drehbar gelagert und durch die Federn *C* in ihrer Ruhelage so lange festgehalten, bis die Tourenzahl einen gewissen Wert überschreitet. Dann ist die auf die Gewichte wirkende Zentrifugalkraft so gross geworden, dass sie die Kraft der Federn zu überwinden vermag und sich die Gewichte *A* nach aussen drehen und vermittelst des Stückes *D* die Reibscheiben *E* und *F* aneinanderdrücken. Die Scheiben *E* sind nun mit dem antreibenden Teil der Kupplung im Eingriff, die Scheiben *F* mit deren getriebenem Teil. Sobald die Scheiben aneinander gepresst werden, erfolgt ein Mitnehmen der Last.

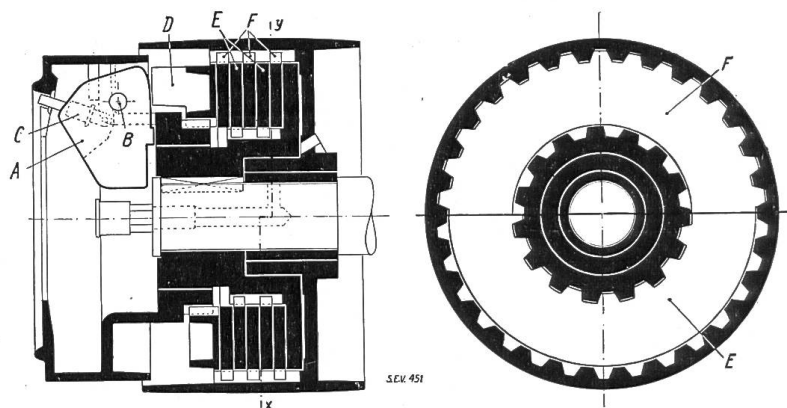


Fig. 12.
Schematische Darstellung der Kupplung III.
A: Fliehkörper. E: Reibflächen im Eingriff mit dem antreibenden Teil } der Kupplung.
B: Achse. F: Reibflächen im Eingriff mit dem angetriebenen Teil }
C: Feder.
D: Druckkörper.

An der geprüften Kupplung sind drei Gewichte *A* angebracht. Jedoch ist die Federkraft, die an jedem dieser Gewichte angreift, verschieden, so dass ein sanfteres Einkuppeln erfolgt.

Auch diese Kupplung kommt selbsttätig bei jedem Drehsinn zum Eingriff.

3. Bei Umschaltung von Stern auf Dreieck einrückende Kupplung.

Kupplung IV. Diese Kupplung ist als Riemenscheibe ausgebildet. Ihre Wirkungsweise wird im folgenden an Hand der Fig. 13 erläutert. Der Ausgangszustand, wie er in Fig. 13 dargestellt ist, bleibt auch während des Anlaufes in Stern-Schal-

tung erhalten. Beginnt sich die Welle des Rotors (R) im Gegen-Uhrzeigersinne zu drehen, so nimmt das fest mit der Welle verbundene Stück B die Schwungmassen S mit, welche aber infolge der Verriegelungswalzen C der Zentrifugalkraft nicht zu folgen vermögen. Wird nun der Strom unterbrochen und auf Dreieck umgeschaltet, so entsteht in diesem Augenblick, infolge elektrischer Ausgleichsvorgänge, ein Drehmoment, das den Rotor ruckartig verzögert⁵⁾. Die mit der Rotorwelle nicht fest verbundenen Schwungmassen S führen infolgedessen eine Bewegung im Drehsinn, relativ zur Rotorwelle, aus. Dadurch verschieben sich die Walzen C bis zu den Aussparungen des Stückes B und geben dadurch den Schwungmassen den Weg frei, der Zentrifugalkraft zu folgen. Infolgedessen drückt nun jede Schwungmasse mit den beiden Reibflächen A_1 und A_2 auf den anzutreibenden Teil der Kupplung. Das dadurch entstandene Bremsmoment bewirkt ein Mitnehmen der Last. Durch die Möglichkeit, die Reibflächen A_1 und A_2 an beliebige Stellen des Umfanges der Schwungmassen S verlegen zu können, kann die Kupplung sehr genau auf ein bestimmtes, übertragbares Drehmoment, und damit auf einen während des Anlaufvorganges nicht überschreitbaren Stromwert eingestellt werden.

Durch geeignete Einstellung des Relativweges der Schwungmassen S ist die Kupplung auch für direktes Anlaufen in Dreieck geeignet. In diesem Falle erfolgt erst das Erreichen der Leerlauf-Tourenzahls des Rotors, bevor die Kupplung einrückt. Auch diese Kupplung kann ohne weiteres für beide Drehsinne verwendet werden.

4. Hauptdaten der untersuchten Kupplungen.

Zur Orientierung der Leser wurden in Tabelle I die Hauptabmessungen der Kupplungen zusammengestellt.

Hauptabmessungen der untersuchten Kupplungen.

Tabelle I.

Kupplung No.	Riemenscheibe		Gewicht kg	Nennleistung bei 1500 T/min PS	Ueberlastbarkeit (Nennleistung = 1)
	Durchmesser cm	Breite cm			
I	— ¹⁾	— ¹⁾	12	5	1,4
II	17	11	12 ²⁾	5	1,6
III	16	14,7	12	4	1,75
IV	15	9	6,5	4	1,8
IVa ³⁾	13	8	5,5	4	1,8

¹⁾ Flansch-Kupplung.

²⁾ Ohne Oelfüllung.

³⁾ Neukonstruktion der Kupplung IV.

⁵⁾ Diese Tatsache kann dadurch erklärt werden, dass der Einschaltstrom unsymmetrisch zur Nulllinie verläuft, d. h. er enthält eine mit der Zeit exponentiell abklingende Gleichstrom-Komponente, die im Stator ein Gleichfeld erzeugt. In diesem Felde bewegt sich der Rotor, der nichts anderes als ein kurzgeschlossenes Leitergebilde darstellt, mit beträchtlicher Tourenzahl. Die im Rotor induzierten Ströme wirken der Rotorbewegung entgegen. (Vergl. No. 6 des Literatur-Verzeichnisses).

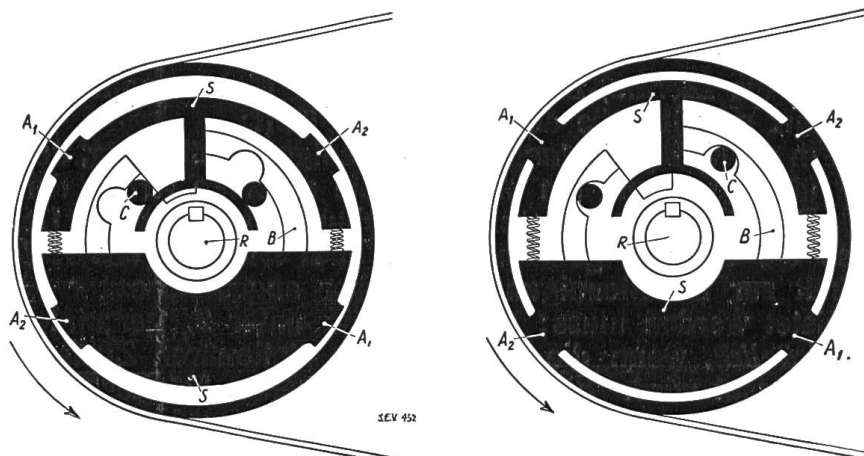


Fig. 13.

Schematische Darstellung der Kupplung IV

(links vor, rechts nach dem Ansprechen des Auslösemechanismus).

R : Rotorwelle.

B : Mitnehmer.

S : Schwungmassen.

C : Verriegelungswalzen.

A_1 und A_2 : Reibflächen.

B. Die Versuchsanordnung.

Massgebend für die Versuchsanordnung war der Gedanke, die Anlaufs- und Belastungsverhältnisse des Motors möglichst so zu gestalten, dass sie den praktisch vorkommenden entsprechen. Ganz allgemein lässt sich die Belastung des Motors stets in zwei Teile zerlegen:

1. in die *Leerlauf-Belastung*, wo der Motor wohl eine Maschine irgendwelcher Art antreibt, die aber unbelastet läuft;
2. in die *Nutz-Belastung*, d. h. denjenigen Lastbeitrag, der sich der Leerlaufbelastung überlagert und ein Mass für die nutzbare Arbeit der Maschine abgibt.

Die Wichtigkeit dieser Unterteilung wird durch die Ueberlegung hervorgehoben, dass die unter 1. genannte Last, auch *während des Anlaufens*, vermehrt um die Arbeit zur Beschleunigung sämtlicher angeschlossener Maschinenteile, vom Motor geleistet werden muss; während die unter 2. genannte Last möglicherweise erst *nachträglich*, wenn die Maschine den stationären Zustand erreicht hat, dem Motor aufgebürdet wird. Fig. 14 zeigt, auf welche Art diese Unterteilung zu verwirklichen

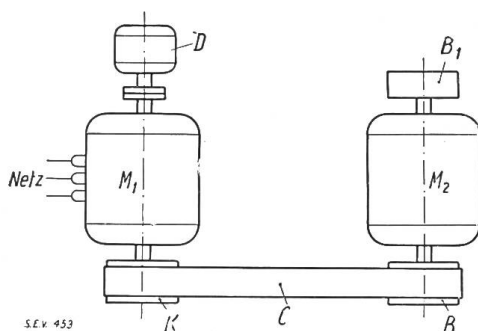


Fig. 14.

Schema der Versuchsanordnung zur Prüfung der Kupplungen.

M_1 : Antreibender Käfiganker-Motor.

M_2 : Zur Vergrößerung der Schwungmasse in die Versuchsanordnung eingefügter Motor.

K : Zu untersuchende Kupplung.

B : Riemenscheibe.

B_1 : Brems-Scheibe.

C : Triebriemen.

D : Touren-Dynamo.

gesucht wurde. Die zu untersuchende Kupplung K ist auf den einen Wellenstumpf des Motors M_1 aufgekeilt und treibt mittelst Riemen C und Riemenscheibe B den Motor M_2 , auf dessen anderem Wellenstumpf die Brems Scheibe B_1 aufgekeilt ist. Elektrisch vollständig unbeeinflusst, bewirkt die Rotor-Schwungmasse des Motors M_2 , während des Anlaufs, eine zusätzliche Belastung (Beschleunigungsarbeit) der Kupplung. Der Anlauf dieser Versuchsanordnung entspricht im Prinzip genau demjenigen, wo über eine Riemenscheibe eine Transmission oder irgend eine andere Arbeitsmaschine angetrieben wird.

Wenn also im folgenden von Leerlauf die Rede ist, so bedeutet dies nur, dass das an der Scheibe B ausgeübte Bremsmoment Null ist. Trotzdem muss während des Anlaufs durch die Kupplung ein Drehmoment übertragen werden.

Grundsätzlich ist also die beschriebene Versuchs-Anordnung von derjenigen nach Kloss durch die absichtliche Einschaltung der Schwungmasse M_2 verschieden, was bei einem Vergleich der Versuchsergebnisse wohl zu beachten ist. Eine besondere Untersuchung galt demjenigen Fall, wo für den Motor M_2 ein Langsam-Läufer mit einem Schwungmoment $GD^2 = 44 \text{ kgm}^2$ gekuppelt wurde. Die dabei erhaltenen Resultate ergaben aber nichts prinzipiell neues, weshalb sie hier übergangen werden.

Die *elektrische Messanordnung* wich in nichts von der bei Motoren-Prüfungen üblichen ab. In die mittlere Phase war ein Shunt eingeschaltet, an den die eine Oszillographen-Schleife angeschlossen war.

Mit dem Motor M_1 starr gekuppelt war auch die fremderregte Touren-Dynamo D (siehe Fig. 14), welche es ermöglichte, die Tourenzahl des Motors während des Anlaufes durch den Oszillographen zeitlich richtig aufzuzeichnen.

Die Spannung des Motors wurde so reguliert, dass er bei der auf dem Firmenschild angegebenen Tourenzahl das der zu untersuchenden Kupplung eigene Nenn-drehmoment leistete. Die während des Anlaufes oszillographisch beobachteten, maximalen Spannungsabfälle betrugen ca. 3% der Nennspannung.

C. Versuchsergebnisse.

Nachdem schon Kloss gezeigt hat, dass bei Anlaufversuchen die Ampèremeter mit vorgestelltem Zeiger keine brauchbaren Angaben zu liefern vermögen, blieb für die Untersuchung allein die Anwendung des Oszillographen übrig. Eine direkte

Wiedergabe der erhaltenen Oszillogramme schien aber nicht zweckmässig, da wegen den verschiedenen Umlaufzeiten der Registriertrommel, sowie wegen der verschiedenen, den Schleifen vorgeschalteten Widerständen die Oszillogramme nicht direkt miteinander verglichen werden könnten. Es sind deshalb in den Fig. 15 bis 34 die wichtigsten Oszillogramme auf einen einheitlichen Strom-Zeit-Masstab umgezeichnet worden. Dabei wurde der unsymmetrische Einschaltstrom-Stoss, als für die Beurteilung der Kupplung unwesentlich, weggelassen.

Die oben erwähnten Versuchs-Resultate umfassen folgende 2 Hauptgruppen:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Anlauf in Stern-Dreieck-Schaltung: | 2. Anlauf in Dreieck-Schaltung: |
| a) bei Leerlauf, | a) bei Leerlauf, |
| b) bei Ueberlast. | b) bei Ueberlast. |

Dabei wurde die unter 1. erwähnte Schaltung in der Weise durchgeführt, dass möglichst lange in Stern-Schaltung verblieben wurde, um wenn möglich den Motor die stationäre Tourenzahl (Punkt C in Fig. 7a, 8a und 9a) erreichen zu lassen. Es ist aber hervorzuheben, dass im praktischen Betrieb dieser Massregel aus vielerlei Gründen nicht immer die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die auf der nächsten Seite dargestellten Oszillogramme gelten also für den günstigsten Fall. Kleinere Stromstärken sind infolgedessen unter sonst gleichen Umständen nicht zu erwarten. Um einen Anhaltspunkt zu geben, auf welchen maximalen Wert die Stromstösse ansteigen können, sind auf Seite 223 die Ergebnisse bei direktem Einschalten des Motors auf Dreieck dargestellt. Auf den zwei nächsten Seiten direkt miteinander vergleichbar, sind links die im günstigsten Falle, rechts die im ungünstigsten Falle zu erwartenden Stromstösse einander gegenüber gestellt.

Die Untersuchung des Anlaufs bei Leerlauf und Ueberlast gestattet es ohne weiteres, den Einfluss der Belastung auf den Anlaufvorgang bei verschiedenen Kupplungen zu verfolgen. In diesem Zusammenhange sei bloss nochmals auf den Einfluss der Ueberlastbarkeit der Kupplung auf die Stromaufnahme während des Anlaufes, hingewiesen. Dieser Ueberlastbarkeit sind zum Teil die in Fig. 16, 20, 24, 28 auf Seite 222, sowie Fig. 18, 22, 26, 30 auf Seite 223 deutlich sichtbaren Anschwellungen des Stromes kurz vor Beendigung des Anlaufvorganges zuzuschreiben. Auffallen dürfte vor allem, dass bei den Kupplungen III und IV die Stromaufnahme vor dem Starrwerden sehr verschieden ausfällt. Zur Erklärung dieses Verhaltens braucht aber nur darauf hingewiesen zu werden, dass bei Kupplung III das Drehmoment durch die Reibung Eisen auf Eisen bei geringem spezifischem Flächendruck übertragen wird, während bei Kupplung IV dieser Flächendruck absichtlich hoch gehalten wird. Zudem bestehen die Reibflächen A_1 und A_2 (Fig. 13) aus einem Faserstoff, dessen Reibungskoeffizient nur in geringem Masse vom spezifischen Flächendruck und der Relativgeschwindigkeit zwischen antreibendem und getriebenem Teil der Kupplung abhängig ist. Dagegen ist der Reibungskoeffizient „Eisen auf Eisen“ von den genannten beiden Faktoren derart abhängig, dass er mit abnehmender Relativgeschwindigkeit und höherem spez. Flächendruck zunimmt. Hieraus erklärt sich das verschiedene Verhalten der Kupplungen unmittelbar vor dem Starrwerden.

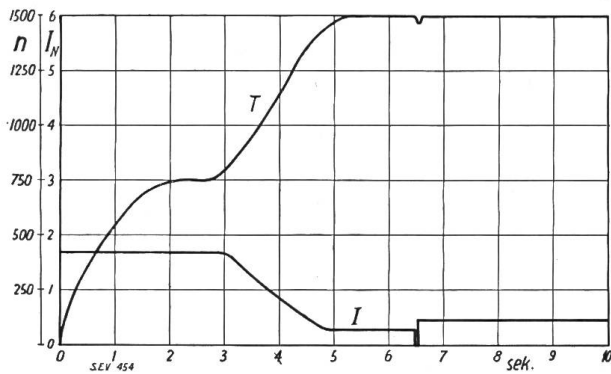
Es muss aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass die erwähnte Anschwellung bei allen Kupplungen einen sehr stetigen und verhältnismässig langsamen Verlauf aufweist. Infolgedessen dürfte sie kein lästiges Schwanken des Glühlampenlichtes zur Folge haben.

Anders ist es in dieser Beziehung mit den Stromstössen, die bei gewissen Kupplungen beim Einschalten auf Dreieck eintreten. Nur die Kupplung IV weist gleiche Anlaufverhältnisse auf, wie sie beim Anlauf mit Leer- und Festscheibe erhalten werden⁶⁾.

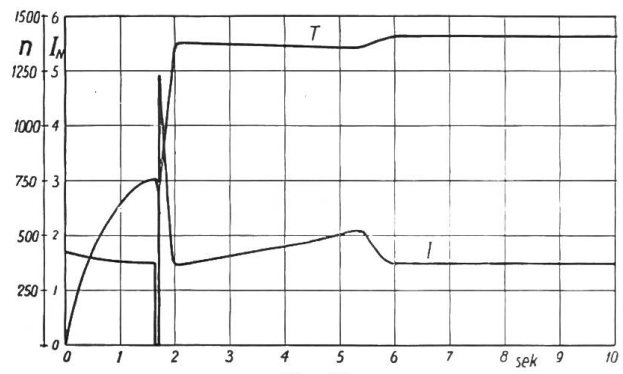
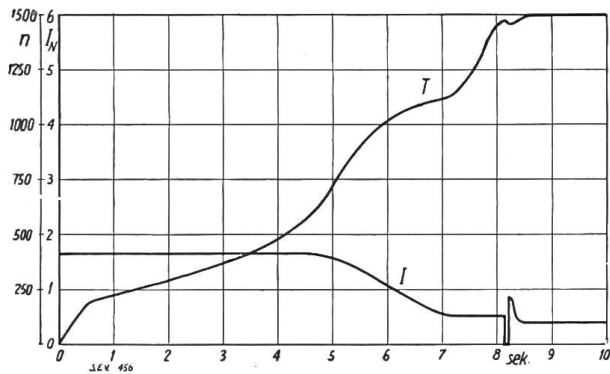
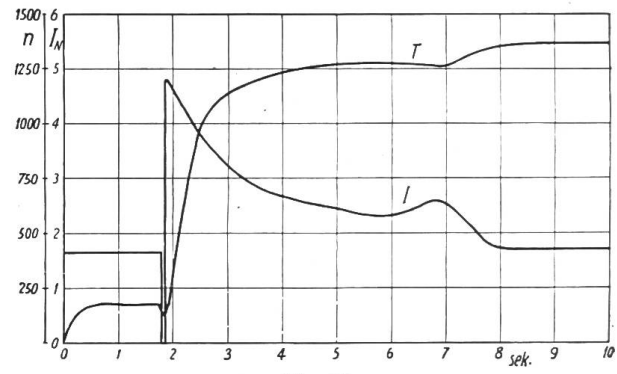
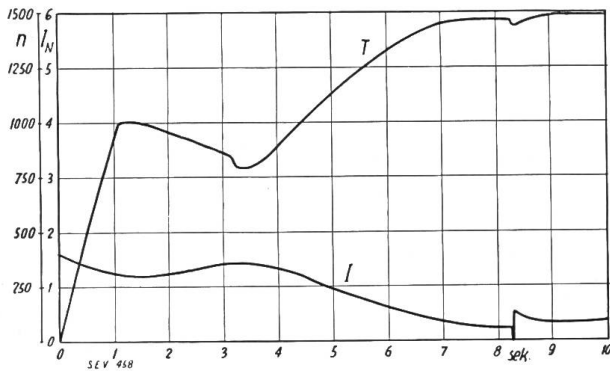
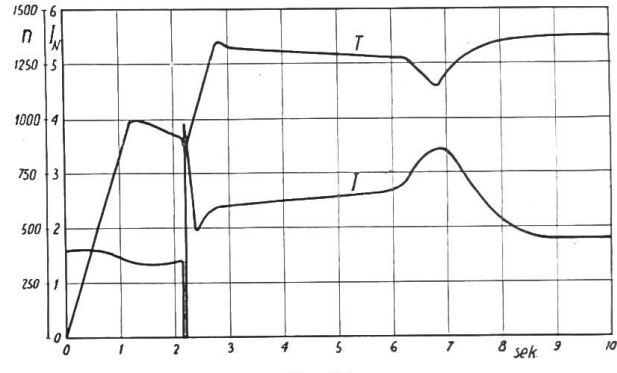
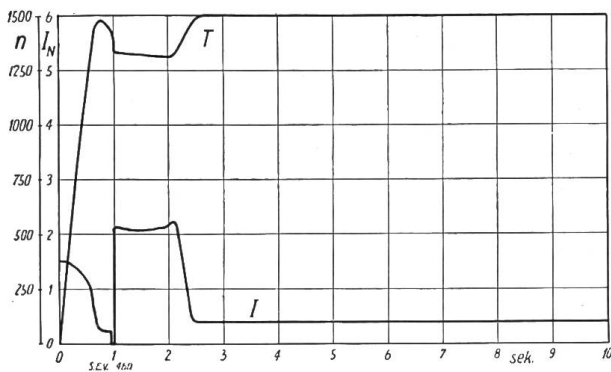
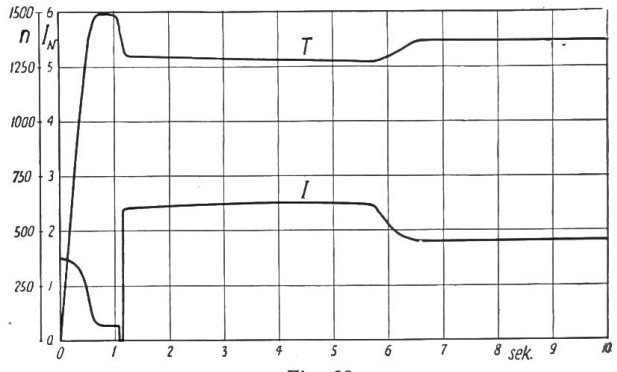
⁶⁾ Im Gegensatz zu den andern Kupplungen, bedarf Kupplung IV der besonderen Einstellung, um bei direktem Einschalten auf Dreieck anzulaufen.

Zeitlicher Verlauf des Statorstromes (I) und der Rotortourenzahl (T) bei Stern-Dreieckschaltung.

Anlauf unbelastet.

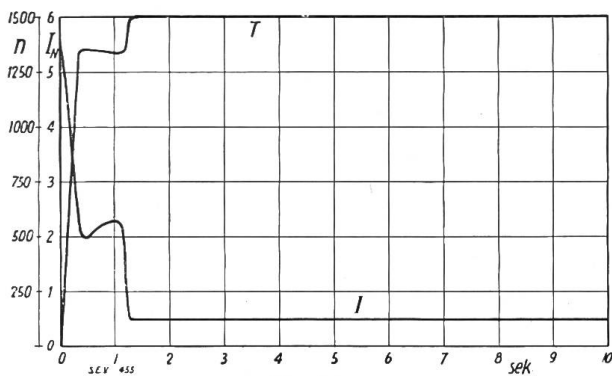
Fig. 15.
Kupplung I.

Anlauf bei Ueberlast.

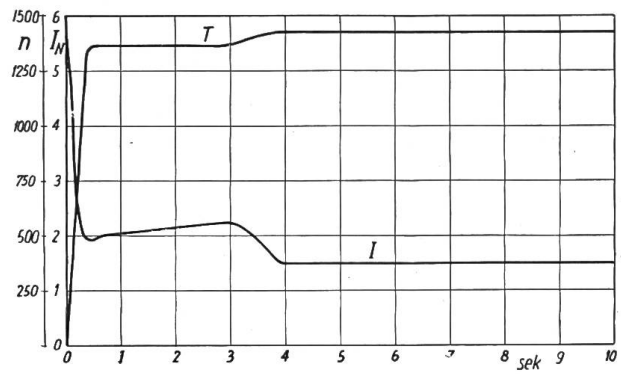
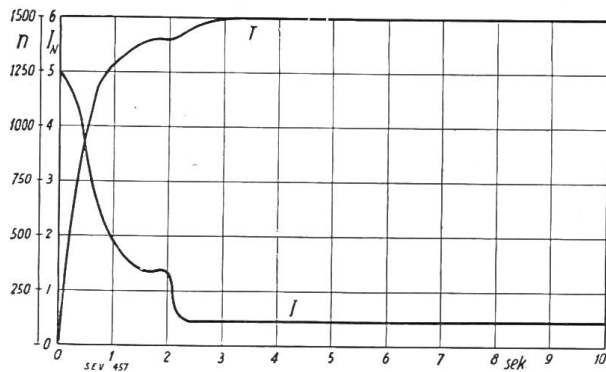
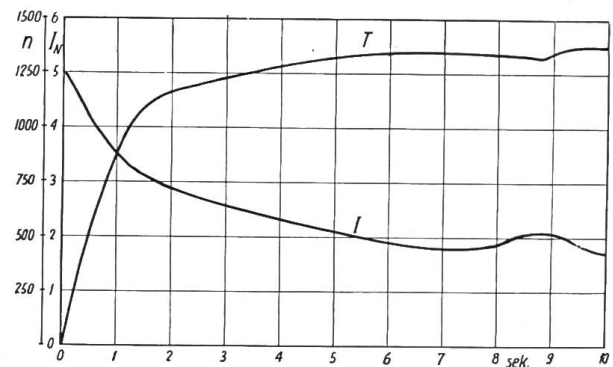
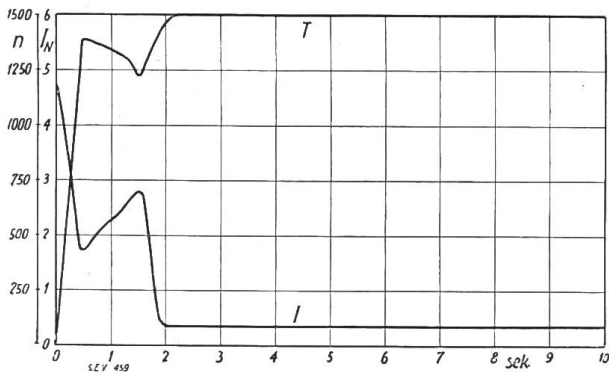
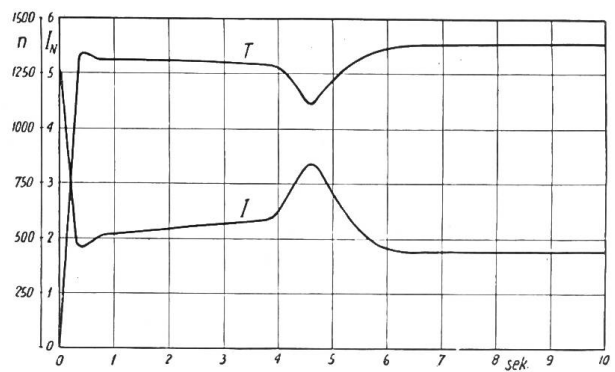
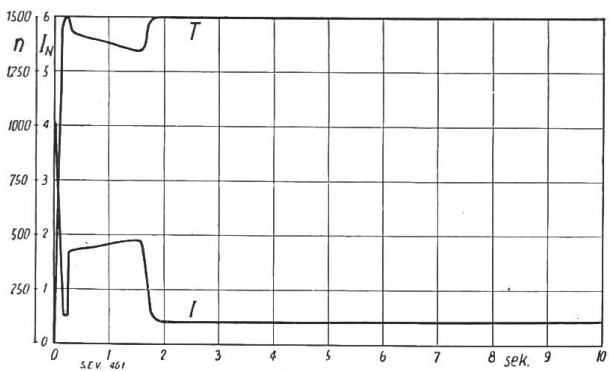
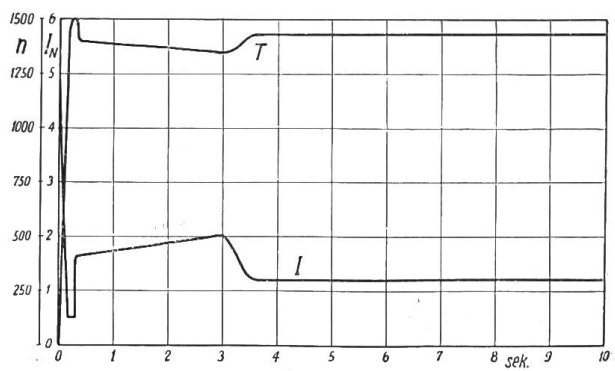
Fig. 16.
Kupplung I.
Ueberlast = 1,4 mal Nenndrehmoment.Fig. 19.
Kupplung II.Fig. 20.
Kupplung II.
Ueberlast = 1,6 mal Nenndrehmoment.Fig. 23.
Kupplung III.Fig. 24.
Kupplung III.
Ueberlast = 1,7 mal Nenndrehmoment.Fig. 27.
Kupplung IV.Fig. 28.
Kupplung IV.
Ueberlast = 1,7 mal Nenndrehmoment.

Zeitlicher Verlauf des Statorstromes (I) und der Rotortourenzahl (T) bei direktem Einschalten auf Dreieck.

Anlauf unbelastet.

Fig. 17.
Kupplung I.

Anlauf bei Ueberlast.

Fig. 18.
Kupplung I.
Ueberlast = 1,4 mal Nenndrehmoment.Fig. 21.
Kupplung II.Fig. 22.
Kupplung II.
Ueberlast = 1,6 faches Nenndrehmoment.Fig. 25.
Kupplung III.Fig. 26.
Kupplung III.
Ueberlast = 1,7 faches NenndrehmomentFig. 29.
Kupplung IV.Fig. 30.
Kupplung IV.
Ueberlast = 1,2 faches Nenndrehmoment.

Zu weiterem Vergleich ist in Fig. 31 bis 34 der Anlauf des Motors dargestellt, wenn die Kupplung K (Fig. 14) durch eine feste Riemenscheibe ersetzt wird. Es ist dabei zu beachten, dass das Lastmoment nur das 1,3fache des Nenndrehmomentes betrug, da sonst ein Anlaufen des Motors nicht hätte erzielt werden können.

Anlaufversuche mit fester Riemenscheibe.

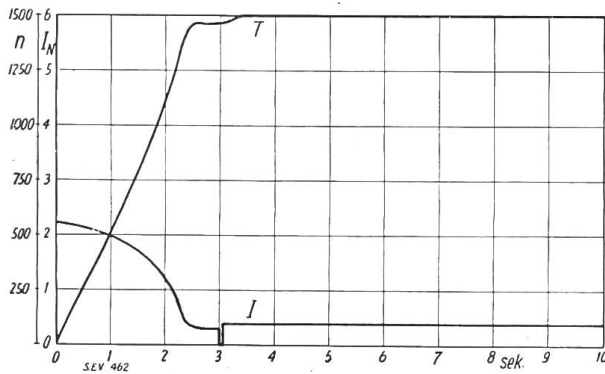


Fig. 31.
Leeranlauf.

Zeitlicher Verlauf des Statorstromes (I) und der Rotortourenzah (T) bei Einschalten mittels Stern-Dreieck-Schalter.

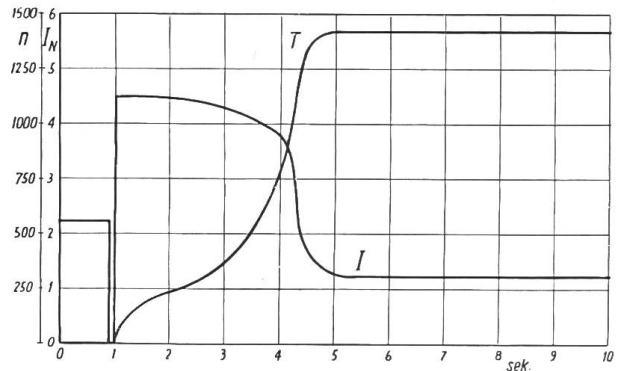


Fig. 32.
Anlauf bei 1,3-fachem Nenndrehmoment.

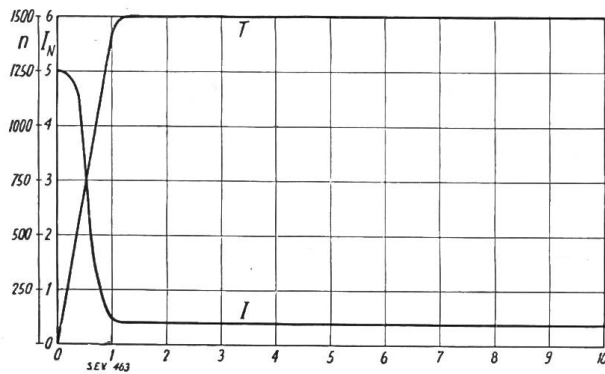


Fig. 33.
Leeranlauf.

Zeitlicher Verlauf des Statorstromes (I) und der Tourenzahl (T) bei direktem Einschalten auf Dreieck.

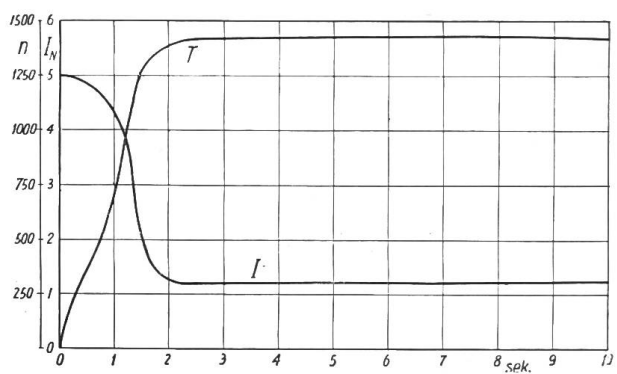


Fig. 34.
Anlauf bei 1,3-fachem Nenndrehmoment.

D. Interpretation der Versuchsergebnisse.

1. Anlauf in Stern-Dreieck-Schaltung.

a) *Leeranlauf.* Die erste Vertikalreihe der Seite 222 zeigt, dass bei der vorhandenen Versuchsanordnung mit allen Kupplungen schon in Stern-Schaltung der Motor die volle Tourenzahl zu erreichen imstande ist. Infolgedessen sind dann keine nennenswerten Stromstöße bei Umschaltung auf Dreieck zu beobachten.

Bezüglich der Dauer des Anlaufvorganges ist jedoch eine erhebliche Differenz im Verhalten der drei Kupplungssysteme festzustellen.

Bei den Kupplungen I und II (reine Fliehkraftkupplungen) ist am Verlauf des Stromes erkenntlich, dass schon bei ganz kleinen Tourenzahlen ein Moment auf die Versuchseinrichtung übertragen wird. Dadurch kann das bei der jeweiligen Tourenzahl des Motors M_1 zur Verfügung stehende Drehmoment vorerst nicht ausschliesslich zur Beschleunigung von dessen Rotor ausgenützt werden, sondern es wird ein Teil davon durch Reibung vernichtet. Infolgedessen muss der Motor längere Zeit im ungünstigen Teil der Charakteristik arbeiten. Der Anlaufvorgang bei Stern-Schaltung wird deshalb in die Länge gezogen, ja es besteht die Möglichkeit, dass der Motor im Anlauf hängen bleibt, so dass erst bei Umschalten auf Dreieck der Vollanlauf unter einem unerwünschten, länger dauernden Stromstoss erfolgt.

Obschon auch Kupplung III (Fliehkraftkupplung mit Vorspannung) eine sehr lange Anlaufzeit in Stern-Schaltung aufweist, so ist ihr prinzipielles Verhalten doch von demjenigen der vorgenannten Kupplungen verschieden. Aus Fig. 23 ist ersichtlich,

dass der Motor sehr rasch die Tourenzahl 1000 erreicht, worauf die Kupplung zum Eingriff kommt. Dies bewirkt nun ein merkliches Zurückgehen der Tourenzahl, verbunden mit einer Zunahme des Stromes. Diese Tatsache lässt sich so erklären, dass das übertragbare Moment der Kupplung erst bei ca. 1000 Touren für den Motor fühlbar wird, aber noch (infolge der Vorspannung) einen ziemlich kleinen Wert annimmt gegenüber dem zur Lastbeschleunigung benötigten Drehmoment. Immerhin erfolgt der vollständige Anlauf der Versuchseinrichtung im günstigen Teil der Motor-Charakteristik, so dass ein Hängenbleiben nicht zu befürchten ist. Die Tatsache, dass trotz den günstigeren Anlaufverhältnissen des Motors der Anlauf der Versuchs-Einrichtung länger dauert als bei den Kupplungen I und II, rührt daher, dass die Kupplungen I und II ihrer Konstruktion nach bestimmt sind, ein grösseres Drehmoment zu übertragen, als Kupplung III.

Der Anlauf der Versuchs-Einrichtung bei Anwendung der Kupplung IV ist ähnlich demjenigen mit Leer- und Festscheibe. In Stern-Schaltung läuft der Rotor gänzlich unbelastet an und nach Einschalten auf Dreieck erfolgt das Einrücken der Kupplung, d. h. die Reibflächen übertragen das auf einen bestimmten Wert einstellbare Drehmoment. Dadurch, dass der Rotor schon die volle Tourenzahl erreicht hat und der Stator bereits auf Dreieck umgeschaltet ist, erfolgt der Beschleunigungsvorgang (siehe Fig. 27) in sehr kurzer Zeit.

b) Anlauf bei Ueberlast. Der Anlaufvorgang der verschiedenen Kupplungen bei Ueberlast bei Stern-Dreieck-Schaltung wird in den Fig. 16, 20, 24 und 28 zur Darstellung gebracht. Hier erkennt man schon in der Kategorie der reinen Fliehkraft-Kupplungen einen deutlichen Unterschied im Verhalten. Kupplung I erlaubt dem Motor immerhin eine Tourenzahl zu erreichen, die seinem Maximal-Drehmoment ungefähr entspricht (Fig. 16). Wird nun umgeschaltet, so erfolgt ein heftiger Stromstoss (ca. 5 mal Nennstrom), der aber innert ungefähr 0,15 Sek. auf das 2,5 fache des Nennstromes abgeklungen ist. Nun erst beginnt der letzte Teil des Anlauf-Vorganges, wo die Relativgeschwindigkeit zwischen den Teilen der Kupplung immer geringer wird, bis das Starrwerden der Kupplung, gekennzeichnet durch das Uebergehen auf stationäre Tourenzahl und Absinken des Stromes auf einen konstanten Wert, eintritt und somit der Anlauf-Vorgang zum Abschluss kommt.

Im Gegensatz hierzu erlaubt Kupplung II dem Motor nicht, in Stern-Schaltung eine wesentliche Tourenzahl zu erreichen (Fig. 20). Erst nach Umschalten auf Dreieck erfolgt unter grosser Stromaufnahme der Anlauf der Versuchseinrichtung. Es dauert rund 3 Sek. bis sich der Anlaufstrom auf das 2,5 fache des Nennstroms verkleinert hat. An dem zeitlichen Verlauf der Tourenzahl erkennt man, dass in der Kupplung noch bei relativ hohen Tourenzahlen ein Gleiten stattfinden kann, wobei ein Teil des Drehmomentes, statt in Beschleunigungs- und Nutzarbeit, in Wärme umgesetzt wird.

Wesentlich günstiger verhält sich Kupplung III (Fliehkraft-Scheibe mit Vorspannung). Der Motor erreicht ohne weiteres eine Tourenzahl von ungefähr 1000 Touren pro Min. (Fig. 24). Bei Umschalten auf Dreieck erfolgt deshalb ein weniger heftiger Stromstoss als bei den vorgenannten Kupplungen, der überdies noch innert $\frac{1}{6}$ Sek. auf den 2,5 fachen Wert des Nennstromes abgeklungen ist. Während dieser Zeit hat der Rotor die Arbeits-Tourenzahl erreicht, wodurch die Kupplung ein beträchtliches Moment auf die Versuchsanordnung zu übertragen vermag. Infolgedessen kommt die Last in Bewegung und dadurch nimmt die Relativgeschwindigkeit zwischen den Kupplungsteilen ab. Dies hat eine weitere Steigerung des übertragbaren Momentes zur Folge, weshalb die Tourenzahl eine Senkung, der Strom eine Zunahme erfährt. Mit dieser Zunahme ist aber hier eine Zunahme des Motor-Drehmomentes verbunden (günstiger Teil der Motor-Charakteristik), so dass der Anlauf-Vorgang nun sehr rasch beendet wird.

Kupplung IV zeigt prinzipiell dasselbe Bild (Fig. 28), wie beim Leeranlauf (Fig. 27). Zu bemerken ist wieder das Erreichen der Leerlauf-Tourenzahl des Rotors und das typische Abklingen des Stromes in Stern-Schaltung auf einen sehr kleinen Wert. Hierauf erfolgt das Umschalten auf Dreieck, wodurch die Kupplung zum Einrücken

gebracht wird und bei einer konstanten Stromaufnahme vom 2,5fachen des Nennstromes den Anlauf der Versuchseinrichtung bewirkt.

Vergleicht man das Verhalten der Kupplung IV mit dem Anlauf einer Anordnung mit Leer- und Festscheibe, so erkennt man, dass Kupplung IV diesen Vorgang vollendet nachahmt, ja ihn sogar noch in einem Punkte übertrifft. Will man nämlich beim Einrücken der Festscheibe keinen zu starken Stromstoss erhalten, so muss der Riemen sehr langsam von der Leerscheibe auf die Festscheibe geschoben werden. Dadurch gleitet der Riemen am Anfang auf der Festscheibe, was wohl ein sanftes Anfahren ergibt, zugleich aber einen bedeutenden Verschleiss zur Folge hat. Dies wird durch Verwendung der Kupplung IV vermieden.

2. Anlauf in Dreieck-Schaltung.

Wie bereits früher erwähnt, sollen die Versuche mit direktem Einschalten auf Dreieck zeigen, welche Stromstösse bei einem gegebenen Motor im ungünstigsten Fall (sofortiges Durchreissen des Stern-Dreieckschalters auf Dreieck) überhaupt auftreten können. Sie geben aber auch eine Antwort auf die Frage, ob und unter welchen Umständen der Stern-Dreieckschalter durch einen einfachen ersetzt werden kann.

a) *Leeranlauf.* Bei Kupplung I (Fig. 17) erfolgt der Anlauf des Motors M_1 mit einer heftigen, kurz dauernden Stromspitze, während dessen Tourenzahl den stationären Wert erreicht. Kupplung II weist auch hier ungünstigere Daten auf (Fig. 21). Die Dauer des Stromstosses hat sich rund verdreifacht und es dauert relativ lange, bis der Motor auf die Leerlauf-Tourenzahl gekommen ist. Kupplung III (Fig. 25) lässt auch hier wieder erkennen, dass der Rotor erst etwa 1000 T/min. erreichen kann, bevor eine nennenswerte Lastübertragung zur Beschleunigung der Versuchsanordnung eintritt. Dadurch wird erreicht, dass der Anlaufstromstoss nur eine sehr geringe Dauer aufweist. Kupplung IV (Fig. 29) lässt den Rotor erst die *volle* Leerlauf-Tourenzahl erreichen, bevor sie einrückt. Dadurch wird bewirkt, dass der Anlaufstromstoss ein Minimum an Zeit beansprucht.

b) *Anlauf bei Ueberlast.* Während die Dauer des Anlaufstromstosses bei Kupplung I von derjenigen in unbelastetem Zustand nicht viel verschieden ist (Fig. 18), zeigt Kupplung II hier ein wesentlich ungünstigeres Bild (Fig. 22). Zu erkennen ist ohne weiteres, dass auch beim direkten Einschalten auf Dreieck der Motor nur mit Mühe eine höhere Tourenzahl erreicht. Ohne Zweifel lässt sich hiedurch ein relativ sanftes Anfahren erreichen, ein Blick auf die Stromkurve der Fig. 22 zeigt aber, um welchen Preis dies erkauft ist.

Kupplung III zeigt in Fig. 26 ein ähnliches Verhalten des Anlaufstromes wie in Fig. 25. Die Zeit bis zum Starrwerden der Kupplung ist begreiflicherweise grösser, als in Fig. 25. Dagegen erkennt man ohne weiteres, dass auch in dieser Schaltung die Kupplung ein sicheres Anlaufen gegen hohe Ueberlast gewährleistet.

Mit Kupplung IV (Fig. 30) ist dies auch möglich, da der Rotor ja gänzlich unbelastet die Leerlauf-Tourenzahl erreichen kann. Hervorzuheben ist aber die Strombegrenzung, die mit dieser Kupplung vor dem Starrwerden erzielt wird, bei gleichzeitiger Wahrung einer beträchtlichen Ueberlastbarkeit.

3. Zusammenfassung.

Aus dem Vergleich sämtlicher Versuchsergebnisse geht hervor, dass die Kupplungen III und IV ein sicheres Anlaufen des Motors und damit der Last ermöglichen, wobei die Anlaufstromstösse praktisch von der Belastung unabhängig sind. Soll jedoch ein Anlaufen innerhalb gegebener Stromgrenzen erfolgen, so kann diese Bedingung nur durch Kupplung IV erfüllt werden, und auch von dieser nur dann, wenn Stern-Dreieck-Schalter zur Anwendung gelangen.

Ueber Kupplung I braucht in diesem Zusammenhange nicht berichtet zu werden, da sie zum Antrieb von Spezialmaschinen entworfen wurde.

Kupplung II dürfte in Bezug auf Anlauf nicht allen Bedingungen Genüge leisten. Die Verwendung eines Stern-Dreieck-Schalters hat hier nicht viel Sinn, da der Motor ja doch erst in Dreieck-Schaltung anzulaufen vermag.

III. Teil.

A. Schlussfolgerungen.

Von der Ueberlegung ausgehend, dass beim Anlauf von Käfiganker-Motoren erhebliche Stromstösse auftreten können, haben die Elektrizitätswerke bis jetzt den Anschluss von Motoren höherer Leistung nicht gestattet.

Experimentell wurde festgestellt, dass Spannungsschwankungen von $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{3}$ Sek. dem Auge besonders gut wahrnehmbare Zuckungen des Glühlampenlichtes verursachen. Wenn nun beim Anlauf von Käfiganker-Motoren höherer Leistung durch Anwendung besonderer Kupplungen erreicht werden kann, dass die Stromstösse weniger lang als $\frac{1}{12}$ Sek. dauern, so dürften in Zukunft grössere Motoren zum Anschluss an die Verteilnetze zugelassen werden, ohne dass dadurch die Qualität des Glühlampenlichtes gefährdet wird.

Die von der Materialprüfanstalt des S. E. V. durchgeführten umfangreichen Versuche haben einwandfrei ergeben, dass die Kupplung IV den obgenannten Anforderungen in jeder Beziehung entspricht, indem sie den vollkommen unbelasteten Anlauf des Motors gewährleistet.

Die Frage jedoch, wie hoch die Leistungsgrenze für die Zulassung von Käfiganker-Motoren, kombiniert mit Kupplung IV und Stern-Dreieck-Schaltung, angesetzt werden darf, lässt sich zurzeit noch nicht beantworten. Immerhin kann schon jetzt gesagt werden, dass Motoren bis 10 kW noch innerhalb dieser Grenze liegen. Untersuchungen an Käfiganker-Motoren höherer Leistung sind nahe bevorstehend. Ueber deren Resultat soll später an dieser Stelle berichtet werden.

Es sei zum Schlusse noch darauf hingewiesen, dass die vorliegenden Angaben keine Anhaltspunkte über Qualität und Lebensdauer der untersuchten Kupplungen ergeben können, da sich die erhaltenen Resultate nur auf kurzzeitige Laboratoriumsversuche stützen.

B. Literatur-Verzeichnis.

1. Der Drehstrom-Motor mit Käfiganker und seine Verwendung in elektrischen Netzen. Von *Fr. Kade*. Mitteilung der Vereinigung der Elektrizitätswerke 1919, Seite 101 u. ff.
2. Versuche über den Anlauf von Drehstrom-Motoren mit Kurzschluss-Anker. Von *Dr. Passavant*. Mitteilung der Vereinigung der Elektrizitätswerke 1919, Seite 133 u. ff.
3. Das Flackern des Lichtes in elektrischen Beleuchtungsanlagen. Von *Prof. Dr. K. Simons*. Elektrotechnische Zeitschrift 1917, Seite 453 u. ff.
4. The production of flicker in electric lamps by cyclic irregularity in the voltage. Report from the *British Electrical and Allied Industries Research Association*. Journal of the Institution of Electrical Engineers 1926, pg. 1090.
5. Elektrische Schaltvorgänge. Von *Prof. Dr. Ing. Reinhold Rüdenberg*. Berlin, Verlag von J. Springer, 1923.
6. Eine neuartige Anlasskupplung. Von *Dipl. Ing. Karl Obermoser*. Elektrotechnische Zeitschrift 1925, Seite 521 u. ff.
7. Die Erschliessung des normalen Kurzschlussanker-Motors für Vollastanlauf im Rahmen der V.D.E.-Vorschriften durch eine selbsttätige Anlasskupplung. Von *Dipl. Ing. Karl Obermoser*. Elektrotechnische Zeitschrift 1927, Seite 42 u. ff. Diskussions-Protokoll hierzu auf Seite 89 u. ff.
8. Anlaufversuche mit einem Drehstrom-Kurzschlussanker-Motor unter der Verwendung von Fliehkraftriemenscheiben. Von *Prof. Dr. ing. Kloss*. (Mitteilung aus dem elektrotechn. Versuchsfeld der T. H. Berlin.) Elektrotechnische Zeitschrift 1927, Seite 721 u. ff. Diskussions-Protokoll hierzu auf Seite 1127 u. ff.
9. Rettung des Leistungsfaktors durch Kurzschluss-Motoren. Von *Dr. E. Rosenberg, Weiz*. Elektrotechnische Zeitschrift 1927, Seite 645 u. ff.
10. Ueber die allgemeine Anwendbarkeit des Kurzschlussanker-Motors mittels einer neuartigen Anlasskupplung. Von *Karl Obermoser*, Baden-Baden. Mitteilung der Vereinigung der Elektrizitätswerke 1925, Seite 589 u. ff.