

Rudolf Krause

Anlasser und Regler für elektrische Motoren und Generatoren

Theorie, Konstruktion, Schaltung

Second Edition

Anlasser und Regler **für elektrische Motoren** **und Generatoren.**

Theorie, Konstruktion, Schaltung.

Von

Rudolf Krause,
Ingenieur.

Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 133 Textfiguren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1909

ISBN 978-3-662-38628-6 ISBN 978-3-662-39484-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-39484-7
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1909

Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

VORWORT.

Das in zweiter Auflage vorliegende kleine Werk über Anlasser und Regler soll die Grundzüge derjenigen zum Betrieb elektrischer Maschinen erforderlichen Apparate und Methoden behandeln, deren Zweck aus dem Titel ersichtlich ist. Diese Apparate sind so wesentlich mitbeteiligt an der Betriebssicherheit, dem guten Arbeiten und der Erhaltung elektrischer Maschinen, daß nach Ansicht des Verfassers eine besondere Behandlung derselben berechtigt ist.

Gegen die erste Auflage sind wesentliche Änderungen vorgenommen. So ist der Stoff zum Zwecke besserer Übersichtlichkeit anders geordnet und eine große Zahl neuerer Apparate und Schaltungen eingefügt, die seit dem Erscheinen der ersten Auflage in der Technik entstanden ist. Um den handlichen Umfang des Buches nicht zu stark zu vergrößern, mußten neben einigen jetzt veralteten Ausführungen noch Kürzungen vorgenommen werden, die sich hauptsächlich auf die Schalter erstrecken, über die nur die nötigsten Abhandlungen beibehalten sind, die mit Anlassern und Reglern in Verbindung stehen. Zum besseren Verständnis der mathematischen Ableitungen ist ein besonderer Abschnitt mit Zahlenbeispielen hinzugefügt, aus denen die praktische Anwendung der Berechnungen hervorgeht.

Das Buch setzt die allgemeinen Gesetze über das Verhalten elektrischer Maschinen als bekannt voraus, und die Ableitungen zur Berechnung fußen meistens auf den Angaben, wie sie in der Praxis aus Versuchen an den Maschinen abgeleitet werden.

Auf die konstruktive Ausführung glaubte der Verfasser nicht so ausführlich eingehen zu müssen, weil darüber Konstruktionsvorlagen in der Literatur vorhanden sind, jedoch sind eine Menge Einzelheiten erläutert, und es wurde in schwierigen Fällen, namentlich bei Schaltwalzen, mit Perspektivskizzen und Zeichnungen ein leichteres Verstehen herbeizuführen versucht, weil namentlich in technischen Dingen durch die wortreichste Beschreibung keine zeichnerische Darstellung ersetzt werden kann.

Altmittweida bei Mittweida, im März 1909.

Rudolf Krause.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

	Seite
Allgemeines über Art und Zweck der Anlasser	1
Allgemeines über Regler	3
Dauerbelastung und vorübergehende Belastung	3
Aussetzende Belastung	4

Abschnitt I.

Berechnung des Widerstandsmateriales.

Vorübergehende Belastung	5
Zulässige Erwärmung für vorübergehende Belastung	6
Berechnung des Drahtquerschnittes für vorübergehende Belastung	7
Berechnung der einzelnen Stufen nach der Zeitdauer der Belastung	7
Einteilung des Widerstandsmateriales in Gruppen verschiedenen Querschnittes	8
Einfluß von Porzellanzyllindern zum Aufwickeln des Widerstandsdrahtes	8
Dauernde Belastung	9
Wärmeableitung verschiedener Isolierstoffe	10
Berechnung des Drahtquerschnittes für dauernde Belastung	11
Erwärmungskonstante für 100° und andere Temperatur	11
Aussetzende Belastung	11

Abschnitt II.

Leitung und Unterbrechung des Stromes.

Wirkung des Stromes auf leitende Teile	13
Lichtbogen beim Unterbrechen und Schutz gegen seine Wirkungen	13
Plötzliche Unterbrechung	13
Geeignetes Material der Unterbrecherkontakte	14
Ausblasen des Lichtbogens durch Magnete	14
Querschnittsbelastung von Kontakten	15
Bestimmung der Größe von Kontaktflächen	15

	Seite
Formen von Kontaktfedern	16
Formen von Kontakten	17
Isolierung	18

Abschnitt III.

Anordnung des Widerstandsmateriales.

Günstigste Anordnung für Drahtspiralen	19
Dorndurchmesser zum Aufwickeln der Spiralen	19
Aufwickeln auf asbestumhüllte Eisenstäbe	19
Behandlung von Neusilberdrähten	20
Widerstandskästen aus Schmiedeeisen	20
Widerstandskästen mit aufklappbarer Kontaktplatte	21
Widerstandskästen aus Gußeisen	22

Abschnitt IV.

Grundlegende Schaltungen der Anlasser für Handbetrieb.

Schaltung für Hauptstrommotoren	24
Hauptstromanlasser für induktionsfreie Ausschaltung	24
Wendeanlasser für Hauptstrommotoren	25
Anlasser für Nebenschlußmotoren mit funkenfreier Ausschaltung	25
Wendeanlasser für Nebenschlußmotoren	27
Anlasser für Motoren mit Compoundwicklung	28
Anlasser für asynchrone Drehfeldmotoren	28
Schaltung von NIETHAMMER zur Verminderung der Kontakte bei Drehfeldanlassern	28
Schaltung von KAHLBERG zur Verminderung der Kontakte bei Drehfeldanlassern	29
Wendeanlasser für asynchrone Drehfeldmotoren	30
Wendeanlasser für asynchrone Drehfeldmotoren mit verminderter Kontaktzahl	31
Anlasser für Einphasenmotoren	31
Anlaßmaschinen	32
LEONARD-Schaltung	32
Schaltung LGNER-SIEMENS & HALSKE mit Anlaßdynamo und Schwungscheibe	32

Abschnitt V.

Ausführung von Anlassern für Handbetrieb und Schutzvorrichtungen.

Kurbelfeder zum Schutz gegen Dauereinschaltung der Spiralen	33
Rastenvorrichtung zum Langsameinschalten von FELTEN-GUILLAUME-LOHMEYER	33

	Seite
Schnecke und Schneckenrad zum Langsameinschalten	34
Schalthebelanlasser mit funkenfreier Abschaltung	34
Anlasser mit Nullstrom- und Überstromausschaltung	34
Magnetformen für Null- und Überstromausschaltung	35
Nebenschlußanlasser nach MOY und BASTIE	36
Wendeanlasser mit Nullstromausschaltung	38
Drehfeldanlasser mit Nullstrom- und Überstromausschaltung nach ELLISON	39
Kontaktplatte für kleinere Anlasser mit funkenfreier Ausschaltung	40
Kontaktplatte für größere Anlasser mit funkenfreier Ausschaltung	41
Flüssigkeitsanlasser	42
Glyzerinpumpe zum Langsameinschalten von Flüssigkeitsanlassern	43
Berechnung der Flüssigkeitsanlasser	44

Abschnitt VI.

Selbsttätige Anlasser.

Zweck und Verwendung von selbsttätigen Anlassern	45
Älterer Fliehkraftanlasser von SIEMENS & HALSKE	45
Neuerer Fliehkraftanlasser von SIEMENS & HALSKE	46
Antrieb durch Schwerkraft, älterer Anlasser der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft	46
Antrieb durch Schwerkraft, neuerer Anlasser der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft	47
Selbsttätiges Anlassen durch Benutzung der Spannungszunahme des anlaufenden Ankers	48
Anlasser mit Antrieb durch Hilfsmotor	49
Variatoranlasser für Handeinschaltung nach KALLMANN	51
Variatoranlasser für Selbsteinschaltung nach KALLMANN	52
Selbsttätige Anlasser für asynchrone Drehfeldmotoren	52
Einstufiger Anlasser im Läufer	53
Kurzschlußvorrichtung für Läufer von Drehfeldmotoren	54
Selbstanlasser der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft	55
Anlasser mit Gegenschaltung nach GÖRGES	55
Selbstanlasser nach FISCHER-HINNEN	55
Selbstanlasser nach ZANI	56

Abschnitt VII.

Regelung der Umlaufzahl von Motoren.

Allgemeines	58
Regelung der Umlaufzahl abwärts durch Vorschalten von Wider- stand vor den Anker	58

	Seite
Anlasser zum Regeln der Umlaufzahl unter die normale	59
Schutzvorrichtungen bei solchen Anlassern	60
Geschwindigkeitsregelung abwärts bei asynchronen Drehfeldmotoren	60
Geschwindigkeitsvermehrung durch Feldschwächung	61
Geschwindigkeitsregelung durch Ändern des Magnetstromes mit besonderem Regler bei Nebenschlußmotoren	61
Anlasser mit Kurzschließer für den Feldregler beim Anlauf	62
Anlasser mit einer Kurbel zum Anlassen und gleichzeitigem Regeln der Geschwindigkeit durch Feldschwächung	62
Anlasser mit besonderer Kurbel zum Geschwindigkeitsregeln	63
Geschwindigkeitsregelung durch Änderung des Luftspaltes	63
Geschwindigkeitsregelung durch Änderung des Luftspaltes der Stow Mfg. Co.	63
Geschwindigkeitsregelung durch Änderung des Luftspaltes nach HUNDT	63
Serienparallelschaltung für Gleichstrommotoren	64
Kaskadenschaltung bei Drehfeldmotoren	65
Geschwindigkeitsregelung durch Ändern des Magnetstromes bei Hauptstrommotoren	65
Umschalten des Motors an mehrere Spannungen in Mehrleiteranlagen	66
Geschwindigkeitsregelung durch Ändern der Polzahl bei Drehfeldmotoren	67

Abschnitt VIII.

Bremmung von Motoren durch Anlasser und Widerstände.

Anlasser mit Bremsschaltung für Nebenschlußmotore	68
Variatoren von KALLMANN als Bremswiderstände	69
Bremsschaltungen bei Hebezeugen und Straßenbahnen	69
Bremsschaltungen bei Drehfeldmotoren	70

Abschnitt IX.

Schaltwalzen.

Schaltwalze aus Kontakttringen	71
Zusammenbau einer Schaltwalze aus Ringen	72
Stromlauf in einer solchen Walze	73
Gehäuse für Schaltwalzen	75
Funkenbläser für Schaltwalzen	75
Daumenwalzen für starke Ströme	76
Walze aus Isoliermaterial mit aufgeschraubten Kontaktstücken	76
Stromlauf in einer solchen Walze	76
Walze mit Wanderkontakt	77
Hubschaltwalze	78

	Seite
Schaltwalze für Serienparallelschaltung bei 2 Motoren	80
Schalthebel für vorstehende Walze	82
Wendeschtalwalze für Drehfeldmotoren	83

Abschnitt X.

Regler für Generatoren für Handbetrieb und selbsttätig.

Reglerschaltung für Nebenschlußgeneratoren	84
Schaltung für funkenfreies Ausschalten von Nebenschlußreglern	84
Parallelbetrieb mehrerer Nebenschlußmaschinen	85
Verteilung der Belastung mit den Reglern	86
Ausschalten mit Hilfe der Nebenschlußregler	86
Regler für Maschinen mit gemischter Schaltung	87
Spannungsregelung bei Hauptstromgeneratoren	88
Spannungsregelung bei Wechselstromgeneratoren	88
Spannungsregelung bei Wechselstromgeneratoren mit gemeinsamer Erregermaschine	89
Spannungsregelung bei Wechselstromgeneratoren mit eigener Erregermaschine	89
Selbsttätiger Spannungsregler für Nebenschlußgeneratoren von VOIGT & HÄFFNER	90
Selbsttätiger Spannungsregler für Nebenschlußgeneratoren nach THURY	91
Selbsttätiger Spannungsregler für Wechselstromgeneratoren nach THURY	92
Selbsttätiger Spannungsregler für Wechselstromgeneratoren nach TIRRILL	92
Selbsttätiger Spannungsregler für Wechselstromgeneratoren nach SEIDNER	94

Abschnitt XI.

Berechnung der Anlasser.

Allgemeines	97
Berechnung von Anlassern	98
Verschiedene Arten des Anlaufens, abhängig von der ange- triebenen Arbeitsmaschine	97
Anlauf mit konstantem Drehmoment	98
Anlauf mit veränderlichem Drehmoment	98
Ableitung der Gleichungen zur Berechnung des Anlассers für Anlauf mit konstantem Drehmoment bei Nebenschluß	98
Anlauf mit Vollast	98
Anlauf mit geringer Last und Leeranlauf	102

	Seite
Anlauf mit Überlastung	103
Hauptstrommotoren, Anlauf mit Vollast	103
Drehfeldmotor	104
Allgemeine Regeln für sämtliche Anlasser	107

Abschnitt XII.

Bestimmung der Anlasser durch Zeichnung.

Nebenschlußmotor, Anlauf mit konstantem Drehmoment	108
Nebenschlußmotor, Anlauf mit geringer Last oder leer	111
Nebenschlußmotor, Anlauf mit Überlast	111
Hauptstrommotor, allgemeine Ableitung	111
Hauptstrommotor, Anlauf mit konstantem Drehmoment	113
Hauptstrommotor, Anlauf mit veränderlichem Drehmoment	113
Hauptstrommotor, Anlauf mit Überlast	114
Drehfeldmotor, allgemeine Ableitung	115
Drehfeldmotor, Anlauf mit konstantem Drehmoment	118
Drehfeldmotor, Anlauf mit geringer Last oder leer	119
Drehfeldmotor, Anlauf mit veränderlichem Drehmoment	119
Bestimmung der Stromstärke im Anlasser bei Drehfeldmotoren	120

Abschnitt XIII.

Berechnung der Tourenregler für Motoren.

Vorzuschaltender Widerstand bei Tourenregelung abwärts	122
Bestimmung desselben durch Zeichnung bei Nebenschluß	122
Bestimmung desselben durch Zeichnung bei Hauptstrom	122
Bestimmung desselben durch Zeichnung bei Drehfeldmotoren	122
Tourenregelung aufwärts für Nebenschlußmotoren	122
Berechnung des Reglers für bestimmte Tourenzahlen bei Nebenschluß	123
Berechnung des Reglers für bestimmte Tourenzahlen bei Hauptstrom	123
Tourenregelung aufwärts bei Drehfeldmotoren	124

Abschnitt XIV.

Bestimmung der Regler für Generatoren durch Berechnen und Zeichnung.

Bestimmung eines Nebenschlußreglers durch Zeichnung	125
Berechnung der Stufung	126
Berechnung der Stufung für fremde Erregung	126
Berechnung des Reglers bei Wechselstrommaschinen	129

Abschnitt XV.

Anwendung der Ableitungen.

Vollständige Berechnung eines kleinen Anlassers für Anlauf mit Vollast	133
Berechnung eines Anlassers für Leeranlauf	135
Anlasser mit Vorstufen	136
Bestimmung der Spannung für die Magnete in Fig. 55	138
Anlasser für Hauptstrommotoren mit Schaltwalzeneinschaltung durch Zeichnung bestimmt	139
Berechnung des Reglers für eine Nebenschlußmaschine	141
Tourenregelung aufwärts für einen Nebenschlußmotor	144
Anlasserbestimmung für einen Drehfeldmotor durch Zeichnung . . .	146

Einleitung.

Jeder Motor muß beim Anlaufen beschleunigt werden, weil seine umlaufenden Teile aus dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung übergeführt werden. Bei jedem Motor kommt die Drehung zustande, durch die Wechselwirkung von Strom und Feld, folglich kann man beim Einschalten des Motors zur Beschleunigung den Strom oder das Feld oder auch beides benutzen und je nach der Art des Motors geschieht dies in der einen oder in der anderen Weise.

Beim Nebenschlußmotor (vergl. Fig. 26) wird das Magnetfeld durch den konstanten Magnetstrom i hervorgerufen und ist für alle Belastungen so ziemlich konstant, wenn man die geringe Schwächung durch die Rückwirkung des Ankerfeldes vernachlässigt. Man muß deshalb den Nebenschlußmotor beim Einschalten dadurch beschleunigen, daß man ihm einen stärkeren Strom zuführt, als er im normalen Betriebe erhält.

Beim Hauptstrommotor (vergl. Fig. 1) wird das Magnetfeld mit der Belastung stärker und schwächer, weil Anker und Magnete hintereinander geschaltet sind. Will man den Hauptstrommotor einschalten, so führt man ihm ebenfalls einen stärkeren Strom zu, als sein normaler beträgt, aber weil dadurch gleichzeitig ein stärkeres Feld entsteht, läuft ein Hauptstrommotor unter sonst gleichen Umständen schon mit weniger Strom an, als ein Nebenschlußmotor.

Beim Verbundmotor (Motor mit gemischter Schaltung, Compoundmotor) (vergl. Fig. 28) wird zum Einschalten die vom Ankerstrom mit durchflossene Wicklung w_H benutzt, durch welche das gewöhnliche Feld der Nebenschlußwicklung w_n verstärkt wird. Es kann also auch dieser Motor mit geringerer Stromverstärkung

anlaufen als ein gleichwertiger Nebenschlußmotor, von dem er sich nur beim Anlaufen unterscheidet, weil im Betriebe die Hauptstromwicklung w_H kurzgeschlossen ist.

Der asynchrone Drehfeldmotor (vergl. Fig. 29) wird ähnlich wie der Nebenschlußmotor angelassen, indem man durch den Anlasser den Strom im Läufer beeinflusst. Auch bei diesem Motor ist das Feld für alle Belastungen innerhalb der zulässigen Grenzen ziemlich konstant.

Aus dem Vorstehenden folgt allgemein für jeden Motor, daß eine bestimmte Stromstärke beim Einschalten vorhanden sein muß, wenn der Motor anlaufen soll. Der Wert dieses Anlaufstromes muß zwar meist stärker als der des normalen Stromes sein, er darf aber, damit der Motor nicht Schaden leidet, einen nach den jeweiligen Umständen verschiedenen Höchstwert nicht überschreiten, so daß zum Einschalten gewöhnlich Widerstände benutzt werden müssen, die stufenweise beim Anlaufen des Motors verkleinert werden. Diese Widerstände sind die Anlasser.

Die Anlasser bestehen im wesentlichen aus zwei Teilen, aus der Schaltvorrichtung und dem Widerstandsmaterial. In den schon erwähnten Fig. 1, 26, 28, 29 ist die Schaltvorrichtung eine drehbare Kurbel, welche über entsprechende Kontakte gleitet. Dies ist die gewöhnliche Ausführung der Anlasser, bei denen meist die Platte, auf welcher Kurbel und Kontakte angeordnet sind, als Abschluß für den Kasten benutzt wird, in welchem das Widerstandsmaterial untergebracht ist (vergl. Fig. 20, 21). Da die Anlasser gewöhnlich nur zum Anlassen benutzt werden, wird das Widerstandsmaterial in ihnen nur für vorübergehende Belastung gewählt, und es verbrennt, wenn der Strom länger hindurchgeleitet wird, als der Motor Zeit zum Anlaufen gebraucht. In manchen Fällen (vergl. Abschnitt I) muß das Widerstandsmaterial wesentlich stärker gewählt werden, wenn der Motor häufig ein- und ausgeschaltet werden soll oder der Anlasser, wie bei Hebezeugen, zum Regeln der Umlaufzahl benutzt wird. Dann fallen natürlich die Maße für den Widerstandskasten viel größer aus, als bei vorübergehender Belastung.

Bei Hebezeugen und Bahnen, sowie überhaupt in sog. schweren Betrieben führt man die Schaltvorrichtung und den Widerstandskasten getrennt aus. Die Schaltvorrichtung wird dann als Schaltwalze (Kontroller) (vergl. Fig. 81, 87, 90) ausgeführt und dient gewöhnlich nicht nur zum Anlassen, sondern gleichzeitig auch zum

Wenden der Umlaufsrichtung und überhaupt zur Ausführung von Schaltungen, die für den Betrieb nötig sind.

Häufig lassen sich die Anlasser auch mit Schutzvorrichtungen versehen, um den Motor gegen Überlastung zu schützen, das Widerstandsmaterial vor dem Verbrennen, ferner vor zu schnellem Einschalten oder Umschalten. Solche Vorrichtungen und Schaltungen werden später beschrieben.

Ebenso läßt sich das Einschalten für Handbetrieb oder selbsttätig einrichten, wobei im letzten Falle der Motor selbst seinen Anlasser bedienen kann oder letzterer wird durch eine besondere Einrichtung, Schwerkraft oder einen kleinen Hilfsmotor bedient.

Sodann verbindet man häufig auch Anlasser und Geschwindigkeitsregler, so daß sich die Trennung zwischen Anlassern und Reglern nicht so streng durchführen läßt. Auch haben Regler und Anlasser manches gemeinsame, jedoch ist das Widerstandsmaterial der Regler immer für Dauerbelastung einzurichten, während es bei Anlassern meist aber nicht immer für vorübergehende Belastung bemessen wird.

Den Unterschied zwischen Dauerbelastung und vorübergehender Belastung kann man am besten durch Regler und Anlasser klar machen. In Fig. 1 ist der Stromlauf in einem gewöhnlichen Anlasser für Hauptstrommotoren gezeichnet. Soll der Motor anlaufen, so dreht man langsam die Kurbel von dem Totkontakt 0 über die einzelnen Kontakte 1, 2, 3 . . . hinweg bis zum letzten Kontakt (in Fig. 1, der fünfte). Es fließt während der Dauer dieses Anlassens der Strom vorübergehend durch die Widerstandsspiralen des Anlassers W , da das Einschalten aber immer weniger als 1 Minute andauert, so kann das Widerstandsmaterial sehr starken Strom aushalten, ohne schädliche Erwärmung, weil es zu letzterer längere Zeit gebraucht. Das Widerstandsmaterial eines derartigen Anlassers wird also nur vorübergehend belastet. Ganz anders liegt der Fall in Fig. 2. Dort ist der Regler R eines Gleichstromnebenschlussgenerators gezeichnet. Die Kurbel desselben muß je nach der Belastung J der Maschine auf irgend einem der Kontakte dauernd stehen bleiben und wird erst verstellt, wenn das Voltmeter eine

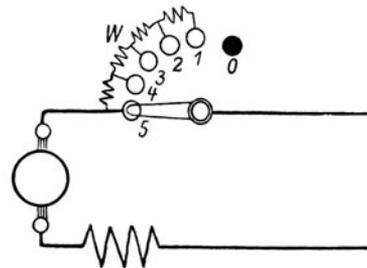


Fig. 1.
Anlasser für Hauptstrommotor.

Änderung der Spannung anzeigt. Das Widerstandsmaterial des Reglers R in Fig. 2 muß also für Dauerbelastung eingerichtet sein. Eine Zwischenstellung zwischen beiden Belastungsfällen nimmt die

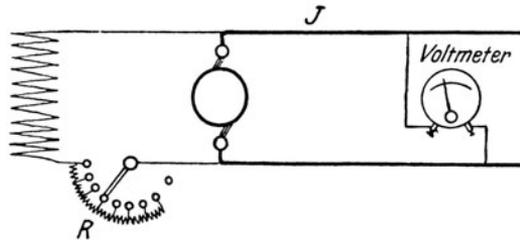


Fig. 2. Regler für Nebenschlußmaschine.

aussetzende Belastung ein. Sie kommt namentlich vor bei Hebezeugen und Fahrzeugen. Dort wird rasch nacheinander ein- und wieder ausgeschaltet. Häufig so schnell, daß das erwärmte Widerstandsmaterial noch keine Zeit zur Abkühlung hatte. Alle erwähnten Fälle sollen nun in folgendem nacheinander besprochen werden.

Abschnitt I.

Berechnung des Widerstandsmaterialies.

Vorübergehende Belastung.

Bei dieser Belastung ist Voraussetzung, daß der Motor selten eingeschaltet wird, so daß dann das Widerstandsmaterial erst vollkommen abkühlen kann. Die Zeitdauer der Beanspruchung durch den Strom beträgt nicht mehr als die Anlaufzeit eines Motors, die 30 Sekunden fast niemals überschreitet. Es kann dann die Wärmemenge, welche in dieser Zeit durch Ausstrahlung abgeführt wird, vernachlässigt werden, so daß die folgende Entwicklung gültig ist. Es sei ψ die spezifische Wärme (Wärmemenge zur Erwärmung von 1 kg des Materials um 1°), c sei der spezifische, w der OHMSche Widerstand, l die Länge in Metern, q der Querschnitt in Quadratmillimetern, γ das spezifische Gewicht, dann ist die vom Strom J in 1 Sekunde entwickelte Wärme in Grammkalorien:

$$Q = 0,24 J^2 \cdot w = J^2 \cdot c \cdot \frac{l}{q} \cdot 0,24 \dots \dots \dots (1)$$

Ist weiter T die Temperaturerhöhung (Temperatur des Drahtes abzüglich der Lufttemperatur), dann sind zur Erzeugung dieser Über-temperatur $T \cdot \psi \cdot l \cdot q \cdot \gamma$ Grammkalorien nötig, folglich ist:

$$0,24 J^2 \cdot c \cdot \frac{l}{q} = T \cdot \psi \cdot l \cdot q \cdot \gamma \dots \dots \dots (2)$$

Die in einer Sekunde entwickelte Temperaturerhöhung wird also:

$$T = \frac{0,24 J^2 \cdot c}{q^2 \cdot \gamma \cdot \psi} = 0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi} \cdot \left(\frac{J}{q}\right)^2 \dots \dots \dots (3)$$

In der folgenden Tabelle I sind für einige Widerstandsmaterialien die Werte von γ , c , ψ und der Wert $0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi}$ zusammen-

gestellt, außerdem noch der Temperaturkoeffizient α in Prozenten, d. h. die Widerstandszunahme, für 100 Ω bei einer Temperaturerhöhung um 1 $^{\circ}$.

Tabelle I.¹⁾

Material	γ	c bei 15 $^{\circ}$	ψ	$0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi}$	α in %
Aluminium	2,70	0,0308	0,21800	0,1256	+ 0,388
Eisendraht	7,70	0,1042	0,11300	0,0280	+ 0,480
Kupfer	8,96	0,0174	0,09332	0,0050	+ 0,380
Messing, gezogen . .	8,70	0,0707	0,09390	0,0208	+ 0,165
Neusilber	8,30	0,3010	0,09710	0,0890	+ 0,036
Nickelin	8,72	0,4000	0,09300	0,1180	+ 0,025
Platin	21,50	0,0937	0,03230	0,3690	+ 0,243
Rheotan	8,54	0,4700	0,09300	0,1420	+ 0,0200
Resistan	8,25	0,5100	0,11700	0,1270	+ 0,0015

Hauptsächlich finden als Widerstandsmaterial Verwendung die Materialien: Nickelin, Rheotan, Resistan, Neusilber. Sehr günstig ist scheinbar Eisen, dabei ist aber nicht zu vergessen, daß der Temperaturkoeffizient für Eisen 0,48 beträgt, also das heiße Eisen viel mehr Widerstand hat als das kalte. Bei den erwähnten üblichen Widerstandslegierungen sind die Temperaturkoeffizienten praktisch zu vernachlässigen, wie die letzte Spalte der Tabelle I zeigt.

Die Temperatur des Widerstandsmateriales darf, da man Lötstellen mit Lötzinn zum Anschluß von Abzweigleitungen im Anlasser vermeidet und dafür Verschraubung ausführt, fast bis zur Rotglut erhitzt werden. Wir rechnen zur Sicherheit eine Höchsttemperatur T_2 von 300 $^{\circ}$, wenn T_1 die Lufttemperatur in dem Raume ist, wo der Anlasser hängt. Bezeichnet t die Anlaufzeit, also die Höchstdauer der Belastung des Widerstandsmateriales, so ist die zulässige Endtemperatur:

$$T = \frac{T_2 - T_1}{t} = 0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi} \cdot \left(\frac{J}{q}\right)^2 \dots \dots (4)$$

daraus folgt als Drahtquerschnitt:

¹⁾ Zum Teil nach Versuchen von Dipl.-Ing. Dr. H. MOSLER zusammengestellt, „Konstruktion und Berechnung von Selbstanlassern“, Berlin 1904, Julius Springer.

$$q = \sqrt{\frac{J^2 \cdot t \cdot 0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi}}{T_2 - T_1}} = J \sqrt{0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi}} \cdot \sqrt{\frac{t}{T_2 - T_1}}$$

oder

$$q = J \cdot C_1 \sqrt{\frac{t}{T_2 - T_1}} \dots \dots \dots (5)$$

Der Wert von $C_1 = \sqrt{0,24 \cdot \frac{c}{\gamma \cdot \psi}}$ ist in Tabelle II gegeben.

Weil im allgemeinen die Temperatur T_1 des Raumes, in welchem der Anlasser hängt, nur klein ist (im Mittel 20°) gegen die zulässige Endtemperatur $T_2 = 300^\circ$, so kann man in Gleichung (5), wenn noch $t = 30$ gesetzt wird, einfach schreiben:

$$q = J \cdot C_1 \sqrt{\frac{30}{300}} = J \cdot C \dots \dots \dots (6)$$

In Tabelle II sind die Werte für C angegeben. Die Werte von J , welche in Gleichung (5) und (6) zu nehmen sind, werden gewöhnlich Mittelwerte, denn wie später gezeigt wird, muß jeder Motor zum Anlaufen und weiteren Beschleunigen von Kontakt zu Kontakt einen stärkeren Strom als den normalen erhalten, während der Beschleunigung des Ankers geht dann der Strom wieder auf den Normalwert zurück.

Bei größeren Anlassern berechnet man zum Ersparen von Widerstandsmaterial die Drahtquerschnitte der einzelnen Stufen. Hat der Anlasser n -Widerstandsstufen, so fließt der Strom durch die erste Stufe nur während der Zeit $\frac{t}{n}$, durch die zweite während der Zeit $\frac{2t}{n}$ usw., folglich werden die Querschnitte $q_1, q_2, q_3 \dots q_n$ der entsprechenden Stufen $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$ (vergl. Fig. 110) bestimmt zu:

$$q_1 = J \cdot C_1 \sqrt{\frac{\frac{t}{n}}{T_2 - T_1}},$$

$$q_2 = J \cdot C_1 \sqrt{\frac{\frac{2t}{n}}{T_2 - T_1}},$$

und allgemein wird für die x te Stufe:

$$q_x = J \cdot C_1 \sqrt{\frac{x \cdot t}{n}} \dots \dots \dots (7)$$

Die Berechnung der Querschnitte braucht nur für sehr große Anlasser von Stufe zu Stufe durchgeführt werden. In vielen Fällen genügt eine Einteilung der Widerstandsspiralen in mehrere Gruppen. In Fig. 3 ist ein Anlasser mit 12 Widerstandsspiralen gezeichnet und 7 Kontakten, also 6 Stufen $w_1, w_2, \dots w_6$. Man kann dann vielleicht je 2 Stufen zusammenfassen zu einer Gruppe, also die Stufen w_1 und w_2 bilden die erste Gruppe, die Stufen w_3 und w_4 die zweite und die Stufen w_5 und w_6 die dritte Gruppe. Es ist dann in Gleichung (7) der Wert $n = 3$ und es würden zur ersten Gruppe die Spiralen 1 bis 7 gehören, zur zweiten die Spiralen 8—10 und zur dritten die Spiralen 11 und 12. Bei dieser Gruppierung muß man natürlich Rücksicht auf die Widerstandsstufen nehmen und nicht willkürlich die Spiralen einteilen, denn es dürfen in einer Widerstandsstufe nicht verschiedene Querschnitte liegen.

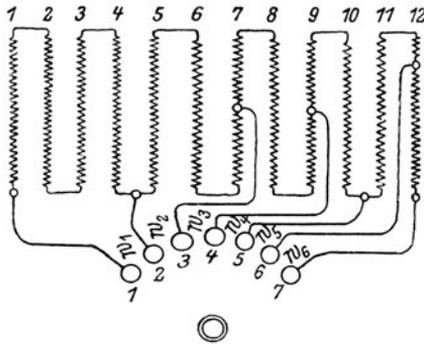


Fig. 3. Anschluß der Stufen an die Kontakte.

Tabelle II.

Material	C_1	C	Bemerkungen
Eisendraht	0,168	0,0532	Neusilber darf nur bedingungsweise verwendet werden (vergl. S. 20).
Kupfer	0,071	0,0225	
Neusilber	0,298	0,0945	
Nickelin	0,344	0,1170	
Rheotan	0,377	0,1190	
Resistan	0,356	0,1125	

Durch Anordnung der Drähte auf Porzellanzylinder erzielt man nach ERLACHER, ETZ 1902, S. 404 eine Widerstandersparnis

Tabelle III.

Material	<i>s</i>
Eisenblech, gewöhnlich	2,77
„ poliert	0,45
Gußeisen	3,17
Kupfer	0,16
Messing, poliert	0,26
Öl	7,24
Ölfarbe	3,71
Ruß	4,01
Sand, fein	3,62

Man erkennt aus der Tabelle die gute Wärmeableitungsfähigkeit verschiedener isolierender Stoffe, welche auch von verschiedenen Firmen angewendet werden. Die amerikanischen Anlasser und Regler nach LEONARD haben Widerstandsspiralen, welche in Sand gebettet sind. Dr. M. LEVY, Berlin und andere verwenden Widerstandsspiralen, welche auf Gußeisenelementen in Emaille eingelassen liegen, der große Strahlungskoeffizient des Öles wird ebenfalls häufig benutzt, indem man die Widerstandskästen mit demselben füllt. Auch Eisenblech mit Asbest isoliert legt man zwischen die Widerstandsspiralen.

Die allgemeine Gleichung für Dauerbelastung ist:

$$Q = 0,24 J^2 \cdot w = F(Q_1 + Q_2) = C_2 \cdot F \quad \quad (11)$$

C_2 bedeutet dann die von 1 cm² Oberfläche in jeder Sekunde abgegebene Wärmemenge. Aus Gleichung (11) folgt:

$$J = \sqrt{\frac{F \cdot C_2}{0,24 w}} = \sqrt{\frac{C_2}{0,24}} \cdot \sqrt{\frac{F}{w}} = C_1 \sqrt{\frac{F}{w}} \quad . . . \quad (12)$$

Hierin sind C_2 und C_1 unveränderliche Erfahrungswerte, wenn man eine bestimmte Übertemperatur zuläßt.

Entwickelt man die Gleichung (12) weiter, so kann man den Querschnitt des Drahtes berechnen. Es ist bei runden Drähten:

$$F = \pi \cdot d \cdot l,$$

weiter ist: $w = \frac{c l}{q}$, folglich wird aus Gleichung (12)

$$J = C_1 \sqrt{\frac{\pi \cdot d \cdot l \cdot q}{c \cdot l}},$$

setzt man $q = \frac{d^2 \pi}{4},$

so wird $J = C_1 \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot d^3}{c \cdot 4}};$

daraus folgt $J = C \sqrt{d^3} (13)$

Dabei ist also C eine von der Lüftung und der Oberflächenbeschaffenheit abhängige Materialkonstante, welche für 100° Über-temperatur in Tabelle IV für mehrere Widerstandsmaterialien gegeben ist.

Tabelle IV.
Erwärmungskonstante für 100°.

Material	C	Bemerkung
Neusilber	5,70	Für andere Temperaturerhöhung als 100° berechnet sich die Konstante aus der Gleichung: $C' = C \sqrt{\frac{T'}{T}}.$
Nickelin	5,70	
Resistan	5,62	
Rheotan	5,22	

Sind andere Temperaturerhöhungen zulässig als 100°, so berechnet sich die Konstante C' für die neue Temperaturerhöhung T' aus der Gleichung:¹⁾

$$C' = C \sqrt{\frac{T'}{T}} (14)$$

Im allgemeinen kommt aber für Dauerbelastung eine höhere Temperatur als 100° nicht in Frage.

Aussetzende Belastung.

Die aussetzende Belastung ist ein Zwischenzustand zwischen Dauerbelastung und vorübergehender Belastung. Wenn ein Motor

¹⁾ Vergl. ETZ 1902, S. 404, ERLACHER.

eingeschaltet wird, so erwärmt sich sein Widerstandsmaterial. Bleibt der Motor nun nur ganz kurze Zeit eingeschaltet, wird dann ausgeschaltet, um darauf aber sofort wieder eingeschaltet zu werden, so hat inzwischen das Widerstandsmaterial noch nicht genügend Zeit gehabt, sich abzukühlen und wenn es in noch warmem Zustand eingeschaltet wird, so erreicht es eine höhere Endtemperatur als nach Einschalten im kalten Zustand. Man kann also hierbei auch die Gleichung (5) und Tabelle II benutzen, muß aber für T_1 eine höhere Temperatur einsetzen. Die Ermittlung derselben müßte auf Grund des ungünstigsten Falles erfolgen, würde sich aber schon ziemlich stark der Dauerbelastung nähern. Man kann deshalb einfacher mit Formel (13) arbeiten und Tabelle IV benutzen, darf aber eine höhere Temperatur als 100° zugrunde legen. Zulässig ist bei Anlassern für Hebezeuge und Bahnen, bei denen diese Art Belastung auftritt, eine Temperatur von 200° . Dafür berechnet sich nach Gleichung (14) und Tabelle IV die neue Erwärmungskonstante für 200° zu den in Tabelle V zusammengestellten Werten.

Tabelle V.
Erwärmungskonstante für 200° .

Material	C	Bemerkung
Neusilber	8,60	Vergl. Tabelle IV, aus welcher diese Werte nach Gleichung (14) berechnet werden.
Nickelin	8,60	
Resistan	7,95	
Rheotan	7,38	

Es sei noch erwähnt, daß in den Werten dieses Abschnittes Mittelwerte gegeben sind, die, wie alle solche Angaben, nicht allgemein, sondern nur angenähert Gültigkeit haben. In Wirklichkeit muß man, um zuverlässig rechnen zu können, auf Versuchen mit dem Material fußen können, welches man benutzen will.

Abschnitt II.

Leitung und Unterbrechung des Stromes.

Im allgemeinen sind elektrische Apparate mechanischen und elektrischen Beanspruchungen ausgesetzt. Die mechanischen Beanspruchungen sind meist von untergeordneter Bedeutung. Weit wichtiger sind die elektrischen. Sie lassen sich trennen in die Wirkungen des elektrischen Stromes, welcher durch sie hindurchgeht oder welche entstehen beim Unterbrechen des Stromes. Alle Stromwirkungen äußern sich als Wärme. Die Wirkungen beim Unterbrechen in besonders hohem Maße als Lichtbogen. Der Lichtbogen hat bei ungehinderter Entstehung zerstörende Wirkung, indem er Metallteile, zwischen denen er entsteht, zum Schmelzen bringt. Die Mittel zur Schwächung oder Vermeidung seiner Wirkungen lassen sich sehr gut an Schaltern erkennen, und soll deshalb eine Erläuterung derselben insoweit erfolgen, als sie für Anlasser in Betracht kommen.

In Fig. 4 ist ein Schalter gezeichnet, bei welchem plötzliche Unterbrechung unabhängig von der Bewegung des Schalthebels eintritt. Die Wirkungsweise ist folgende: Beim Bewegen des Schalthebels nach links wird zunächst die Feder *F* gespannt und dann die Nase *N* gegen den Stift *S* des Schalthebels gedrückt. Bei weiterer Bewegung nach links drückt die Nase *N* das Schaltmesser aus den Klemmkontakten heraus, bis die Reibung zwischen Messer und Kontakten so klein geworden ist, daß die gespannte Feder

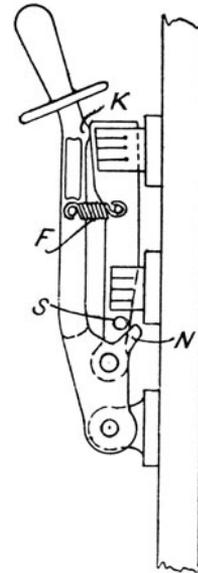


Fig. 4. Schalter für Moment-ausschaltung.

plötzlich das Messer aus den Kontakten herausreißt und durch ihr Zusammenschnellen dasselbe bis gegen die Knagge *K* des Hebels zurückzieht. Dieses Herausschnellen des Schaltmessers geschieht also ganz unabhängig von der Bewegung des Schalthebels nur durch die gespannte Feder; ob er schnell oder langsam bewegt wird, ist für das Herausschnellen des Schaltmessers gleichgültig. Solche Schalter mit Momentausschaltung werden im Anlasserbau bei Schaltwalzen usw. direkt verwendet, wie die Fig. 87 zeigt.

Außer schneller Unterbrechung kommen als Mittel zur Vermeidung der Lichtbogenwirkungen für Anlasser oder Schaltwalzen noch in Frage geeignetes Material der Unterbrecherkontakte, d. h. solches mit hohem Schmelzpunkt, z. B. Platinbleche für Hilfskontakte, meistens aber Kohle wie in Fig. 5 oder

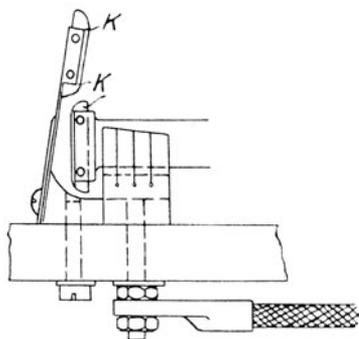


Fig. 5. Kohlenhilfskontakt zum Ausschalten.

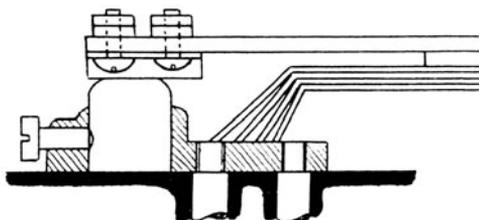


Fig. 6. Kohlenhilfskontakt mit Hilfsfeder.

wie in Fig. 6, 45 und 46 ein leicht auswechselbares Funkenziehblech aus Kupfer, welches auf Kohle schleift. Dabei rundet man die Kohlen und Bleche an den Kanten ab, was schon wegen des leichten Auflaufens nötig ist, aber nebenbei noch zur Folge hat, daß der Lichtbogen, falls er entsteht, nicht an der normalen Schleiffläche übergeht, sondern wie Fig. 45 zeigt, an einer Stelle *d*. Aus demselben Grunde rundet man auch die Kontakte an Schaltern ab, wie Fig. 7 zeigt.

Ein weiteres Mittel besteht im Ausblasen des Lichtbogens durch Magnete. Solche Blasmagnete oder Bläterspulen wendet man bei den Schaltwalzen an, vergl. Fig. 85 *M* und *B*, bei welcher Gelegenheit noch besonders darauf hingewiesen werden soll.

Die Leitung des Stromes erfolgt durch Schleif- oder Druckkontakte und durch feste Kontakte, wie Bolzen und Drähte. Die Querschnittsbelastung von Kontakten, welche aufeinander gleiten, meist Kupfer auf Messing, darf bei Dauerbelastung höchstens $\frac{J}{q} = 0,4 \frac{\text{Amp.}}{\text{mm}^2}$ betragen und kann nach Tabelle VI ermittelt werden, deren Werte in Fig. 8 abhängig voneinander aufgezeichnet sind.

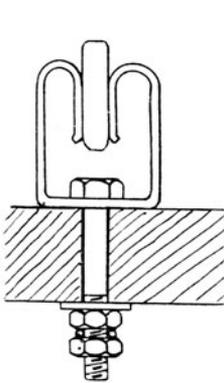


Fig. 7.

Kontaktform zur Ablenkung der Lichtbogenbildung von der Schleiffläche.

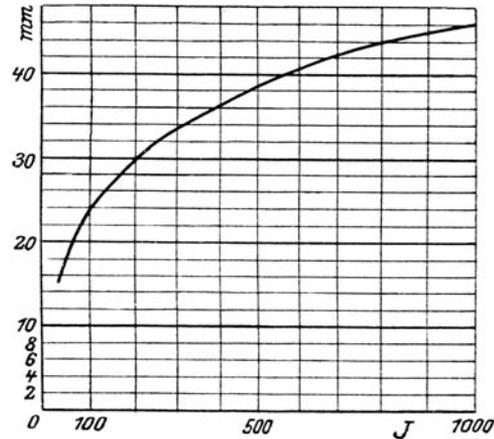
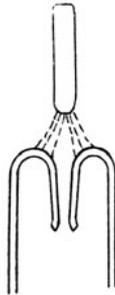


Fig. 8. Stromdichte an Kontaktflächen.

Tabelle VI.¹⁾

Zulässige Stromdichte an Kontaktflächen.

J in Amp.	q in mm ²	$\frac{J}{q}$
30	15	0,133
50	18	0,154
100	24	0,174
200	30	0,222
300	33	0,275
400	36	0,309
700	42	0,421
1000	48	0,434

Die für Bolzen und Schrauben zulässige Beanspruchung ist schon im Jahre 1895 in der Elektrotechnischen Zeitschrift S. 594 vom Verband deutscher Elektrotechniker aufgestellt. Diese Werte

¹⁾ Tabelle VI und die Erläuterungen zu Fig. 9 sind aus: „Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien 1908, Heft 49, ROBERT EDLER“.

sind der nachstehenden Tabelle VII zugrunde gelegt und dazu die Maße für Kontakte nach Fig. 9 bestimmt (vergl. Fußnote zu Tabelle VI).

Tabelle VII.

Stromdichte für Bolzen, Maße für Unterlagsscheiben und Kontakte (Fig. 9).

J in Amp.	d in engl. Zoll (Whitworth)	d in mm	D in mm	b in mm	c in mm
30	$\frac{3}{16}$ "	4,7	14	15	5
50	$\frac{1}{4}$ "	6,3	17	18	6
100	$\frac{5}{16}$ "	7,9	21	24	8
200	$\frac{3}{8}$ "	9,5	24	30	10
300	$\frac{7}{16}$ "	11,1	27	33	11
400	$\frac{1}{2}$ "	12,7	30	36	12
700	$\frac{5}{8}$ "	15,9	34	42	16
1000	$\frac{3}{4}$ "	19,0	42	48	20

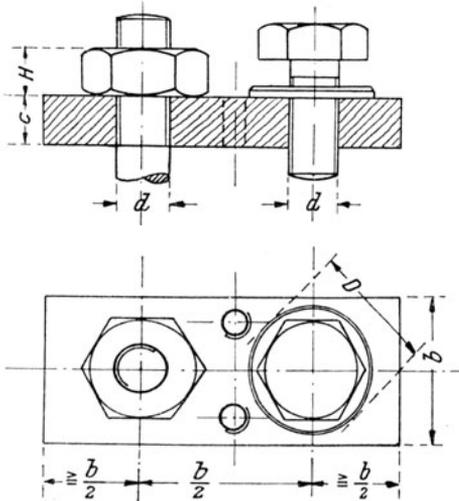


Fig. 9. Kontaktflächen für Anschlüsse.

Nach den Vorschlägen von R. EDLER (vergl. Fußnote zu Tabelle VI) macht man zweckmäßig die Stärke c des Kontaktes (Fig. 9) gleich der Mutterhöhe H , weil häufig

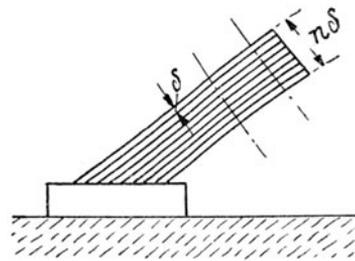


Fig. 10. Kupferblatfeder.

in das Kontaktstück Muttergewinde für eine Kopfschraube geschnitten wird. Die Breite b kann etwa $b = D + 2$ bis 6 ausgeführt werden.

Übliche Federformen für Anlasser zeigt Fig. 10. Eine Anzahl Kupferbleche, nicht zu stark, $\delta = 0,5$ bis $0,8$ mm, werden übereinander gelegt und oben verlötet. Die unteren Enden der Federbleche sind frei und können sich beim Aufdrücken auf den Kontakt

gegeneinander spreizen, so daß eine sichere Auflage erzielt wird. Die Zahl der zu nehmenden Federbleche n richtet sich nach der notwendigen Kontaktfläche (Tabelle VI und Fig. 8), wobei zu beachten ist, daß durch das schräge Aufliegen der Feder die Berührungsfläche vergrößert ist.

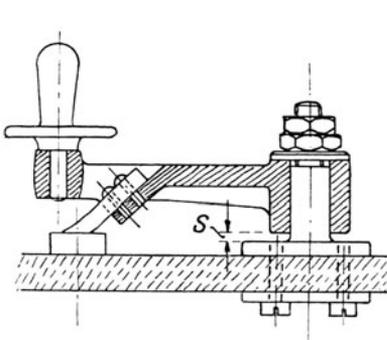


Fig. 11. Kurbel mit einfacher Feder.

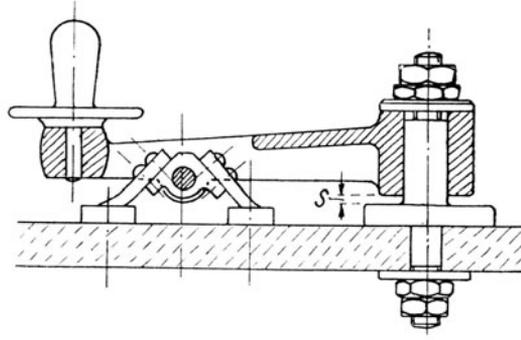


Fig. 12. Kurbel mit Doppelfeder.

Die Befestigung der Kupferfedern an der drehbaren Anlasserkurbel zeigen die Fig. 11 und 12. In Fig. 11 führt der Drehzapfen der Kurbel und diese selbst Strom. In Fig. 12 geschieht die Stromzu- und -ableitung durch zwei Federn, welche dann gegen die Kurbel isoliert werden können. Zur Erreichung eines gleichmäßigen Auf- liegens beider Federn sind sie an ein drehbares Tragstück geschraubt. Bei allen solchen Anordnungen, wie Fig. 11 und 12, darf die Kurbel mit ihrer Nabe nicht so lang sein, daß sie unten die Platte des Drehpunktes berührt, es muß vielmehr nach dem Anziehen der Muttern des Drehzapfens bei S noch ein genügender Zwischenraum sein, damit die Feder, welche sich mit der Zeit abnutzt, nachgedrückt werden kann und außerdem ein sicheres Aufliegen erreicht wird.

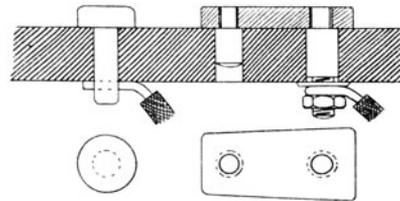


Fig. 13. Ausführung von Kontakten.

Ausführungen von Kontakten zeigen die Fig. 6 und 13. Für kleine Anlasser und die nur vorübergehend beim Einschalten benutzten Kontakte, sowie für Regler kann man die runde Form links in Fig. 13 wählen, weil derselbe nur ein Loch in der Kontaktplatte erfordert. Die Stromableitung hält den Kontakt wie ein Splint fest und wird eingelötet. Kontakte, an welchen Funken auftreten können, erhalten Kohlen, wie schon in Fig. 6 gezeigt ist.

Zum Schluß dieses Abschnittes sind noch einige Bemerkungen über die Isolierung zu machen. Isolationsmaterial darf im allgemeinen nicht auf Druck beansprucht werden, mit Ausnahme von Scheiben. Deshalb sind in Fig. 14 die beiden Hülsen etwas kürzer, als die Entfernung der beiden Federn. Die Isolierung eines Anschlußbolzens,

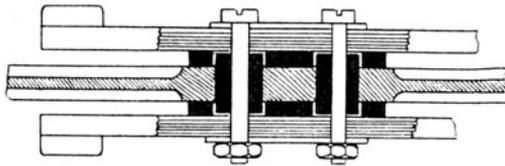


Fig. 14. Isolierung von Kontaktfedern an Kurbeln.

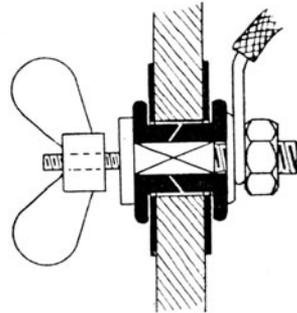


Fig. 15. Isolierung von Bolzen bis zu 500 Volt.

welcher durch Metall geführt ist, zeigt Fig. 15. Durch das konische Ineinanderverschieben der beiden Durchführungsstübe erreicht man, daß der Weg, den der vom Bolzen zum Metall etwa übergehende Strom einschlagen muß, etwas länger ist, als wenn beide Teile gerade abgeschnitten wären. Diese Isolierung würde, aus Hartgummi bestehend, noch bis zu 500 Volt in trockenen Räumen aushalten können.

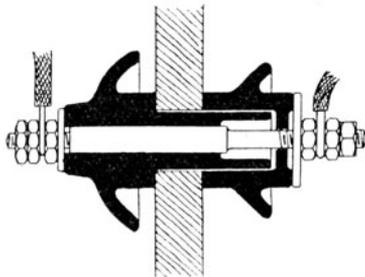


Fig. 16. Isolierung von Bolzen für Hochspannung.

Je höher die Spannung oder je feuchter die Räume sind, um so länger muß man die Wege machen, welche der entweichende

Strom über die Oberfläche der Isolierung nehmen muß. Eine nach diesen Gesichtspunkten entworfene Isolierung eines Durchführungsbolzens für etwa 2000 Volt zeigt Fig. 16. Für sehr hohe Spannungen macht man Rillen oder eine größere Zahl Mäntel und nimmt am besten Porzellan.

Abschnitt III.

Anordnung des Widerstandsmateriales.

In den meisten Fällen benutzt man als Widerstandsmaterial sogen. Spiralen oder Bänder. Letztere nur für stärkere Ströme. Die günstigste Anordnung von Spiralen zeigt Fig. 17. Wenn d der nach Abschnitt I bestimmte Drahtdurchmesser ist, so soll nach Versuchen von ZINGLER, The Electrical Review, Bd. 41, S. 396, die Windungshöhe $2d$ sein und der Dorn, auf welchen die Spiralen bei der Herstellung aufzuwickeln sind, muß einen Durchmesser nach Tabelle VIII erhalten.

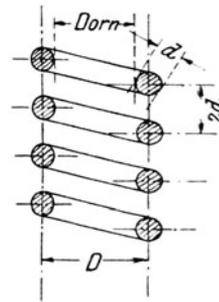


Fig. 17. Günstigste Anordnung von Widerstandsspiralen.

Tabelle VIII.

Dorndurchmesser zum Wickeln von freien Spiralen.

d Drahtdurchmesser in mm	Durchmesser des Dornes in mm
1,0	10
1,0–1,5	13
1,5–2,0	13–19
2,0–2,5	19–22
2,5–3,5	22

Für kleine Widerstände und bei dünnen Drähten wickelt man auch auf Eisenstäbe mit Asbest nach Fig. 18, die zwischen auf der Innenseite ebenfalls mit Asbest verkleideten Eisenblechen B be-

festigt werden können, indem man mit einer einzigen Mutter *M* den mit Gewinde und Ansatz versehenen Eisenstab festschraubt (vergl.

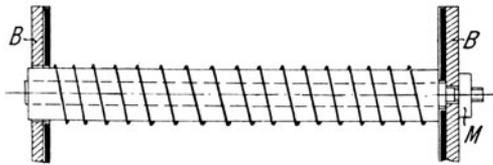


Fig. 18.

Spirale auf asbestumhültem Eisendraht.

auch Fig. 20). Manche Materialien, z. B. Neusilber, werden durch das Aufwickeln zu Spiralen härter und brechen dann, wenn sie beim Einsetzen in den Anlasser gespannt werden. Man muß deshalb Neusilberdrähte auf

Isolierzylinder aufwickeln oder mit der richtigen Steigung $2d$ (Fig. 17), damit sie beim Einsetzen nicht gestreckt zu werden brauchen.

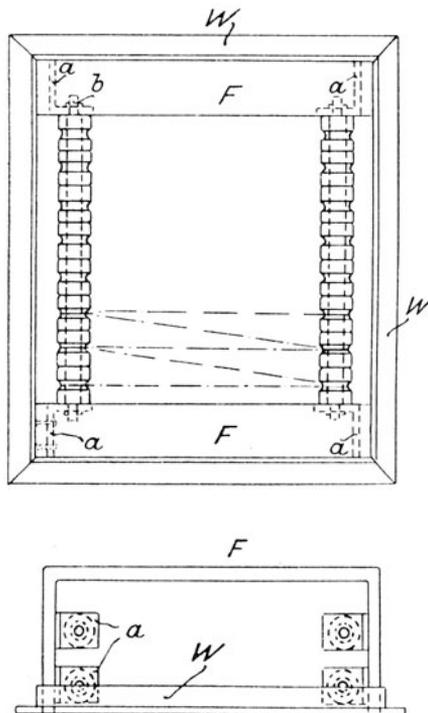


Fig. 19.

Widerstandskasten aus Schmiedeeisen.

Die Widerstandsspiralen werden in einem Kasten befestigt, welcher aus Schmiedeeisen oder Gußeisen besteht. In Fig. 19 ist ein Widerstandskasten aus Schmiedeeisen gezeichnet. Zwei Uförmig gebogene Flacheisen *F* sind durch Winkeleisen *W* verbunden. Auf der inneren Seite der Flacheisen sind kleine Winkel *a* angenietet, durch welche die Stangen *b*, mit Splinten gesichert, hindurch gesteckt sind. Auf die Stangen *b* sind mit Rillen versehene Porzellanrollen aufgereiht, über welche dann die Widerstandsspiralen gespannt werden. Die Kontaktplatte mit Kontakten und Kurbel läßt sich oben auf dem Flacheisen festschrauben, darauf werden die 4 Seiten mittels gelochter Bleche geschlossen.

Die Konstruktion ist auch sehr zweckmäßig, wenn Kontaktbahn und Widerstandskasten getrennt werden sollen, indem die Kontakte direkt auf der Schalttafel befestigt werden und der Widerstandskasten hinter derselben. Ebenfalls eignet sich Fig. 19 als Widerstandskasten für Schaltwalzen oder Kontroller.

Ein anderer Widerstandskasten aus Schmiedeeisen ist perspektivisch in Fig. 20 gezeichnet. Zwei innen mit Asbest verkleidete Bleche *B* sind durch 4 Stangen *E* miteinander verbunden, an einer dieser Stangen ist die Kontaktplatte drehbar befestigt. Die Widerstandsspiralen werden nach Fig. 18 eingesetzt und die Verbindungsdrähte *V*, welche von den Spiralen nach den Kontakten führen, sind

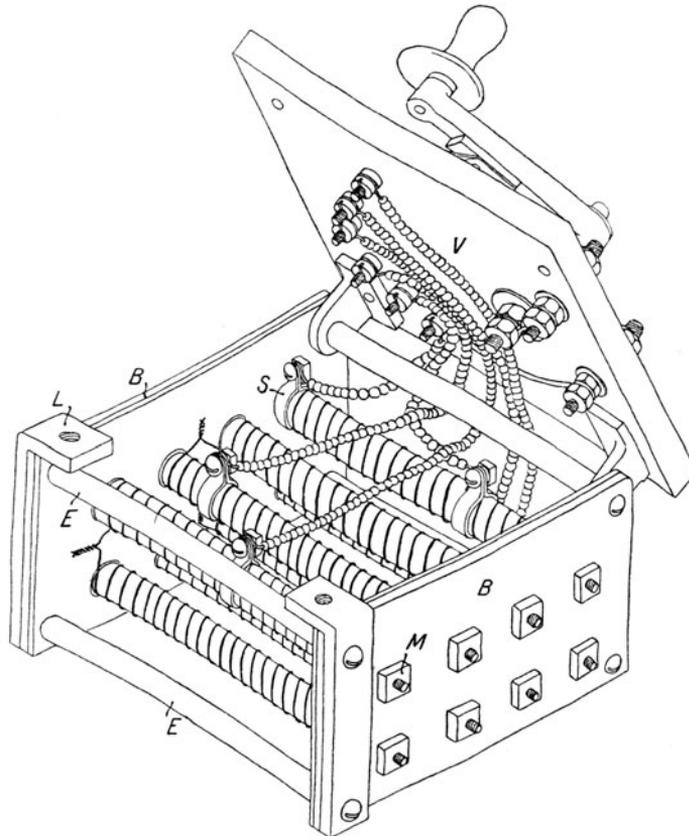


Fig. 20. Widerstandskasten mit drehbar befestigter Kontaktplatte.

durch kleine Schellen *S* mit den Spiralen verbunden und unter der Stange hindurchgeführt, auf welcher die Kontaktplatte befestigt ist.

Über die Verbindungsdrähte *V* sind zur Isolation Glasperlen geschoben. Die Verbindung der Spiralen unter sich geschieht durch Aneinanderwürgen der Enden, wie Fig. 20 zeigt. Die Anordnung der drehbaren Kontaktplatte nach Fig. 20 läßt eine sehr einfache und bequeme Befestigung der Verbindungen *V* zwischen Kontakten und Widerstandsspiralen zu. Nach Herstellung der Verbindungen

wird die Kontaktplatte als Deckel über den Kasten geklappt und an den Lappen L festgeschraubt. Außen wird dann der ganze Widerstandskasten noch mit gelochtem Blech umgeben. Solche Widerstände mit aufklappbarer Kontaktplatte wurden zuerst von HELIOS, Köln-Ehrenfeld, ausgeführt.

Fig. 21 zeigt einen gußeisernen Kasten K , welcher zur besseren Lüftung mit durchbrochenen Seitenwänden auszuführen ist. Lappen mit Löchern zum Anschrauben des gesamten Anlassers sind gleich angegossen. Die Widerstandsspiralen werden durch die Löcher in den Schieferleisten L gezogen und dadurch festgehalten, daß die

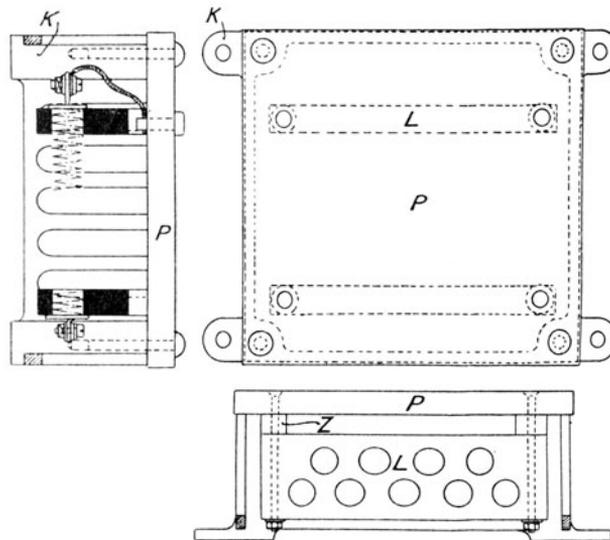


Fig. 21. Gußeiserner Widerstandskasten.

erste und letzte Windung etwas aufgebogen wird. Die Verbindung der Spiralen unter sich und mit den Kontakten geschieht, wie Fig. 21 zeigt, durch Verschraubung. Die Schieferleisten L werden direkt an die Kontaktplatte geschraubt unter Anwendung von Zwischenlagen Z , damit zum Durchführen der Verbindungsleitungen von den Spiralen zu den Kontakten Raum bleibt und nach dem Einziehen der Spiralen und der Herstellung der Verbindungsleitungen wird die Kontaktplatte mit den Schieferleisten oben auf den gußeisernen Kasten geschraubt. Diese Anordnung entspricht teilweise Ausführungen der Firma KLÖCKNER, Köln.

Für größere Anlasser ist eine gußeiserne Konstruktion in Fig. 22 gezeichnet. Die Kontaktplatte P ist aufgeschraubt auf ein

Gußstück G_1 , welches durch 4 Säulen S getragen wird, die es gleichzeitig mit dem Gußstück G_2 verbinden. Zwei gegenüberliegende Seiten des oberen Gußstückes G_1 sind frei gehalten, damit man besser die Verbindungen zwischen Kontakten und Spiralen herstellen kann. Die Spiralen oder bei stärkeren Strömen auch Bänder sind befestigt an Schieferleisten L , welche ihrerseits angeschraubt werden an Flacheisen F , die gleich durch die Schrauben der Säulen S gehalten werden.

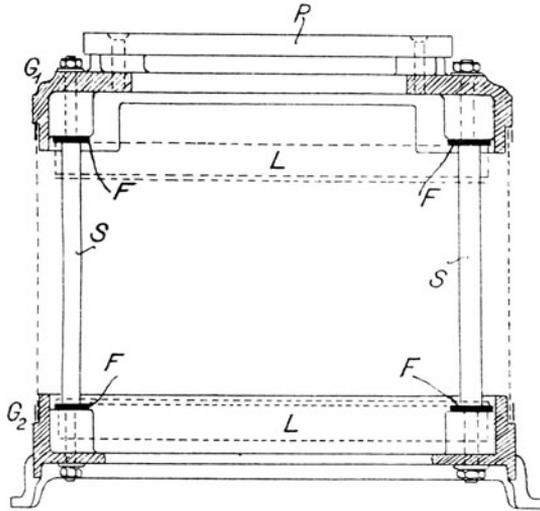


Fig. 22. Größerer Widerstandskasten mit gußeisernem Kopf- und Fußstück.

Das Ganze wird dann außen mit gelochtem Blech umgeben.

In Fig. 23 ist noch genauer die Befestigung der Widerstandsspiralen oder Bänder an Schieferleisten gezeichnet, wie sie in Fig. 22 ausgeführt werden kann. Gleichzeitig ist auch der Anschluß von Verbindungsleitungen zu den Kontakten hin gezeigt. Diese Verbindungen geschehen bei Anlassen wegen der hohen Endtemperatur (300°) nur durch Verschraubung, während bei Reglern, deren Erwärmung bei Dauereinschaltung 100° nicht überschreitet, die Verbindungen mit Weichlot gelötet werden dürfen.

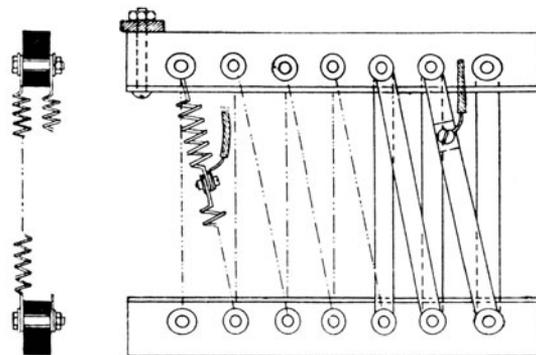


Fig. 23.

Befestigung von Widerstandsspiralen und Bändern an Schieferleisten.

Abschnitt IV.

Grundlegende Schaltungen der Anlasser für Handbetrieb.

Die Schaltung der Anlasser wird je nach der Art des Motors verschieden. Für Hauptstrommotoren zeigt das einfache Schaltungsschema eines Anlassers schon die Fig. 1. Bei diesem

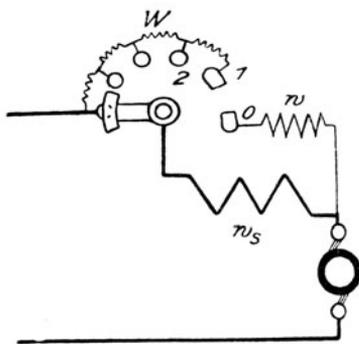


Fig. 24.
Schutz gegen Selbstinduktion bei
Hauptstrom-Anlassern.

Anlasser kann durch das Ausschalten zwischen der Kurbelfeder und dem Kontakt *1* Feuer entstehen, weil in der Wicklung der Magnete durch das Verschwinden der Kraftlinien eine Selbstinduktionsspannung erzeugt wird. Sehr hoch ist diese Selbstinduktion beim Hauptstrommotor nicht, weil dessen Magnetwindungen nur gering an Zahl sind. Bei höheren Spannungen kann dieselbe aber doch lästig werden, namentlich durch das Unterbrechungsfeuer, welches sie beim Ausschalten verursacht.

Deshalb führt man in einem solchen Fall den Anlasser mit Hilfswiderstand nach Fig. 24 aus. Es muß dann die Kontaktfeder an der Schleifkurbel so breit sein, daß sie den Zwischenraum zwischen den Kontakten *1* und *0* überbrückt. Am besten macht man den Hilfswiderstand gerade so groß wie den Magnetwiderstand, also $w = w_s$, dann muß w für ganz kurze Zeit, so lange nämlich die breite Kurbelfeder gleichzeitig auf *1* und *0* steht, den halben Normalstrom aushalten können. In der Ausschaltstellung findet die Selbstinduktion einen geschlossenen Weg zum Ausgleich vor.

Soll die Drehrichtung eines Gleichstrommotors umgekehrt werden, dann muß man entweder den Magnetstrom oder den Ankerstrom umschalten. Letzteres geschieht gewöhnlich am meisten, weil der Anker weniger Selbstinduktion hat als die Magnetwicklung. Bei dem Wendeanlasser für Hauptstrommotoren in Fig. 25¹⁾ wird ebenfalls der Ankerstrom umgeschaltet. Im Betrieb steht die Kurbel mit der Feder F_1 entweder auf a oder auf b und dementsprechend läuft der Motor entweder nach der einen oder nach der anderen Richtung um. Es sei die Kurbel mit der Feder F_1 auf a gestellt, dann ist der Stromlauf folgender:

+ , Schiene 1, Feder F_2 , Feder F_1 , a , b , II, Anker, I, Schiene 3, Feder F_3 , Schiene 2, Magnete, — ;

Verfolgt man den Stromlauf, wenn die Kurbel nach rechts gedreht ist, F_1 also auf b steht, dann erkennt man, daß die Stromrichtung im Anker umgekehrt, in der Magnetwicklung aber noch dieselbe wie vorhin ist, nämlich:

+ , Schiene 1, Feder F_3 , Schiene 3, I, Anker, II, b , Feder F_1 , Feder F_2 , Schiene 2, Magnete, — .

Die drei Federn F_1 , F_2 und F_3 sind von der Kurbel isoliert und F_1 ist mit F_2 leitend verbunden. Man kann auch F_1 und F_2 unisoliert auf die Kurbel setzen, welche dann als Verbindung zwischen diesen beiden Federn dient. Die Feder F_3 muß aber immer isoliert angeschraubt werden.

Die gewöhnlichen Anlasser für Nebenschlußmotore werden heute wohl allgemein mit funkenloser Ausschaltung versehen, welche zuerst von FISCHER-HINNEN (ETZ 1898, S. 93) vorgeschlagen ist. Schematisch zeigt Fig. 26 die Schaltung. Die

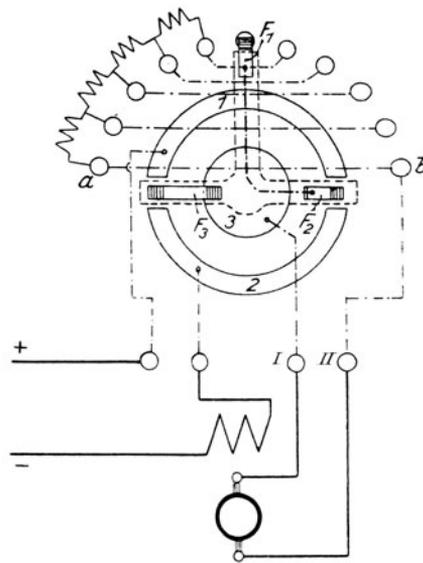


Fig. 25. Wendeanlasser für Hauptstrommotoren.

¹⁾ Entspricht ebenso wie der Wendeanlasser für Nebenschlußmotore in Fig. 27 teilweise einer Ausführung von KLÖCKNER, Köln.

Wirkungsweise ist folgende:¹⁾ Wenn der Motor normal läuft, dann steht die Kurbel des Anlassers auf dem Dauerkontakt 2. Vor die Magnetwicklung ist dann der Widerstand W des Anlassers geschaltet, aber da dieser immer nur sehr klein ist (höchstens 10%) gegen den Widerstand der Magnetwicklung, so wird dadurch kein bemerkbarer Einfluß auf das Magnetfeld ausgeübt, besonders weil ja die Kraftlinienzahl des Feldes bei den üblichen Sättigungswerten nicht mehr proportional dem Magnetstrom ist, sondern sich weniger ändert als dieser. Es könnte also durch die an sich schon geringe Schwächung des Magnetstromes nur eine noch unbedeutendere Erhöhung in der Umlaufszahl bewirkt werden, welche aber immer viel kleiner als 10% ist und deshalb praktisch nicht bemerkt wird.

Soll der Motor ausgeschaltet werden, dann dreht man die Kurbel schnell von links nach rechts in die gezeichnete Ausschaltstellung.

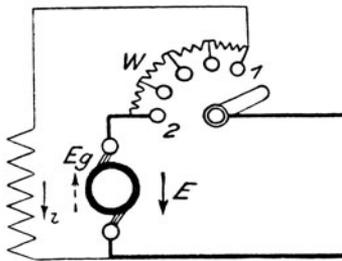


Fig. 26.
Nebenschlußmotor mit Anlasser
für funkenlose Ausschaltung.

Gleitet die Kurbel von Kontakt 1 ab, so ist die Stromzufuhr von außen unterbrochen, aber der Strom in der Magnetwicklung ist dadurch fast gar nicht geändert, denn jetzt wirkt die elektromotorische Kraft E_g des Ankers auf die Magnetwicklung, und da diese nur um den geringen Spannungsabfall $J \cdot w_a$ im Anker, der höchstens 5% beträgt, von der zugeführten Spannung E abweicht

nach der Gleichung $E_g = E - J \cdot w_a$, so ändert sich durch das Abschalten der Kurbel der Magnetstrom i fast gar nicht. Folglich wird auch in der Magnetwicklung keine Selbstinduktionsspannung entstehen können, denn diese entsteht nur beim plötzlichen Verschwinden der Kraftlinien. Da sie beim Nebenschlußmotor anders wie beim Hauptstrommotor, wegen der großen Windungszahl der Magnetwicklung, gefährliche Höhe erreichen kann, so daß dadurch die Isolation der Spulenkästen leidet, so ist die Schaltung nach Fig. 26 heute allgemein eingeführt und bei Spannungen über 100 Volt ist sie überhaupt unvermeidlich. Die nach dem Abschalten der Kurbel auf die Magnete wirkende elektromotorische Kraft E_g des Ankers nimmt dann ab, in dem Maße, wie die Umlaufszahl des ausgeschalteten

¹⁾ Siehe auch den Aufsatz des Verfassers in ETZ 1901, S. 233.

Motors sich vermindert, aber ein plötzliches Verschwinden des Magnetstromes ist vermieden, weil immer, auch nach dem Ausschalten, Anker, Anlasser und Magnetwicklung miteinander verbunden sind.

Man erkennt aus der eben erfolgten Beschreibung, daß es wichtig ist, die volle elektromotorische Kraft E_g des Ankers auszunutzen. Deshalb muß die Kurbel möglichst schnell ausgeschaltet werden, denn bei langsamem Zurückdrehen der Kurbel oder dann, wenn man ausschaltet, ehe der Motor seine volle Umlaufzahl erreicht hat, ist die Elektromotorische Kraft des Ankers kleiner und es tritt eine mehr oder weniger starke Änderung des Magnetstromes ein. Jedoch wird er niemals sogleich völlig ausgeschaltet und es ist stets der geschlossene Weg Anker, Anlasser, Magnetwicklung zum Ausgleich einer Selbstinduktion vorhanden.

In Fig. 26 ist der Drehpunkt der Kurbel als Stromzuführung gewählt, wie die Fig. 11 und 45 ebenfalls zeigen. Für stärkere Ströme benutzt man an Stelle des Drehpunktes eine Schiene nach Fig. 12 und 46.

Für Wendeanlasser bei Nebenschlußmotoren gilt dasselbe wie bei Hauptstrommotoren, entweder Umkehrung des Feldes oder Umkehrung des Ankerstromes. Letzteres ist auch hier das gebräuchliche, wie die grundlegende Schaltung in Fig. 27 zeigt. Steht die Kurbel nach links, also F_1 auf a , dann ist der Stromlauf folgender:

$$+, I, 1 \left\{ \begin{array}{l} F_4, F_1, a, b, V, \text{Anker}, IV, 3, F_3, 2, II, \\ F_2, 4, III, \text{Magnetwicklung}, \end{array} \right\} -;$$

bei Schiene 1 tritt die Abzweigung in die Nebenschlußwicklung ein, in welcher der Strom immer dieselbe Richtung hat, wie der Stromlauf für Stellung der Kurbel rechts, also F_1 auf b zeigt:

$$+, I, 1 \left\{ \begin{array}{l} F_3, 3, IV, \text{Anker}, V, b, F_1, F_4, 2, II, \\ F_2, 4, III, \text{Magnetwicklung}, \end{array} \right\} -.$$

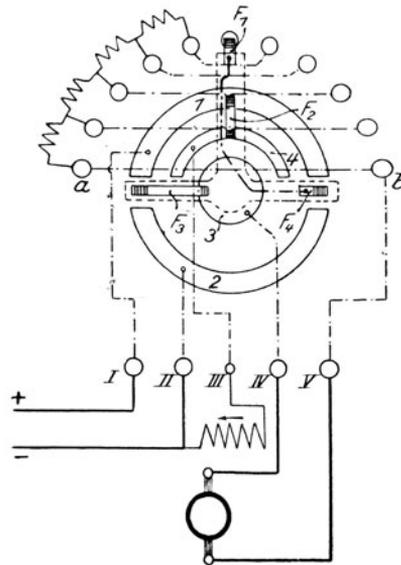


Fig. 27.
Wendeanlasser für Nebenschlußmotore.

Anlasser für Motoren mit Compoundwicklung werden nach Fig. 28 ausgeführt. Man benutzt die Compoundwicklung w_H nur beim Anlauf. Da das Anlaufsdrehmoment Feld und Ankerstrom proportional ist, so läuft ein solcher Motor leichter an, denn der

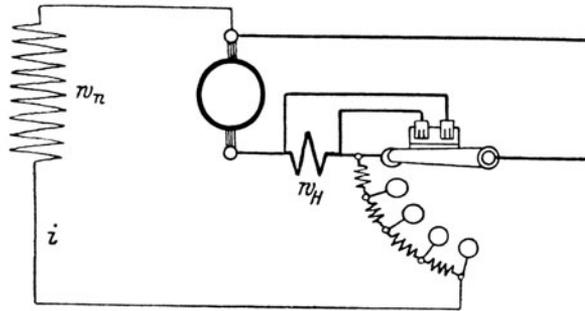


Fig. 28. Anlasser für Motor mit Compoundwicklung zum Anlauf.

Anlaufstrom verstärkt gleichzeitig vermittelt der Wicklung w_H das Feld. Im Betriebe wird die Wicklung w_H kurzgeschlossen wie gezeichnet ist, und der Motor arbeitet dann als Nebenschlußmotor.

Für asynchrone Drehfeldmotoren zeigt Fig. 29 die Schaltung. Der dreiteilige Anlasser liegt im Läufer- oder Ankerstromkreis des Motors, falls dieser über 5 PS besitzt, denn nur dann werden diese Drehfeldmotore mit Anlassern dieser Art angelassen, zu deren Anschluß der Läufer mit Schleifringen und Bürsten versehen sein muß. Kleinere Motore können einfacher selbsttätig angelassen werden (s. Abschnitt VI: Selbsttätige Anlasser).

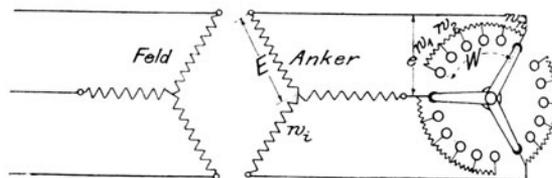


Fig. 29. Anlasser für Drehfeldmotore.

Nach Fig. 29 erhält der Anlasser eine große Zahl von Kontakten und Widerstandsmaterial, da derselbe dreiteilig auszuführen ist. Um dieses zu vermeiden, hat NIETHAMMER, E. T. Z. 1899 eine Schaltung gegeben, welche in Fig. 30 gezeichnet ist. Die vier auf Schleifringen des Ankers schleifenden Bürsten 1, 2, 3, 4 führen zu den Klemmen a , b , c des Anlassers. Beim Einschalten (gezeichnete Lage der Kurbel) sind die drei Phasen auf den Anlasser W hinter-

einander geschaltet. Die drei um 120° in der Phase gegeneinander verschobenen Ströme haben bei Hintereinanderschaltung eine Spannung von $2E$. Bei der gewöhnlichen Schaltung nach Fig. 29 wird der gesamte Anlaßwiderstand $3 \cdot W = 3 \frac{E}{i}$, bei dieser Schaltung wird er $2W = \frac{2E}{i}$. Dreht man die Kurbel auf die Kontakte b und c , welche gleichzeitig berührt werden, dann sind die Phasen I und II hintereinander kurz geschlossen, während Phase III auf sich selbst kurz geschlossen ist. Es sei w der OHMSche Widerstand einer Phase, e die Spannung des laufenden Ankers bei Belastung, dann ist der Strom in der kurz geschlossenen Phase III : $i_1 = \frac{e}{w}$, der Strom

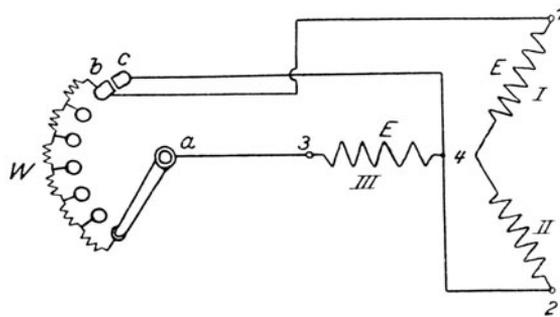


Fig. 30. Verminderung der Kontakte für Drehfeldanlasser nach NIETHAMMER.

in den beiden anderen Phasen I und II wird $i_2 = i_3 = \frac{1,73}{2} \frac{e}{w}$. Letztere sind also um 13% schwächer als ersterer. Der Motor arbeitet in diesem Zustand fast so gut wie ein gewöhnlicher Motor. Die Schlüpfung steht bei gleicher Leistung in beiden Fällen in folgendem Verhältnis:

$$3 i_1^2 \cdot w : \left[i_1^2 \cdot w + i_2^2 \cdot w \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 \right] = 1,2 : 1.$$

Eine zweite Methode zur Verminderung der Kontakte und Widerstände ist die von KAHLBERG, welche SIEMENS & HALSKE patentiert ist, aber von mehreren Firmen ausgeführt wird. Die Schaltung zeigt Fig. 31. Wird der Strom im Feld eingeschaltet, so läuft der Anker des Drehfeldmotors an. Beim Anlauf steht die Kurbel K des Anlassers in der gezeichneten Stellung, dann sind zwischen 2 Phasen immer 4 Widerstände hintereinander. Dreht

man K auf 1, so wird die Stufe w_1 kurz geschlossen, es liegen dann zwischen den Phasen I und II nur noch 3 Widerstände, w_4 , w_2 und w_5 , zwischen den Phasen I und III liegen ebenfalls noch 3 Widerstände, nämlich w_4 ,

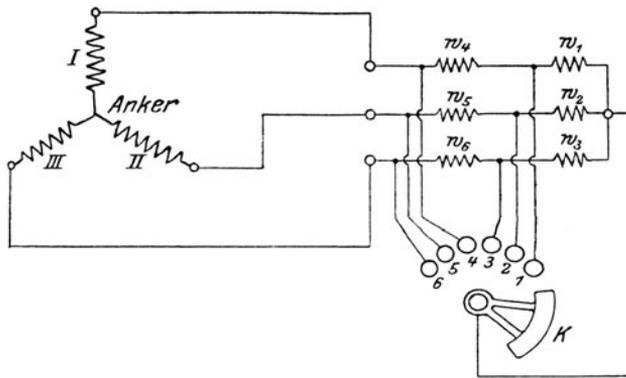


Fig. 31. Verminderung der Kontakte für Drehfeldanlasser nach KAHLENBERG.

zwischen den Phasen II und III liegen noch 4 Widerstände, w_5 , w_2 , w_3 und w_6 . Dreht man die Kurbel weiter auf 2, so ist außer w_1 jetzt noch w_2 kurz geschlossen, so daß zwischen Phase I und II nur noch zwei Widerstände liegen,

zwischen I und III liegen noch drei Widerstände, zwischen II und III aber auch nur noch zwei usw. So wird durch Weiterdrehen der Kurbel K allmählich der ganze Widerstand kurz geschlossen, und zwar in 7 Stufen bei Fig. 31. Das Abschalten erfolgt nicht gleichförmig in allen Phasen, aber gerade dadurch läuft der Motor sehr stoßfrei an. Die Breite der Kurbel K muß so sein, daß Kontakt 1 und 4 gleichzeitig berührt werden können.

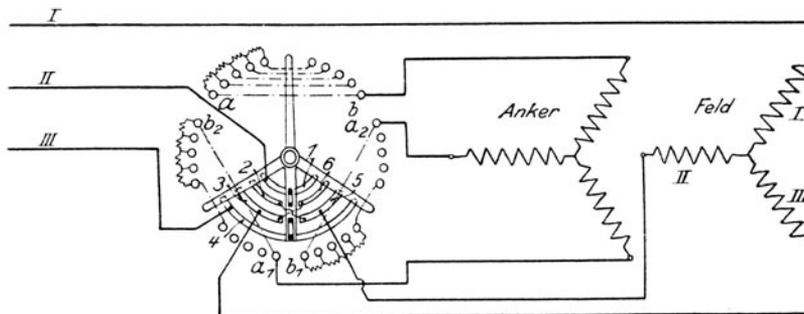


Fig. 32. Wendeanlasser für Drehfeldmotoren.

Wendeanlasser für asynchrone Drehfeldmotore können unter Berücksichtigung des Umstandes gebaut werden, daß zum Wenden der Drehrichtung zwei Phasen des Feldes vertauscht werden müssen. In Fig. 32 ist ein solcher Wendeanlasser gezeichnet, bei welchem die Phasen II und III des Feldes vertauscht werden. Die

vierarmige Kurbel, deren vierter Arm den Umschalter trägt, ist in der Zeichnung auf „ausgeschaltet“ gestellt. Dreht man sie auf die Kontakte a, a_1, a_2 , dann ist der Anker oder Läufer kurz geschlossen, ebenso auf b, b_1, b_2 . In beiden Fällen ist die Umlaufsrichtung entgegengesetzt, denn auf a, a_1, a_2 ist Phase II des Feldes verbunden mit Zuleitung III und Phase III mit Zuleitung II, während auf b, b_1, b_2 die Zuleitung II zu Phase II und die Zuleitung III zu Phase III führt.

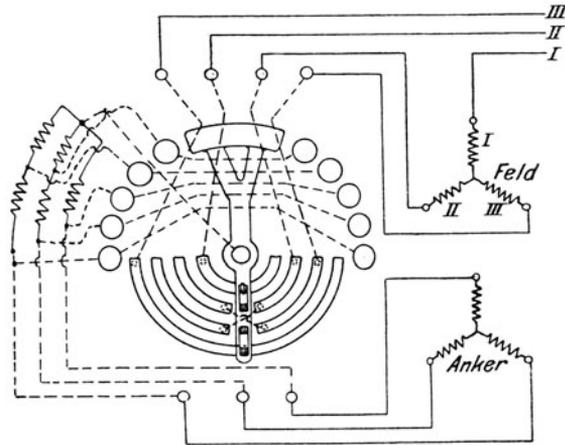


Fig. 33. Wendeanlasser nach KAHLENBERG (vergl. Fig. 31) für Drehfeldmotoren.

Unangenehm ist bei diesen Wendeanlassern die große Zahl von Kontakten, von denen doppelt so viel vorhanden sein müssen, als bei einem einfachen Anlasser nach Fig. 29. Man kann auch die Wendeanlasser mit verminderter Kontaktzahl ausführen, indem man die Schaltung von Fig. 30 oder Fig. 31 benutzt. In Fig. 33 ist die KAHLENBERG-Schaltung (Fig. 31) auf Drehfeldwendeanlasser angewendet, und zwar ist dort ein Anlasser mit 5 Stufen gezeichnet, welcher nur 10 Kontakte nötig hat, während ein gleichstufiger nach Fig. 31 fast das doppelte, nämlich $3 \cdot 6 = 18$ Kontakte braucht, außerdem wird in Fig. 32 noch bedeutend an Widerstandsmaterial gespart.

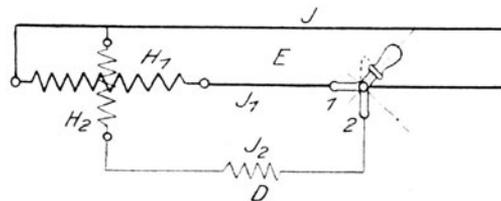


Fig. 34.

Die Anlasser für Einphasenmotoren werden je nach der Art des Motors verschieden. Neuerdings werden vielfach für Einphasenstrom Kollektormotoren gebaut, die wie Gleichstrommotore anlaufen, also auch ähnliche Anlasser erhalten müssen wie diese. Im Betriebe arbeitet dann der Motor mit kurzgeschlossenem Kollektor. Die Einphasenmotoren mit Kurzschlußläufer müssen mit Hilfsphase

anlaufen und dürfen dabei nicht belastet sein. Man versieht das Feld mit einer Hilfswicklung, welche rechtwinklig zur Hauptwicklung magnetisiert. Die Schaltung zeigt Fig. 34. Beim Einschalten steht der zweiarmige Umschalter in der gezeichneten Stellung. Vor der Hilfswicklung muß noch eine Drosselspule D liegen, damit die Ströme J_1 und J_2 in Haupt- und Hilfswicklung Phasenverschiebung gegeneinander haben. Wie beim gewöhnlichen Transformator mit kurzgeschlossenem Sekundärkreis ist beim Einschalten in der Hauptwicklung nur geringe Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, weil im Kurzschlußläufer ein starker Strom entsteht. Durch Vorschalten der Drosselspule D vor die Hilfswicklung kann man also leicht eine größere Phasenverschiebung zwischen J_1 und J_2 hervorrufen. Da man nicht 90° Phasenverschiebung erreichen kann, so wird allerdings das durch die Ströme J_1 und J_2 erzeugte Drehfeld stark schwankend, aber immerhin genügend, um den Läufer, der nur schwach belastet sein darf oder leer anlaufen muß, in Gang zu setzen. Nach dem Anlaufen dreht man den Umschalter in die punktierte Stellung, wodurch Drosselspule und Hilfswicklung ausgeschaltet werden.

Bei schweren Betrieben, wie sie in Förderanlagen, Walzwerken und dergl. vorkommen, woselbst Motoren von großer Leistung häufig ein- und ausgeschaltet werden, wendet man, um die Verluste durch Stromwärme im Anlasser zu vermeiden und nur handliche Anlaßapparate zu erhalten, besondere Anlaßmaschinen an. Die älteste derartige Einrichtung ist die LEONARD-Schaltung. Eine Dynamo wird angetrieben durch einen Motor, und von dieser Dynamo erhält der eigentliche Arbeitsmotor seinen Strom. Die Magnetwicklung des Arbeitsmotores ist dauernd voll erregt. Sein Anker ist mit der Anlaßdynamo verbunden, deren Spannung während des Anlassens durch einen Regler von Null an hinauf reguliert wird, wodurch der Motor stoßfrei anläuft. Die Anlaßdynamo mit ihrem Antriebsmotor, der irgend ein Elektromotor für Gleich- oder Wechselstrom oder irgend eine Kraftmaschine sein kann, muß natürlich immer laufen, arbeitet aber, wenn der Arbeitsmotor steht, im Leerlauf.

Bei dem Patent ILLNER-SIEMENS und HALSKE ist die Anlaßdynamo noch mit einer raschlaufenden Schwungradscheibe versehen, in welcher bei der Drehung Energie aufgespeichert wird, die dann beim Anlassen des Motors mitbenutzt wird.

Ausführung von Anlassern für Handbetrieb und Schutzvorrichtungen.

Wird ein Anlasser falsch behandelt, z. B. zu schnell eingeschaltet, so daß der Motor nicht Zeit hat, mit der Umlaufzahl genügend anzuwachsen, dann kann der Motor beschädigt werden durch zu starken Strom (vergl. Abschnitt XI). Ferner sind im Anlasser die Widerstandsspiralen nur für vorübergehende Belastung bemessen, sie verbrennen also, wenn man dauernd Strom hindurchläßt. Es ist deshalb zweckmäßig, wenn man den Anlasser so einrichtet, daß die Kurbel nur in der Dauerstellung oder in der Ausschaltstellung stehen bleibt, in Zwischenstellungen aber immer wieder ausschaltet. Man bringt deshalb zum Schutz gegen Verbrennen des Widerstandsmaterials eine Feder an der Kurbel an wie in Fig. 66 und richtet den letzten Dauerkontakt so ein, daß an ihm eine größere Reibung vorhanden ist, wie in der Fig. 66 die Kontakte 5—8, und die gespannte Feder die Kurbel in dieser Stellung nicht ausschalten kann.

Gegen zu schnelles Einschalten wendet man Rastenvorrichtungen an wie in Fig. 35. Der Winkelhebel *a* ist auf dem Zapfen *b* drehbar gelagert. Um den Drehpunkt *e* ist der eigentliche Schalthebel *d* drehbar. Derselbe besitzt ein Zahnsegment *f*,

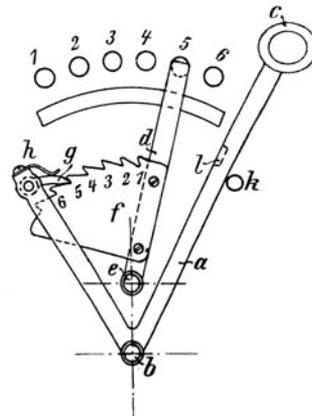


Fig. 35. Doppelkurbelanlasser zum Langsam-schalten der FELTEN-GUILLAUME-LAHMEYER-Werke A.-G.

welches ebenfalls in e seinen Mittelpunkt hat. Wenn ausgeschaltet ist, steht der Schalthebel d auf Kontakt 1. Man bewegt dann den Winkelhebel a so weit nach links, bis die Sperrklinke g gegen den Zahn 1 faßt. Bewegt man nun a wieder nach rechts, so wird d nur so lange gedreht werden können, bis a gegen den Anschlag K stößt. Dann ist d von 1 auf 2 gedreht. Um weiter auf Kontakt 3 zu stellen, muß man den Winkelhebel a wieder nach links drehen, bis abermals die Sperrklinke g einen Zahn faßt, dies geschieht jetzt bei Zahn 2 usw. Es ist also bei dieser Anordnung immer nur möglich, den Schalthebel d um einen Kontakt vorwärts zu bewegen, wenn der Winkelhebel a einen ganzen Hin- und Hergang macht und zu schnelles Einschalten unmöglich.

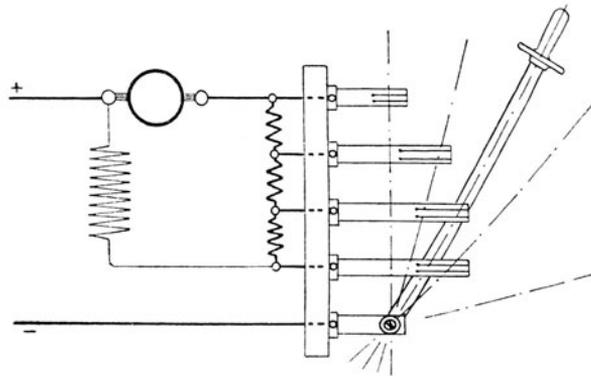


Fig. 36. Hebelanlasser mit funkenfreier Ausschaltung für Nebenschlußmotore.

Andere Firmen, wie KLÖCKNER, Köln-Bayenthal, und andere bauen ähnliche Anlasser mit Klinkwecken für langsames Einschalten.

Weiter wendet man Schnecke und Schneckenrad an gegen zu schnelles Einschalten, wie in Fig. 42 gezeichnet ist.

Gewöhnlich sind mehrere Schutzvorrichtungen am Anlasser vereinigt, wie die nachstehenden Beschreibungen zeigen.

In Fig. 36 ist das funkenfreie Ausschalten bei Nebenschlußmotoren nach Fig. 26 für kleine Motoren mit einem Schalthebel und verschiedenen langen Kontakten möglich.

Diese Schaltung (Fig. 26) läßt sich leicht noch mit Nullstrom- und Überstromausschaltung versehen, wenn man nach Fig. 37 zwei Magnete m_1 und m_2 verwendet. Außerdem sind dann durch die Feder f die Widerstandsspiralen vor dem Verbrennen geschützt, weil die Kurbel nur in der ausgeschalteten Stellung oder in der

Betriebsstellung, wie sie gezeichnet ist, stehen bleibt. In allen Zwischenstellungen schaltet die Feder f sofort wieder aus, wenn man die Hand von der Kurbel läßt. In der Betriebsstellung hält der Magnet m_1 , der mit der Magnetwicklung hintereinander geschaltet ist, die Kurbel fest. Wird aus irgend einem Grunde der Strom i in der Magnetwicklung unterbrochen, dann läßt m_1 die Kurbel los und die Feder f schaltet aus. Durch den zweiten Magneten m_2 , welcher vom gesamten Motorstrom umflossen wird, läßt sich der Motor vor Überlastung schützen. Wird der Motorstrom zu stark, dann zieht m_2 den vor ihm befindlichen Anker an und schließt dadurch die Wicklung von m_1 kurz, der deshalb stromlos

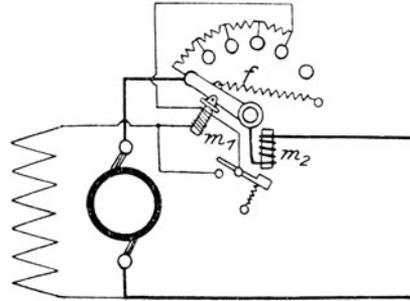


Fig. 37. Nebenschlußanlasser mit Nullstrom- und Überstromausschaltung.

wird und die Kurbel los läßt, so daß die Feder f ausschalten kann. Ein weiterer Vorteil der Schaltung nach Fig. 37 ist noch folgender: Es kann in einem Betriebe vorkommen, daß durch Kurzschluß eine Sicherung durchbrennt. Dann wird die betreffende Leitung stromlos und die an sie angeschlossenen Motoren bleiben stehen. Man muß dann sogleich die Anlasser ausschalten, denn wenn sie in der Betriebsstellung stehen bleiben, dann entsteht sofort wieder Kurzschluß sobald wieder Strom in die Leitung gegeben wird. Bei der Schaltung

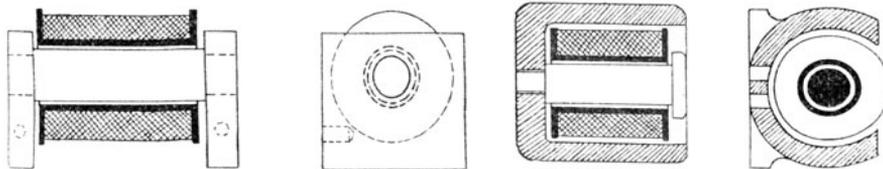


Fig. 38 und 39. Magnetform für Null- und Überstrommagnete.

nach Fig. 37 schaltet der Anlasser aber von selbst aus, sobald der Strom i oder auch der gesamte Strom von außen aufhört. Das Ausschalten des Anlassers nach Fig. 37 geschieht durch einen vor dem Anlasser in der Zuleitung liegenden Schalter, weil man die Kurbel nur schwer von dem Magnete m_1 abreißen kann.

Magnetformen für Null- und Überstrommagnete zeigen die Fig. 38, 39 und 40, während in Fig. 41 der zu dem Magneten

nach Fig. 39 passende Anker gezeichnet ist, der drehbar an der Kurbel befestigt wird. Man darf die Anker dieser Magnete nicht zur direkten Berührung mit den Polflächen gelangen lassen, weil

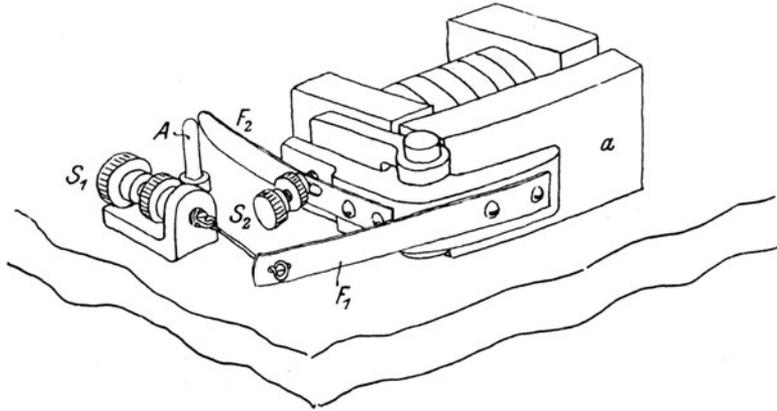


Fig. 40. Überstrommagnet.

sie sonst leicht nach dem Ausschalten kleben, also nicht loslassen. Man vermeidet das Kleben durch Auflegen von ganz dünnen ($1/2$ mm) Messingplatten auf die Pole oder durch kleine Messingstifte in denselben. Jeder Überstrommagnet muß einstellbar sein, damit man seine Zugkraft regeln kann und er nicht schon beim normalen Strom anzieht, sondern erst bei Überschreitung der zulässigen Überlastung und des beim Anlaufen auftretenden Beschleunigungsstromes (siehe Abschnitt XI). In Fig. 40 geschieht diese Regelung mit den Schrauben S_1 , durch welche die am Anker a befestigte Blattfeder F_1 gespannt wird. Das Kurzschließen der Wicklung von m_1 (Fig. 37) geschieht dann, wenn die Blattfeder F_2 sich gegen den Stift A legt. Auch diese Blattfeder wird zweckmäßig eingestellt. In

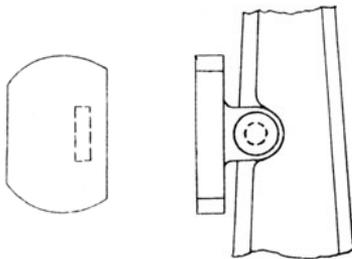


Fig. 41. Anker an der Kurbel für den Magneten nach Fig. 38.

Fig. 40 dienen dazu die Schrauben S_2 .

Ein Anlasser mit allen möglichen Schutzeinrichtungen nach MOY und BASTIE (Electr. Eng. London, Nov. 1907) ist in Fig. 42 gezeichnet. Zum langsamen Einschalten besitzt er Handrad mit Schnecke, welche in das Schneckenrad e eingreift. Die Kuppelung zwischen Schneckenrad und Kontaktkurbel K geschieht durch zwei

gezahnte Ringe R mittels des Magneten m_1 , der in der Nebenfigur gezeichnet ist und K mit e kuppelt, wenn er erregt ist, während dann, wenn er stromlos ist, die Feder f_2 die Zahnringe durch den Kniehebel auseinander zieht, so daß die Kurbel K unabhängig ist vom Schneckenrad e und durch ihre Feder f_1 in die punktierte Ausschaltstellung O gedreht wird. Der Magnet m_1 ist also Nullstrommagnet, weil durch ihn das Ausschalten der Anlaßkurbel K veranlaßt wird, sobald der Motor oder die Magnetwicklung stromlos wird. Der zweite Magnet m_2 ist Überstrommagnet, zieht also bei zu starkem Strom. Durch Einziehen seines Kernes wird der Stift

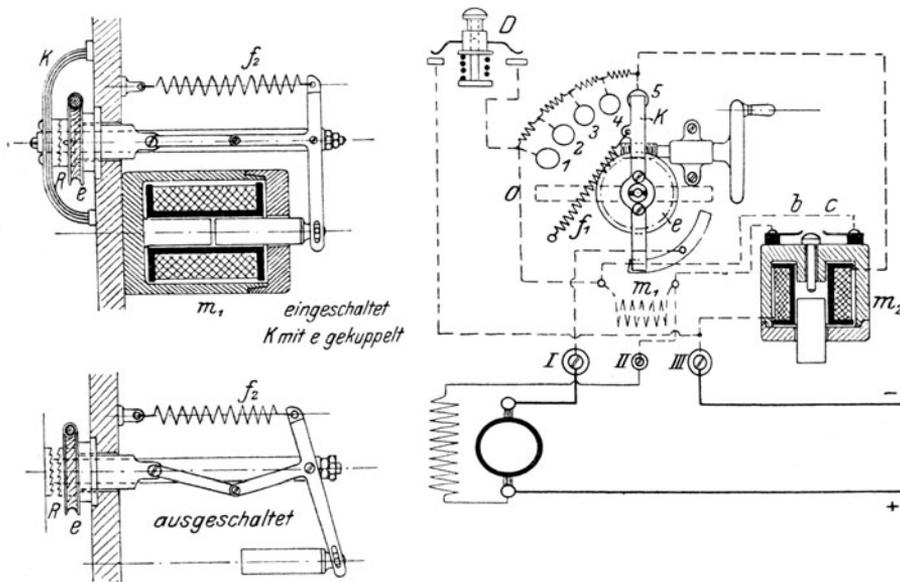


Fig. 42. Anlasser von MOY und BASTIE.

in ihm so herausgedrückt, daß er b mit c verbindet und dadurch die Wicklung von m_1 kurz schließt, so daß dieser stromlos wird. Um dann, wenn die Anlaßkurbel K ausgeschaltet ist, die Zahnringe R zum Eingriff bringen zu können, damit eingeschaltet werden kann, benutzt man den Druckknopf D . Beim Niederdrücken desselben ist folgender Stromlauf: +, Magnete, II , m_1 , D , III , -; es wird also durch Niederdrücken von D der Magnet m_1 erregt und durch die Zahnringe K mit e gekuppelt, so daß man mit dem Handrad die Kurbel über die Kontakte $1, 2, 3 \dots$ bis 5 einschalten kann. Sobald die Kurbel K den Kontakt 1 berührt, darf der Druckknopf ausgeschaltet werden. Das Ausschalten muß auch hier an einem

besonderen Schalter in der Zuleitung erfolgen. Solange die elektromotorische Kraft des nachlaufenden Ankers noch genügenden Strom durch m_1 senden kann, ist K mit e gekuppelt. Wird der Strom zu schwach, dann entkuppelt die Feder f_2 die Kurbel und f_1 schaltet plötzlich aus. Im ausgeschalteten Zustand ist aber in Fig. 42 kein geschlossener Stromkreis zwischen Anker und Magneten wie in Fig. 26. Trotzdem schaltet auch dieser Motor genügend induktionslos oder besser induktionsschwach aus, denn m_1 läßt erst dann los, wenn der Strom sehr schwach geworden ist, dann kann keine hohe Selbstinduktion mehr eintreten.

Ein Nachteil ist allerdings, daß beim Wirken des Überstrommagneten m_2 plötzlich der volle Magnetstrom unterbrochen wird.

Schutzvorrichtungen für Wendeanlasser sind ebenfalls ausführbar. In Fig. 43 ist der Wendeanlasser nach der früheren Fig. 27 in der Betriebsstellung gezeichnet. Die Kurbel ist mit einem Schilde S versehen, welches bei c und d Vertiefungen hat, in welche der Kernfortsatz des Magneten m_1 eingreift, der mit der Magnetwicklung des Motors hintereinander geschaltet ist. Durch die Feder f_1 wird in derselben Weise wie bei Fig. 37 ein Ver-

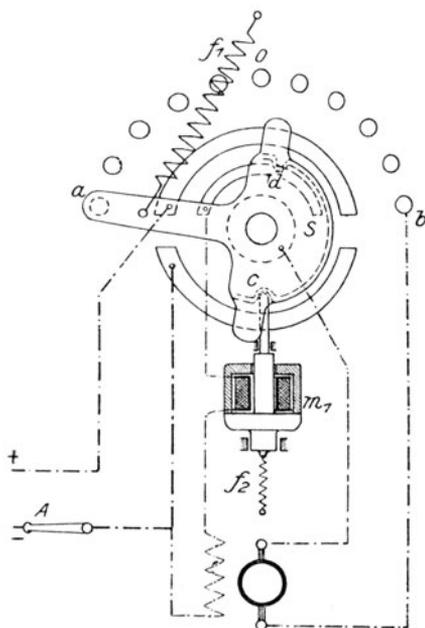


Fig. 43.

Nullstromausschaltung für Wendeanlasser.

brennen des Widerstandsmaterials vermieden, indem diese stets auf allen Zwischenstellung zwischen a oder b und 0 ausschaltet, sobald man die Kurbel losläßt. Das Ausschalten geschieht mit dem Schalter A . Sobald der durch die elektromotorische Kraft des nachlaufenden Ankers noch erregte Magnet m_1 nicht mehr genügend Strom erhält, zieht die Feder f_2 den Kern zurück aus c und f_1 schaltet die Kurbel auf 0 . Auch hier wird ebenso wie bei dem Anlasser von MOY und BASTIE der Nebenschlußstrom unterbrochen, aber auch erst dann, wenn er schon sehr schwach ist. Will man noch Schutz gegen Überstrom ausführen, so vermeidet man besser das Kurzschließen von

m_1 durch den Überstrommagneten, denn dann würde ebenso, wie es in Fig. 42 geschieht, der volle Magnetstrom des Motors unterbrochen. Man läßt durch den Überstrommagneten besser den Schalter *A* ausschalten.

Ein Drehfeldanlasser mit Schutzvorrichtungen von ELLISON (The Electrician, London, 13. Dezember 1907) ist in Fig. 44

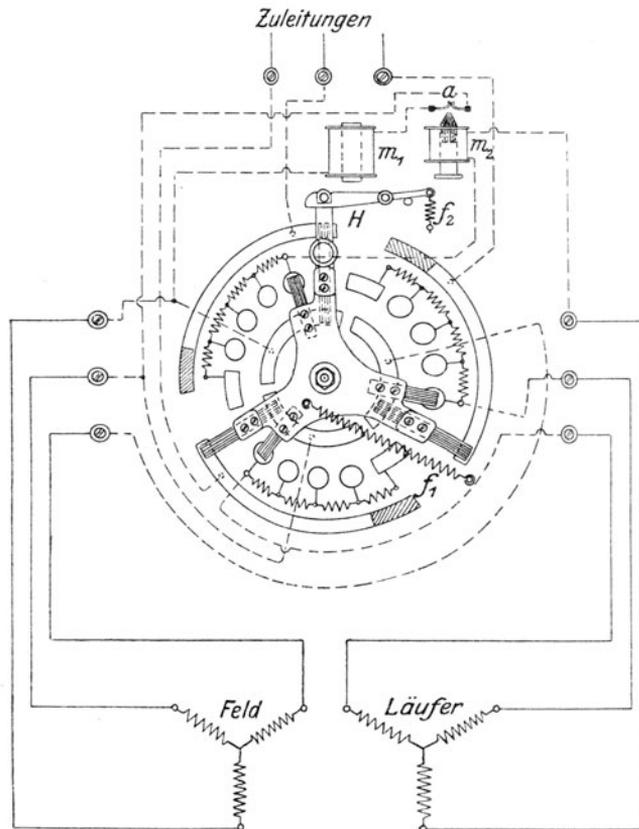


Fig. 44. Drehfeldanlasser mit Schutzvorrichtungen nach ELLISON.

gezeichnet. Der dreiteilige Schalthebel ist in der Betriebsstellung gezeichnet und wird durch den Hebel *H* und die Feder f_2 festgehalten, während er auf Zwischenstellungen durch die Feder f_1 immer ausgeschaltet wird. Die Spule m_1 liegt zwischen zwei Zuleitungen, wird also durch die zugeführte Spannung erregt. Sinkt diese oder wird ausgeschaltet, wozu in den Zuleitungen ein Schalter liegen muß, dann läßt m_1 ihren Eisenkern auf den Hebel *H* fallen, wodurch die Sperrung des Schalthebels aufgehoben wird und die

Feder f_1 ausschaltet. Der Anlasser vermeidet also ebenso wie schon auf S. 35 und bei Fig. 37 erwähnt wurde, einen Kurzschluß, wenn nach Unterbrechung des Zuleitungsstromes wieder Strom zugeführt und der Anlasser nicht ausgeschaltet wurde. Gegen Überlastung schützt der Magnet m_2 , der bei zu starkem Läuferstrom seinen Kern einzieht, dessen isolierte Spitze die Kontakte bei a auseinanderschiebt, wodurch m_1 stromlos wird.

Eine Kontaktplatte für kleinere Anlasser nach Schaltung

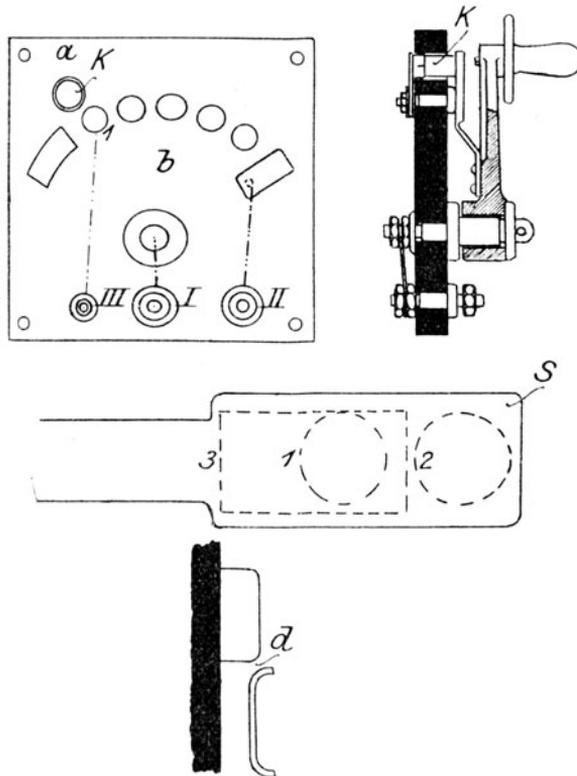


Fig. 45.

Kontaktplatte für kleine Anlasser nach Fig. 26.

mäßig, weil sonst an diesem unter Umständen das Öffnungsfeuer entstehen kann. Die Kohle K muß so gesetzt sein, daß die Schleiffeder S sie noch berühren muß, wenn sie sich schon von Kontakt 1 entfernt hat. Da die Kontaktfeder sehr einfach ist, kann ein besonderes Funkenziehblech entbehrt werden, weil ja doch selten Feuer auftreten wird. Der Anlasser kann bis etwa 20 Amp. benutzt werden wegen der einfachen Blattfeder und der Zuführung des Stromes durch den Dreh-

Fig. 26 zeigt Fig. 45. Zweckmäßig versieht man den ersten Anlaufkontakt 1 mit Kohle und führt die einfache Schleiffeder S so lang aus, daß sie noch über die Kohle streicht. Die Schaltung nach Fig. 26 gestattet vollständig funkenfreies Ausschalten, aber nur wenn der Motor vorher richtig eingeschaltet war. Wird wieder ausgeschaltet, ehe der Motor richtig läuft, so kann schwächeres Feuer entstehen (vergl. S. 27), deshalb sind die Kohlenhilfskontakte zum Schutze des Anlaufkontaktes 1 zweck-

zapfen. Der Dauerkontakt wird größer ausgeführt nach der Fläche 3 als die mit runden Köpfen 1 versehenen Anlaufkontakte. Der Kreis 2 zeigt, wie die Kohle überdeckt wird, also mit einer Fläche der Schleiffeder, die für normalen Stromübergang nicht in Frage kommt. Durch die umgebogenen runden Ecken entsteht das Feuer zwischen Kohle und Feder bei d , beschädigt also nicht die Schleiffläche (vergl. S. 14). Nach dem Schema Fig. 26 sind die Klemmen in Fig. 45 in folgender Weise zu verbinden: *I* mit der Zuleitung, *II* mit dem Anker, *III* mit der Magnetwicklung.

Eine Kontaktplatte für größere Anlasser zeigt Fig. 46. An Stelle des Drehzapfens wird die Schiene *S* zur Strom-

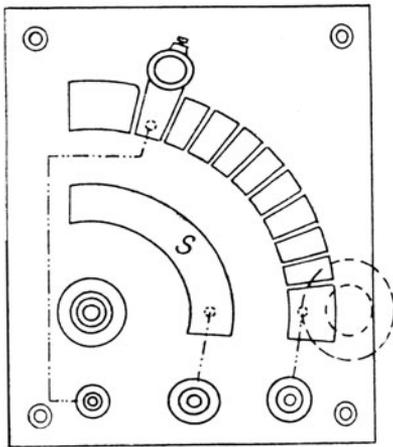


Fig. 46. Kontaktplatte für größere Anlasser nach Fig. 26.

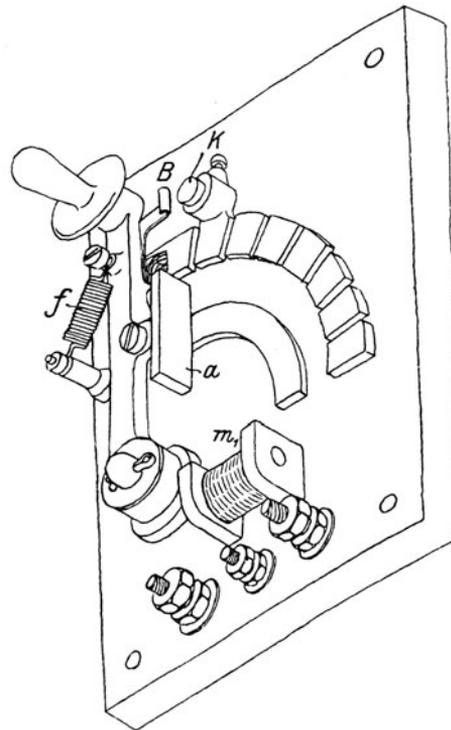


Fig. 47. Kontaktplatte mit Nullstrommagnet nach Fig. 37.

zuleitung benutzt. Der erste Anlaufkontakt hat ebenfalls wie in Fig. 45 eine Kohle. Ein Funkenziehblech dazu zeigt Fig. 6 und eine Kurbel Fig. 12.

In gleicher Weise ist die Kontaktplatte nach Fig. 47 ausgeführt. Nur ist dort nach Schema (Fig. 37) noch ein Nullstrommagnet m_1 mit dem Anker a an der Kurbel und die Feder f angebracht. K ist die Hilfskohle und B das Funkenblech.

Zuweilen verwendet man auch Flüssigkeitsanlasser, und zwar für Gleich- und Wechselstrom. Für Wechselstrom eignen sie sich etwas besser als für Gleichstrom, weil dann die elektrolytische Zersetzung durch den Strom fortfällt. Nachteilig ist aber bei ihnen immer das Verdampfen der Flüssigkeit durch Heißwerden, die Änderung der Konzentration derselben durch Verdunsten und der schwankende Flüssigkeitsspiegel bei Erschütterungen des Anlagers, außerdem entsteht gewöhnlich zuletzt noch ein starker Stromstoß beim Einschalten, den man nur durch besondere Form der

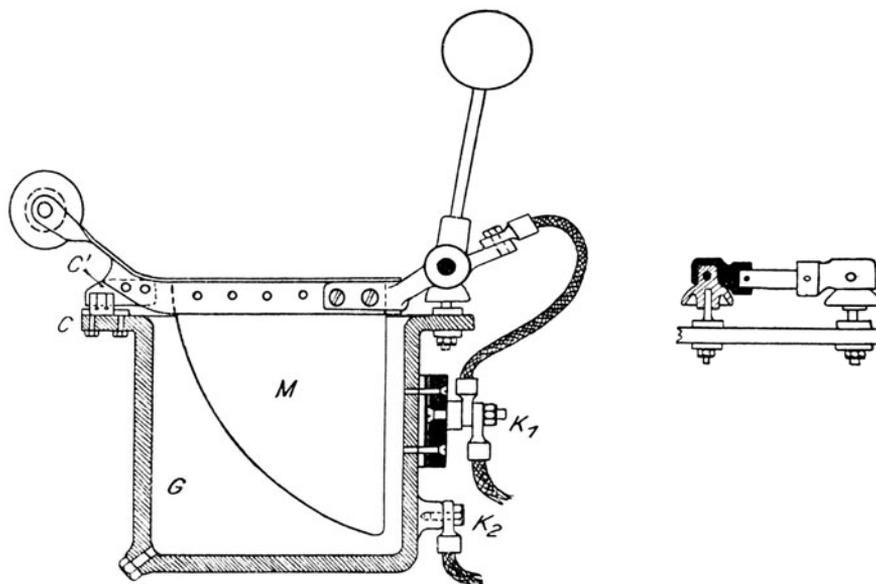


Fig. 48. Flüssigkeitsanlasser.

Eintauchplatte M (Fig. 48) mildern kann. Die eine Klemme K_1 ist isoliert von dem Gußeisengefäß G und durch ein biegsames Kabel mit dem Hebel verbunden, dessen Drehachse ebenfalls von G isoliert ist. Von dem Eisenblech M geht der Strom in die Flüssigkeit (Salmiak- oder Sodalösung) und von dort zum Gefäß G , mit welchem die Anschlußschraube K_2 verbunden ist. Bei langsamem Einsenken der Platte M vergrößert sich die eintauchende Oberfläche immer mehr, der Widerstand wird also immer kleiner. Zuletzt muß der Anlasser kurz geschlossen werden durch Eindrücken des Kontaktes C' in C . Zu schnelles Eintauchen der Platte wird verhindert durch

Handrad und Schraubenspindel oder wie in Fig. 49 durch eine Glycerinpumpe. Die Pumpe ist so eingerichtet, daß der Kolben keinen Widerstand mehr überwinden muß, wenn er bis zur gezeichneten Stellung gelangt ist, weil dort die Zylinderwandung Schlitz hat, durch die das Glycerin leicht von unten über den Kolben gelangen kann. Zuerst muß man beim Einschalten stark drücken, um den Kolben der Pumpe nach unten zu bewegen. Plötzlich hört in ihr der Widerstand auf, wenn die Platte *M* in Fig. 48 fast vollständig eintaucht, so daß dann unwillkürlich die Kontakte *C*

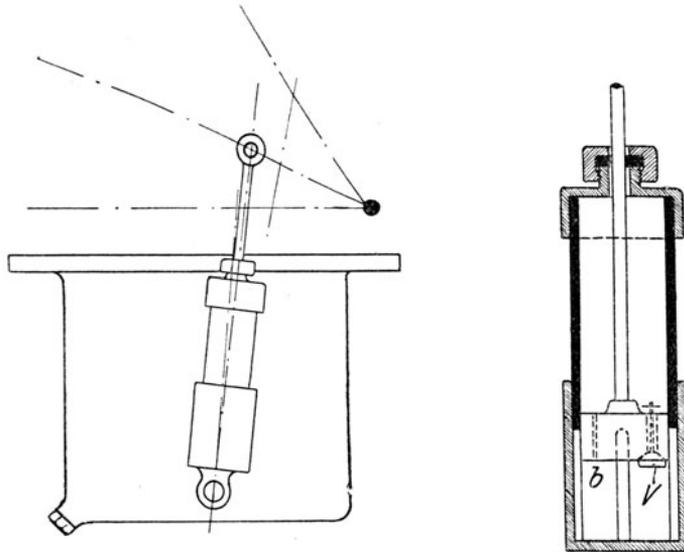


Fig. 49. Glycerinpumpe zum Langsameinschalten für Flüssigkeitsanlasser.

und *C* fest ineinander gedrückt werden. An dem Hebel ist ein Gegengewicht angebracht, welches die Platte wieder herausdreht, wenn nicht vollständig eingeschaltet war, denn die Flüssigkeit erhitzt sich und verdampft bei dauernder Einschaltung. Zum leichten und schnellen Herausheben der Platte *M* ist im Kolben das Ventil *V* vorhanden, welches beim Heben der Platte sich öffnet, beim Senken geschlossen bleibt, so daß dann das Glycerin nur durch den kleinen Kanal bei *b* über den Kolben gelangen kann. Von Zeit zu Zeit muß der durch Zersetzung der Flüssigkeit, durch Verunreinigung oder durch Verdunstung sich absetzende Schlamm aus dem Gefäß entfernt werden, und die Flüssigkeit muß nachgefüllt werden. Für

größere Leistungen schaltet man mehrere Gefäße parallel. Für Nebenschlußmotoren muß noch ein besonderer Schalter für den Nebenschluß verwendet werden, der am besten zwangsläufig vor dem Einsenken der Platte *M* eingeschaltet werden muß. Die Plattenoberfläche bei Flüssigkeitsanlassern wird so berechnet, daß auf 1 cm² etwa 0,3—0,4 Amp. kommen, und für ein aufzunehmendes Kilowatt rechnet man 7 l Flüssigkeit.

Anlasser aus anderem Material, wie Kohle, Graphit und dergleichen, haben sich bis jetzt nicht bewährt und können übergangen werden.

Abschnitt VI.

Selbsttätige Anlasser.

Selbsttätige Anlasser werden sehr häufig verwendet zum Einschalten von Motoren, welche Pumpen antreiben, die eine Druckwasseranlage oder ein Sammelbassin versorgen. In diesen Fällen muß der Motor selbsttätig eingeschaltet werden, wenn der Wasservorrat unter eine bestimmte Menge gesunken ist, oder er muß ausgeschaltet werden, wenn Bassin oder Druckzylinder gefüllt sind. Ebenfalls sind bei Fahrstühlen selbsttätige Anlasser in Anwendung.

Als Antriebsmittel für selbsttätige Anlasser kommen in Frage: Schwerkraft, Fliehkraft, Spannungszunahme des laufenden Ankers, kleine Hilfselektromotore und bei Wechselstrom Selbstinduktion.

In Fig. 50 ist ein Fliehkraftanlasser von SIEMENS & HALSKE gezeichnet. Der Hebel *A* würde durch Schwimmer und dergleichen selbsttätig einzuschalten sein. Dann beginnt der Motor zu laufen, weil er durch den Anlasser w_1 — w_6 hindurch Strom erhält. Mit zunehmender Geschwindigkeit gehen die Kugeln des Fliehkraftreglers weiter auseinander, wodurch die Scheibe *S* gedreht wird,

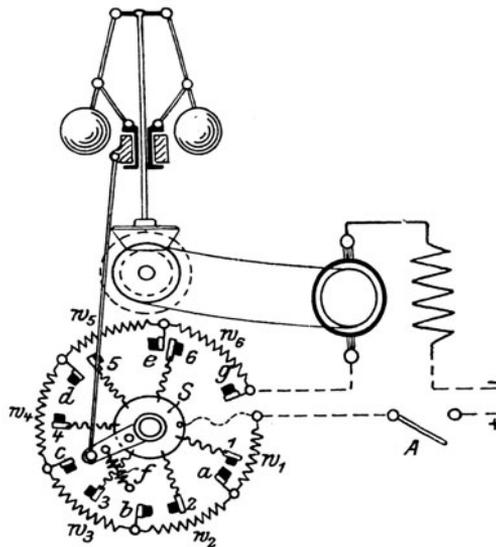


Fig. 50. Älterer Fliehkraftanlasser von
SIEMENS & HALSKE.

die zur Dämpfung die Feder f besitzt. An dieser Scheibe sitzen die federnden Kohlenkontakte $1—6$ gegenüber den festen Kontakten $a—g$. Beim Drehen von S legt sich zuerst Kohle 1 auf Kontakt a , weil zwischen diesen beiden der kleinste Abstand herrscht. Dadurch wird die erste Stufe w_1 des Anlagers abgeschaltet. Bei weiterer Drehung legt sich Kohle 2 auf b , wodurch Stufe w_2 auch abgeschaltet wird usw., bis zuletzt die am weitesten entfernte Kohle 6 sich auf ihren Kontakt g legt und den Anlasser kurz schließt. Bei dieser Schaltung ist also das Anlassen direkt abhängig von der zunehmenden Geschwindigkeit des Motors.

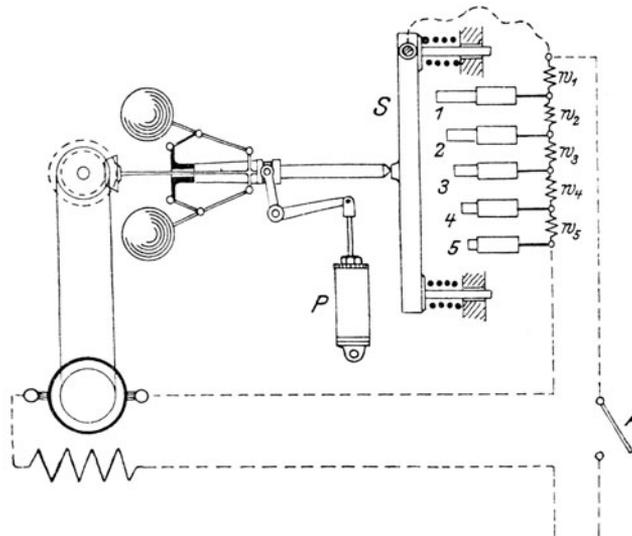


Fig. 51. Neuerer Fliehkraftanlasser von SIEMENS & HALSKE.

Ein neuerer Fliehkraftanlasser von SIEMENS & HALSKE ist in Fig. 51 gezeichnet. Sobald die Fliehkraftkugeln auseinandergehen, wird die Stange S vorgeschoben gegen die federnden Kohlenkontakte $1—5$. Zur Dämpfung und Regelung des Stangenvorschubes dient eine Glycerinpumpe P . Federn schieben nach dem Ausschalten von A die Stange wieder zurück.

Antrieb durch Schwerkraft zeigen die Anlasser der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, welche Wendeanlasser sind. Fig. 52 ist eine ältere, nicht mehr ausgeführte Methode. Durch Drehen der Seilscheibe auf der Welle a wird vermittle der Scheibe S der Umschalter U umgelegt. Gleichzeitig dreht sich der Hebel H um 180° . Dadurch wird die Zahnstange A frei und sinkt nach unten. Die

Geschwindigkeit des Sinkens wird geregelt durch ein Pendel P mit Anker und Steigrad, so daß die Kontaktbürste langsam nach unten sinkt. Beim Ausschalten dreht sich der Hebel H wieder in die gezeichnete Stellung nach oben und hebt dabei die Stange mit hoch, wobei, wie die Nebenfigur zeigt, Anker und Pendel mit Steigrad ausgerückt sind. Der Umschalter stellt sich selbsttätig wieder waagrecht ein. Zum Umkehren der Drehrichtung werden hier die Magnete

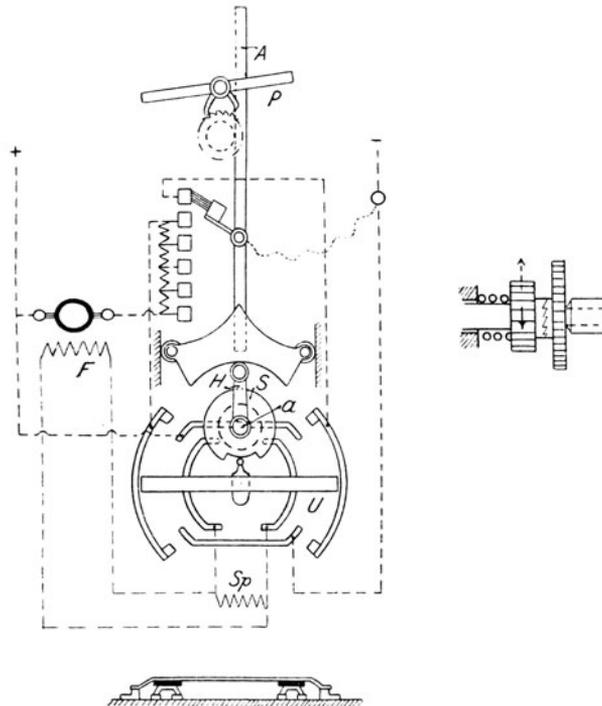


Fig. 52. Anlasser mit Pendelhemmung.

umgeschaltet, und damit die Wicklung derselben durch die Selbstinduktion nicht Schaden leidet, ist die Schutzspule S_p vorhanden. Gebaut werden diese Anlasser nicht mehr, sie sind aber trotzdem aufgeführt, weil sie ganz lehrreich sind.

Eine neuere Ausführung zeigt Fig. 53. Dort wird der Ankerstrom zwecks Änderung der Drehrichtung umgeschaltet, ein besseres Verfahren als das Umschalten der Magnete. Der beim Abschalten auf Kontakt 1 entstehende Funken wird durch die Bläterspule B ausgeblasen, welche erst im Augenblick des Bedarfes eingeschaltet wird. Die Magnetwicklung ist beim Ausschalten kurz geschlossen.

Diese Stellung ist in Fig. 53 gezeichnet. Das Kurzschließen der Schenkel muß natürlich ohne vorherige Unterbrechung des Schenkelstromes vor sich gehen. Antriebsvorrichtung für diesen Anlasser ist ebenso wie in Fig. 52 die Schwerkraft, und die Geschwindigkeitsregelung der abwärts sinkenden Stange wird durch ein Windflügelrad geregelt.

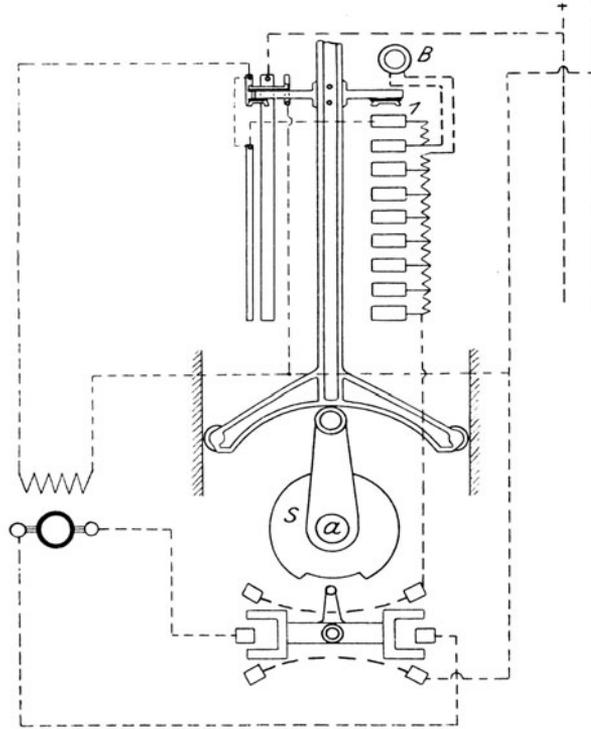


Fig. 53. Selbsttätiger Wendeanlasser der Allgem. Elektr.-Gesellschaft.

Die Spannungszunahme des anlaufenden Ankers wird benutzt nach der Schaltung in Fig. 54. Eine Spule S liegt an den Bürsten des Motors. Wenn der Anker steht, dann hat die Feder F die Kurbel auf Kontakt 1 gezogen. Wird in der Zuleitung zum Motor der Strom durch einen Schalter geschlossen, dann beginnt der Anker sich zu drehen, wodurch in ihm eine Gegenspannung entsteht (vergl. Abschnitt XI), infolge deren die Spule den Kern weiter einzieht, bis die Kurbel auf Kontakt 2 steht. Dadurch wird der Motor weiter beschleunigt, die Ankerspannung steigt und die Spule S zieht noch stärker usw. Die Ausführung dieses Prinzipes ist etwas schwierig, weil eine solche Spule nur sehr wenig Hub haben darf, wenn sie nicht sehr ungleichmäßig ziehen soll.

Eine brauchbare Abänderung des Verfahrens zeigt Fig. 55. Durch Schließen des Schalters A läuft der Motor an und es nimmt seine Geschwindigkeit solange zu, bis durch das Anwachsen der Ankerspannung der zu große Anlaufstrom auf den Normalwert heruntergegangen ist. Für die dann vorhandene Ankerspannung ist die Spule S_1 eingestellt, die sodann ihren Kern einzieht und die erste Stufe w_1 kurz schließt. Dadurch entsteht abermals ein starker Stromstoß, der den Motor weiter beschleunigt, wodurch seine Spannung und Umlaufzahl steigt, bis abermals der Strom wieder normal geworden ist. Dann schließt die zweite Spule S_2 die zweite Stufe w_2 kurz, bis schließlich die letzte Spule S_5 die letzte Stufe w_5 und damit

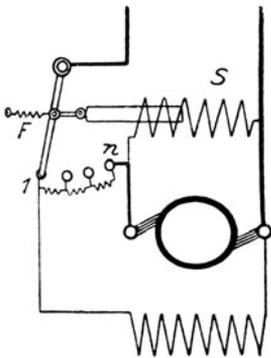


Fig. 54. Anlasser durch Spannungszunahme des Ankers.

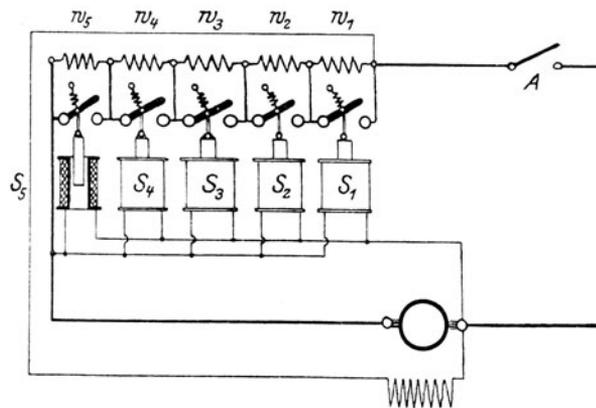


Fig. 55. Brauchbare Abänderung der Schaltung nach Fig. 54.

den ganzen Anlasser kurz schließt. Vorteil dieser Methode ist der, daß man, wie im Abschnitt XI und XV, Beispiel 4 gezeigt ist, genau die einzelnen Spannungen vorher berechnen und damit die Spulen S_1 bis S_5 vorher einregulieren kann mit Hilfe der Federn, die an den Hebeln sitzen. Außerdem ist Fig. 55 nach Schaltung Fig. 26 mit funkenloser Ausschaltung des Nebenschlusses versehen.

Ein Anlasser mit Hilfsmotor ist in Fig. 56 gezeichnet, und zwar ist angenommen, der Hauptmotor M betreibt eine Preßpumpe für eine Druckwasseranlage. In der Figur ist das Gewicht A des Wasserakkumulators soeben auf den tiefsten Stand gesunken und hat dabei den Umschalter U_1 von der Stellung 1 auf 2 gedreht. Dadurch wird der Hilfsmotor, ein kleiner Motor, der keinen oder nur wenig Widerstand zum Anlassen braucht, eingeschaltet, denn der Stromlauf ist folgender: $+$, a , U_2 , β , Anker von M_1 , U_1 , Magnete

von M_1 , —. Der Hilfsmotor dreht die Schraubenspindel und schraubt dadurch die Kontaktfeder über die Kontakte 1, 2, 3 hinweg bis 7. Kurz vor dem 7. Kontakt stößt der Arm der Feder an den oberen Anschlag der Stange S , wodurch der Schalter B sich auf die Kohlen K_1, K_2 legt und gleichzeitig der Hilfsmotor dadurch ausgeschaltet wird, daß U_2 umgelegt wird auf 4. Der Hauptmotor M ist jetzt

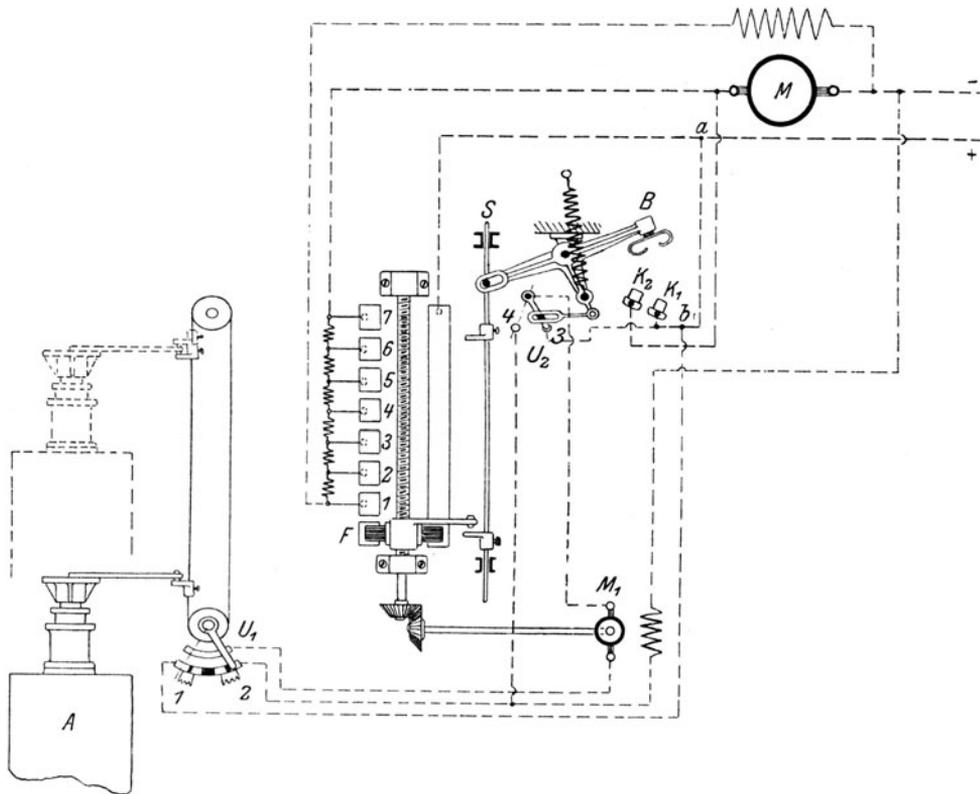


Fig. 56. Selbsttätiger Anlasser mit Hilfsmotor.

voll eingeschaltet und pumpt den Akkumulator nach aufwärts. Sobald dieser die punktierte höchste Stellung erreicht hat, wird U_1 umgelegt auf 1. Da U_2 jetzt auf 4 steht, wird der Hilfsmotor M_1 wieder eingeschaltet, aber mit umgekehrter Drehrichtung, weil der Strom im Anker umgekehrt fließt. Der Stromlauf ist dabei folgender: +, a, b, U_1 , 1, Anker von M_1 , U_2 , 4, Magnete von M_1 , —. Folglich schraubt der Hilfsmotor die Kontaktfeder F nach unten in die Ausschaltstellung. Da aber der Hauptmotor M , weil er nach Schema Fig. 26 für funkenfreie Abschaltung angeschlossen ist, denn seine

Magnetwicklung liegt am Anfang des Anlassers, schnell ausgeschaltet werden muß, bleibt der Anlasser durch den Schalter B auf den Kohlen K_1 und K_2 so lange kurz geschlossen, bis der Arm an der Feder den unteren Anschlag der Stange S berührt und diese nach unten zieht, wodurch B plötzlich ausschaltet und gleichzeitig der Hilfsmotor durch Umlegen von U_2 auf 3 stillgesetzt wird.

In den Fig. 57 und 58 sind die Variatoranlasser nach Dr. KALLMANN gezeichnet, welche die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft ausführt. Diese Variatoren sind Eisendrähte in Glaskörpern, welche mit Wasserstoffgas gefüllt sind und die durch den Strom fast augenblicklich bis zur Rotglut erwärmt werden, wodurch sich ihr Widerstand gegenüber demjenigen im kalten Zustand um das 8—10fache erhöht. Sie sind nun so bemessen, daß sie der für den Motor notwendige Beschleunigungs- oder Anlaufstrom (vergl. Abschnitt XI) zur Rotglut erhitzt und trotzdem sie beim Einschalten des Stromes noch kalt sind, also nur wenig Widerstand haben, so daß eigentlich ein noch viel stärkerer Strom als der Anlaufstrom im ersten Augenblick entstehen müßte, wird der Stromstoß doch nur den Wert des Anlaufstromes erreichen, weil der Variator schneller glühend wird als der Strom zur Entwicklung Zeit braucht, denn in allen Motoren tritt, wenn auch nicht immer viel, so aber doch genügend Selbstinduktion auf, um ein plötzliches Zustandekommen des Stromes unmöglich zu machen. Bei dem rotglühenden Variator läuft der Motor an, wodurch aber der Strom sinkt bis auf den normalen Wert (vergl. Abschnitt XI), und dadurch wird der Variator von selbst an Widerstand abnehmen und der Motor vollkommensstoßfrei angelassen werden.

In Fig. 57 ist eine Handeinschaltung mit Variator gezeichnet. Der zweipolige Umschalter steht in der Zeichnung auf der ausgeschalteten Stellung. Dreht man auf 1 , so wird der Variator R und das Magnetfeld eingeschaltet. Der Motor läuft selbsttätig an und wenn er fast normal läuft, schaltet man den Umschalter auf 2 , wodurch der Variator R abgeschaltet wird.

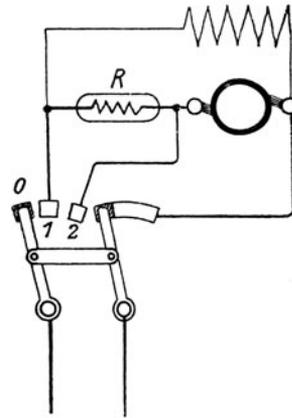


Fig. 57. Variator für Handanlasser nach Dr. KALLMANN.

Bei größeren Motoren schaltet man wegen des höheren Stromes eine Anzahl Variatoren parallel und kann auch mehrere Anlaßstufen verwenden, wie in Fig. 58 gezeigt ist, woselbst die noch notwendige

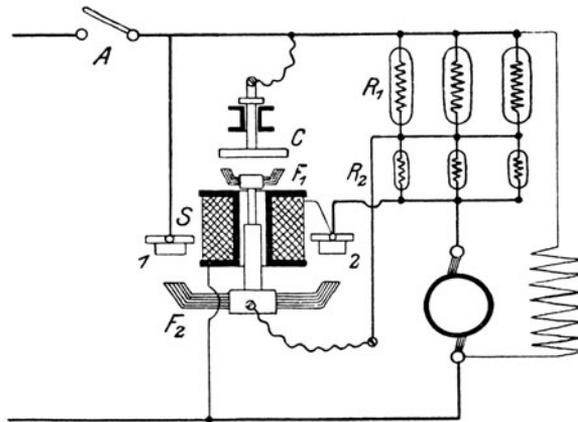


Fig. 58. Selbsttätiger Anlasser mit Variatoren nach DR. KALLMANN.

Bedienung des Anlaßapparates ebenfalls selbsttätig durch eine Spule S geschieht, die an die Ankerklemmen gelegt ist. Wird der Hauptschalter A geschlossen, so fließt der Strom durch die beiden hintereinander geschalteten Variatorgruppen R_1 und R_2 in den Anker. Dieser läuft an und wenn die Spannung an seinen Bürsten einen gewissen Wert erreicht hat, zieht die Spule S teilweise ihren Eisenkern ein. Dadurch wird zunächst die Kontaktfeder F_1 gegen C gelegt, wodurch die Gruppe R_1 kurzgeschlossen wird. Bei noch weiterem Anwachsen der Ankerspannung zieht die Spule S ihren Kern vollständig ein, wobei C durch die Feder F_2 die Kontakte 1 und 2 verbindet und dadurch die Variatoren vollkommen kurzgeschlossen werden.

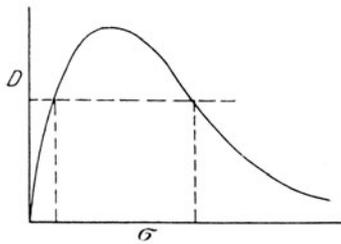


Fig. 59. Drehmoment abhängig von der Schlüpfung bei Drehfeldmotoren.

Die asynchronen Drehfeldmotoren sind sehr leicht mit selbsttätigen Anlassern ausführbar. In Fig. 59 ist zunächst der Verlauf der Kurve für das Drehmoment D abhängig von der Schlüpfung σ aufgezeichnet, wie es mit Hilfe des HEYLAND-Diagrammes

(Fig. 117 und Abschnitt XII) aufgezeichnet werden kann. Man erkennt aus der Kurve, daß unter dem Höchstwert immer zwei gleiche Momente, eines für große Schlüpfung, eines für kleine Schlüpfung auftreten. Sehr kleine Drehfeldmotoren können aus diesem Grunde ganz ohne Anlasser anlaufen, wenn nämlich ihr Drehmoment bei

stillstehendem Läufer, also wenn die Schlüpfung gleich der Umlaufzahl des Drehfeldes ist, noch um so viel größer ist, als das bei normalem Betrieb nötige, daß der Motor mit Sicherheit beschleunigt wird. Je größer aber die Motoren sind, um so kleiner ist in diesem Fall das Drehmoment. Durch Vorschalten von Widerstand kann man aber die Kurve des Drehmomentes verschieben (vergl. Abschnitt XII, Fig. 118), und wenn in dieser Figur Kurve *I* diejenige bei kurzgeschlossenem Läufer ist, so ist Kurve *II* eine solche bei einem in den Läuferkreis vorgeschalteten Widerstand (w_x). Schaltet man $w_x = w_i$ vor den Läufer, also einen Widerstand gleich dem des Läufers, so daß der Läuferwiderstand verdoppelt ist, so verschiebt sich die Kurve *II* genau um das doppelte, ihre Abszissen verhalten sich zu denen von Kurve *I* wie 2 : 1; wenn der Motor ein Drehmoment zum Anlassen gebraucht von D_2 , so braucht man nur durch *A* eine Waagrechte \overline{AC} zu ziehen, dann ist der nach Fig. 60 vorzuschaltende einstufige Widerstand aus der Gleichung bestimmt:

$$\frac{w_x + w_i}{w_i} = \frac{\overline{AC}}{\overline{BC}}$$

oder

$$w_x = w_i \cdot \left(\frac{\overline{AC}}{\overline{BC}} - 1 \right),$$

dabei sind \overline{AC} und \overline{BC} die in beliebigem Maßstab in Fig. 118 gemessenen Längen, w_i der Läuferwiderstand pro Phase. Hat also der Motor bei Stillstand ohne Widerstand das Drehmoment D_1 und genügt dasselbe nicht zum Anlaufen, so schaltet man so viel Widerstand vor, bis dasselbe einen genügend hohen Wert D_2 erreicht. Bei großen Motoren muß ein mehrstufiger Anlasser benutzt werden, bei kleinen Motoren unter 10 PS kann ein einstufiger Widerstand genügen, falls der zu dem Anlaufmoment zugehörige Strom nicht zu stark ist. Da nach dem Einschalten der Motor anläuft, also σ abnimmt, so steigt das Drehmoment noch weiter bis zum Höchstwert nach Fig. 59 und sinkt schließlich nach Überschreitung des Höchstwertes auf dem zweiten Teil der Kurve bis zu dem normalen Wert herunter. Da der Strom beim Anlassen sehr hoch ist, braucht der Motor nur einen geringen Widerstand zu erhalten.

Das soeben beschriebene selbsttätige Anlassen mit einstufigem Widerstand ist in Fig. 60 gezeichnet. Während des Anlaufens sind die drei Enden der drei Phasen durch drei Wider-

stände w_x verbunden, welche man gleich mit an dem Läufer befestigt. Während des Betriebes werden die drei Enden der Phasen kurz geschlossen.

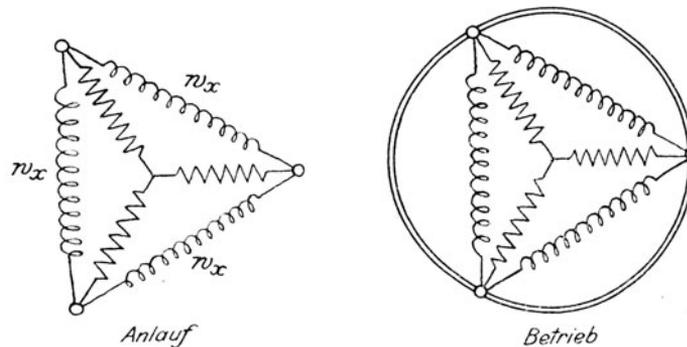


Fig. 60. Selbsttätiges Anlassen mit einstufigem Widerstand für kleine Drehfeldmotore.

Die mechanische Ausführung einer Kurzschlußvorrichtung zeigt Fig. 61. Die drei Ringe S , mit denen die Enden der drei Phasen verbunden sind, werden durch die beiden ringförmigen Draht-

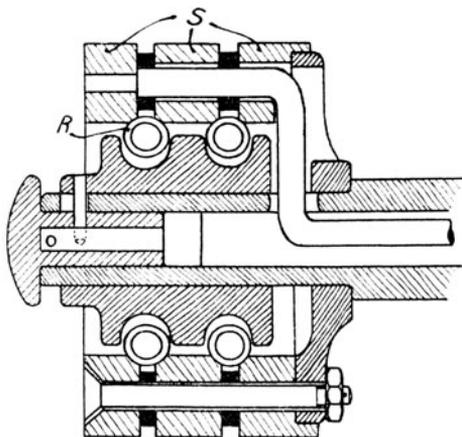


Fig. 61. Kurzschlußvorrichtung nach BROWN und BOVERT.

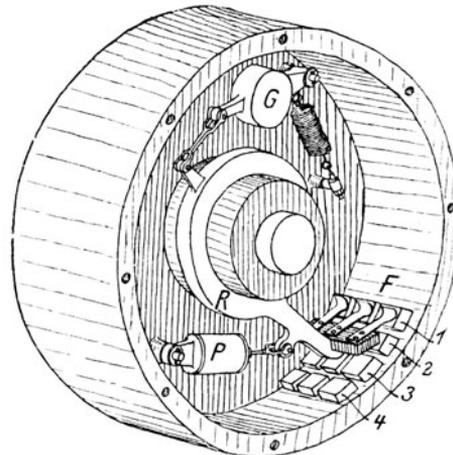


Fig. 62. Selbsttätiger Drehfeldanlasser der UNION E.-G.

spiralen R kurz geschlossen, sobald man auf den an der Welle befindlichen Knopf stößt.

Man kann auch Fliehkraftregler zum Kurzschließen benutzen, indem man ähnlich wie in Fig. 62 verfährt und durch das Gewicht G nach Erreichen einer bestimmten Läufergeschwindigkeit einen Schalter einrücken läßt.

Fig. 62 zeigt einen selbsttätigen Drehfeldanlasser der Union E.-G. Auf die Welle des Motors wird eine Trommel aus Isoliermaterial gesetzt, deren Deckel in Fig. 62 entfernt ist. Schaltet man in der Zuführung zum Feld des Motors den Strom ein, so läuft der Motor an. Mit zunehmender Geschwindigkeit bewegt sich das Schwunggewicht G nach außen, wodurch der Ring R gedreht wird und die drei Schleiffedern über die Kontaktgruppen 1, 2, 3—4 gezogen werden. P ist eine Glycerinpumpe zur Dämpfung der Bewegung.

In Fig. 63 ist das Anlassen mit Gegenschaltung nach GÖRGES, ausgeführt von SIEMENS & HALSKE, gezeichnet. Beim Einschalten ist die punktierte Kurzschlußverbindung zwischen den Phasen unterbrochen. Die Wickelung des Läufers besteht aus zwei Teilen, von denen der eine doppelte Drahtzahl und doppelten Widerstand als der andere besitzt. Infolgedessen verhalten sich die elektromotorischen Kräfte wie $\frac{2e}{e}$. Beim Anlassen wirken beide gegeneinander, so daß also $2e - e = e$ wirksam bleibt. Wenn der Motor beim Anlaufen eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat, dann schließt ein Fliehkraftregler (vergl. Fig. 62) die drei Phasen

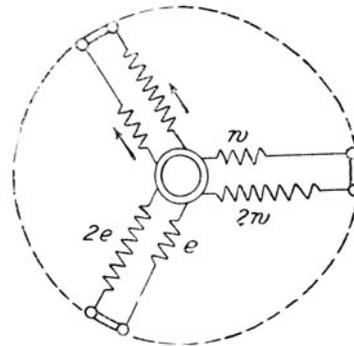


Fig. 63. Selbsttätige Anlaufschaltung nach GÖRGES.

kurz, so daß dann die beiden Teile der drei Phasen parallel arbeiten, weil die wirksame Spannung an ihren Enden genau gleich ist, denn in dem Teil mit großem Widerstand entsteht ein Strom $i = \frac{2e}{2w} = \frac{e}{w}$ und in dem Teil mit kleinem Widerstand entsteht $i = \frac{e}{w}$, während in der Phase mit großem Widerstand die wirksame Spannung an den Enden $e_k = 2e - i \cdot 2w = e - i \cdot w$ beträgt, wird sie in der Phase mit kleinem Widerstand $e_k = e - i \cdot w$.

Eine selbsttätige Anlaufvorrichtung nach FISCHER-HINNEN zeigt Fig. 64. Diese besitzt gar keine beweglichen Teile mehr und besteht aus drei OHMSchen Widerständen, denen drei Eisenringe mit Wickelung von sehr kleinem Widerstande parallel geschaltet sind. Beim Anlaufen entsteht im Läufer ein Wechselstrom von hoher

Wechselzahl, weil dann der Gangunterschied (Schlüpfung) zwischen Läufer und Drehfeld groß ist. Alsdann ist der scheinbare Widerstand der drei umwickelten Eisenringe sehr groß, so daß der Strom keine zu hohen Werte erreichen kann. Je mehr die Umdrehungszahl des Läufers steigt, um so geringer wird die Wechselzahl des in ihm induzierten Stromes, so daß bei normalem Lauf, wo die Wechselzahl nur noch zwei oder drei in der Sekunde beträgt, der scheinbare Widerstand verschwindend klein geworden ist und

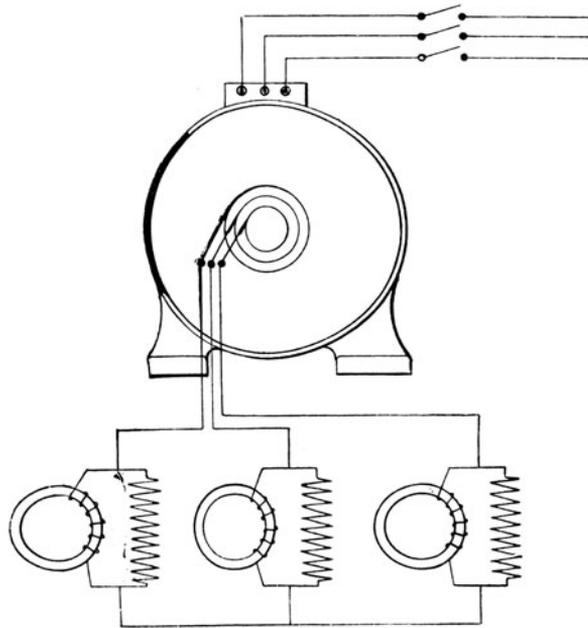


Fig 64.¹⁾ Selbsttätiges Anlassen von Drehfeldmotoren
nach FISCHER-HINNEN.

die OHMSchen Widerstände durch den kleinen Widerstand der Eisenwicklung fast kurz geschlossen sind. Nach FISCHER-HINNEN wird die beste Wirkung beim Anlaufen erzielt, wenn man $w = \omega \cdot L$ macht, wenn w der Widerstand der OHMSchen Widerstände ist, L der Selbstinduktionskoeffizient der Eisenspulen und $\omega = 2\pi \nu$, wobei ν die halbe Wechselzahl des Wechselstromes ist, der im Laufen beim Einschalten entsteht.

Eine der vorigen ähnliche Methode ist der Selbstanlasser von ZANI, dargestellt in Fig. 65. In den Läufer des Drehfeldmotors

¹⁾ Aus: Motoren für Gleich- und Drehstrom von HOBART, übersetzt von PUNGA. Berlin 1905, Julius Springer.

wird ein dreiteiliger Eisenkörper mit Spulen S eingebaut. Bei a und b liegen die Eisenteile in der Ruhe aufeinander und durch Blattfedern F werden sie zusammengehalten. Aus der Schaltung erkennt man, daß die drei Spulen S im Stromkreis der drei Läuferphasen I , II , III liegen. Beim Einschalten ist dann der scheinbare Widerstand der drei Spulen sehr hoch wegen der hohen Wechselzahl

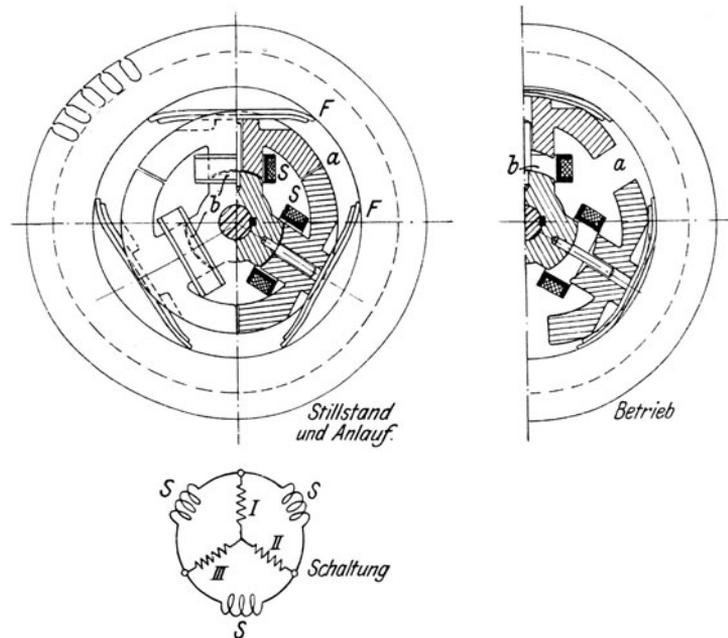


Fig. 65. Selbstanlasser von ZANI.

des Läuferstromes und des vollständig geschlossenen Eisenkreises für die Kraftlinien der Spulen S . Beginnt die Umdrehungszahl des Läufers zu steigen, so gehen die Eisenteile auseinander und es entstehen breite Luftspalte bei a und b , wodurch das Kraftlinienfeld der Spulen S sehr stark geschwächt wird. Da außerdem dann die Wechselzahl im Läuferstrom immer kleiner wird, so ist schließlich im Betrieb der scheinbare Widerstand der drei Spulen S verschwindend klein geworden und der Läufer fast vollkommen kurz geschlossen, weil der OHMSche Widerstand der drei Spulen nur sehr klein ist.

Abschnitt VII.

Regelung der Umlaufszahl bei Motoren.

Setzt man konstante Belastung, also konstant zu entwickelndes Drehmoment voraus, so hängt bei den Gleichstrommotoren die Umlaufszahl ab von der Feldstärke und der zugeführten Spannung. Der Motoranker muß eine elektromotorische Kraft entwickeln $E = e - J \cdot w$, wobei für den Nebenschlußmotor $J \cdot w = J_a \cdot w_a$ und für den Hauptstrommotor $J \cdot w = J(w_a + w_m)$ ist, wenn w_a der Ankerwiderstand, w_m der Magnetwiderstand ist und e die zugeführte Spannung bedeutet. Führt man dem Anker Spannung zu, dann braucht er nur ein entsprechend geringeres E zu entwickeln und kann langsamer laufen. Weil der Spannungsverlust $J \cdot w$ nur wenige Prozent beträgt, so kann man angenähert rechnen, daß die Umlaufszahl proportional der zugeführten Spannung ist. Wenn man z. B. dem Anker eines Nebenschlußmotors nicht die normale Spannung zuführt, sondern nur die halbe Spannung, wobei aber das Feld denselben Wert wie bei der normalen Spannung haben muß, dann wird er sich nur mit der halben Umlaufszahl drehen.

Beim Hauptstrommotor muß noch konstante Belastung vorausgesetzt werden, da dessen Umlaufszahl ja auch von der Belastung abhängt, dann ist das Drehmoment konstant und damit angenähert der Strom und das Magnetfeld. Folglich ist auch hier die Umlaufszahl angenähert proportional der dem Motor zugeführten Spannung. Zur Ausführung dieser Regelung der Umlaufszahl abwärts von der normalen kann man den Anlasser benutzen. Man braucht in Fig. 26 oder in Fig. 1 nur den Anlasserhebel nicht bis auf den letzten Kontakt zu drehen, dann wird ein dem vorgeschalteten Widerstand proportionaler Betrag $J \cdot W$ von der zugeführten Spannung für den nicht kurz geschlossenen Anlasser verbraucht und es gelangt

nur die Differenz $e - J \cdot W$ an den Anker. Diese Methode ist aber unzuweckmäßig, weil der Teil $J^2 \cdot W$ im Anlasser unnütz in Wärme umgesetzt wird, deshalb wendet man diese Art der Geschwindigkeitsregelung fast nur bei ganz kleinen Motoren an. Die Anlasser müssen natürlich in diesem Fall Widerstandsmaterial besitzen, welches dauernde Belastung durch den Strom aushalten kann und werden dadurch größer. Außerdem würde man bei der Schaltung nach Fig. 26 auch nicht ohne Funken ausschalten können (vergl. S. 27), sobald der Anlasser zum Regeln der Geschwindigkeit abwärts von der normalen benutzt wird, und man muß dann Hilfskontakte (vergl. Fig. 45 und 46) zum Funkenziehen haben.

Einige Ausführungen von Anlassern zum Geschwindigkeitsvermindern in der eben beschriebenen Weise, zeigen die Fig. 66

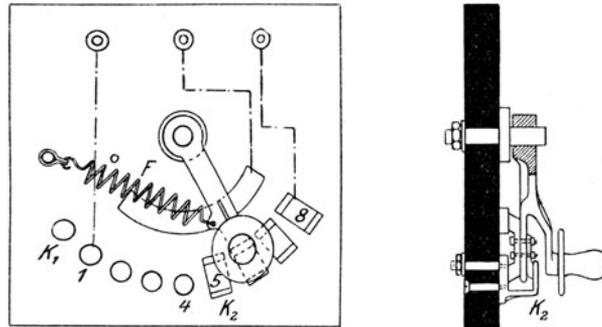


Fig. 66. Anlasser mit einigen Stufen zum Geschwindigkeitsregeln.

und 67. Die ersten Stufen des Anlassers in Fig. 66 zwischen den Kontakten 1—5 sind nur für vorübergehende Belastung eingerichtet. Damit die Anlaßkurbel nicht auf diesen Kontakten dauernd stehen kann, weil sonst die betreffenden Widerstandsstufen verbrennen würden, ist sie mit einer Feder F versehen. Die Kontakte 5—8 dagegen sind so ausgeführt, daß die Kontaktfeder große Reibung zwischen ihnen findet, dann kann die Feder F die Kurbel von diesen Kontakten nicht zurückziehen.

Dasselbe wie bei Fig. 66 erreicht man noch besser nach Fig. 67. Hier sind auch die Stufen zwischen 1—5 nur für das Anlassen bestimmt, während auf den Kontakten 5—8 die Geschwindigkeit des Motors geändert werden kann. Die Kurbel ist nach rückwärts mit einer Scheibe versehen, in welcher sich eine Anzahl Lücken c befinden. Dreht man die Kurbel von 1 bis zum Kontakt 4, dann greift

auf diesem Wege das Rädchen der Sperrklinke H noch nicht in eine der Vertiefungen c und die spiralförmige Feder F_2 , welche bei a an der Kurbel, bei b an dem festen Drehzapfen der Kurbel befestigt ist, dreht die Anlaßkurbel wieder zurück, sobald man sie auf einem dieser Kontakte dauernd stehen lassen will. Dagegen wird auf den Dauerkontakten 5—8 die Kurbel durch das Rädchen der Sperrklinke H gehalten, da dieses sich in die entsprechenden Vertiefungen c einlegt.

Durch eine kleine Änderung läßt sich der Anlasser in Fig. 67 in einen solchen mit selbsttätiger Nullstrom- und ebenso mit Überstromausschaltung verwandeln. Die

Schaltung erfolgt dabei nach Fig. 37. Der dort gezeichnete Magnet m_1 wirkt nicht auf die Kurbel, sondern zieht die Sperrklinke H in Fig. 68 an. Das

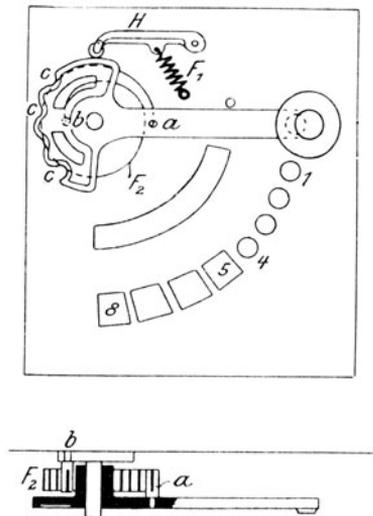
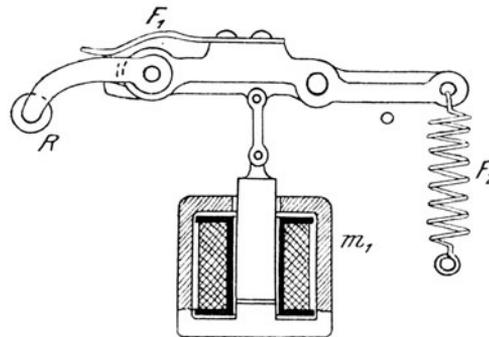


Fig. 67.



Anlasser wie Fig. 66 in anderer Art. Fig. 68. Nullstromausschaltung zu Fig. 67.

Rädchen R muß an einem besonderen Hebel mit Feder F_1 sitzen. Ist der Magnet m_1 ohne Strom, dann zieht die Feder F_2 den Hebel mit dem Rädchen so hoch, daß dieses nicht mehr zum Eingriff kommen kann und die Feder F_2 in Fig. 67 wird die Kurbel in allen Lagen ausschalten. Beim Anlassen des Motors wird der Magnet m_1 sofort erregt und sobald dann die Kurbel in Fig. 67 auf die Dauerkontakte 5—8 gedreht wird, kommt das Rädchen zum Eingriff in die Vertiefungen c .

Bei asynchronen Drehfeldmotoren läßt sich ebenso Geschwindigkeitsregelung unter der normalen dadurch erreichen, daß der jetzt ebenfalls für dauernde Belastung eingerichtete Anlasser im Läuferkreis (Fig. 29) nicht bis zum gezeichneten Kurzschluß gedreht

wird, so daß noch ein Teil vom Anlasser W in den Läuferkreis geschaltet ist. Aber auch hier ist diese Art Geschwindigkeitsregelung besonders bei größeren Leistungen unzweckmäßig, weil dann nur ein Teil der auf den Anker übertragenen Leistung sich in mechanische Form umsetzt und der Rest im vorgeschalteten Anlasser in unbenutzbare Wärme verwandelt wird.

Zweckmäßiger als die eben besprochenen Methoden zur Geschwindigkeitsänderung durch Vorschaltwiderstände im Ankerkreis ist die Geschwindigkeitserhöhung durch Feldschwächung, die aber nur bei Gleichstrom anwendbar ist, und die Umlaufzahl von der normalen ab aufwärts erhöht. Wie am Anfang dieses Abschnittes gezeigt wurde, muß der Anker eine nur wenig von der zugeführten Spannung verschiedene elektromotorische Kraft E entwickeln. Diese kann er bei starkem Magnetfeld mit geringerer Umlaufzahl entwickeln als bei schwachem Felde, folglich erhöht man durch Feldschwächung die Umlaufzahl. Die Feldschwächung kann erreicht werden durch Vermindern des Magnetstromes oder durch Änderung des Luftspaltes zwischen Anker und Magneten.

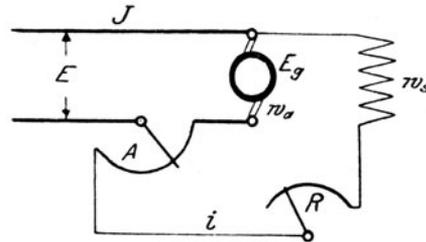


Fig. 69. Nebenschlußmotor mit Geschwindigkeitsregler R .

In Fig. 69 ist eine Geschwindigkeitsregelung durch Ändern des Magnetstromes für Nebenschlußmotore gezeichnet. A ist der Anlasser und R ein regelbarer Widerstand, der zum Ändern des Magnetstromes i dient. Wenn R kurz geschlossen ist, also ganz nach rechts steht in Fig. 69, dann hat i und damit das Magnetfeld den größten Wert und der Motor läuft mit normaler Umlaufzahl. Soll diese erhöht werden, so dreht man R nach links, wodurch i und das Feld entsprechend geschwächt werden, und der Motor schneller läuft. Der Regler R darf nicht ausschaltbar sein, weil sonst dem Motor das Feld genommen wird und seine Geschwindigkeit auf gefährliche Höhe anwachsen würde. Es ist zweckmäßig, wenn beim Anlassen des Nebenschlußmotors der Regler R kurz geschlossen ist, also rechts steht, damit der Motor beim Anlaufen ein starkes Feld hat, sonst muß der Anlaufstrom stärker werden, der Motor würde also auf dem ersten Kontakt des Anlassers noch nicht anlaufen, sondern erst später. Man kuppelt deshalb

zweckmäßig die Hebel, so daß beim Ausschalten des Anlассers der Regler immer auf Kurzschluß gestellt wird. Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. SCHUCKERT & Co., Nürnberg, hat zu diesem Zweck nach Fig. 70 auf dem Anlассer einen Schalter angebracht (D. R.-P.

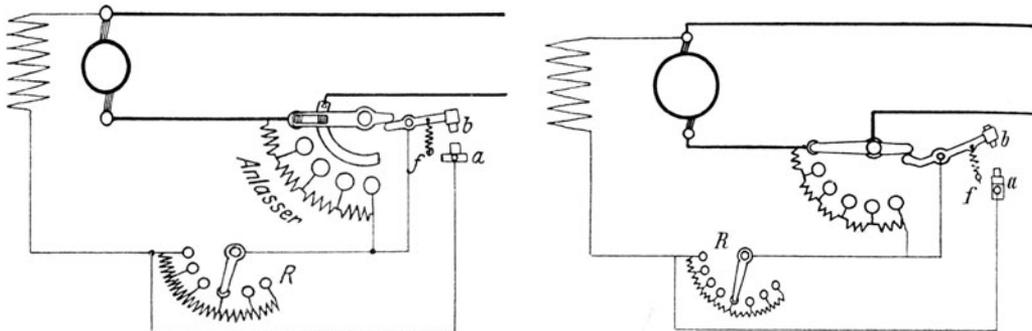


Fig. 70. Anlассer mit Kurzschließer für den Feldregler zum Anlauf mit starkem Feld.

vom 9. Aug. 1900), welcher mit den Kontakten ba durch die Feder f den Feldregler R kurz schließt, solange die Anlaßkurbel nicht auf der Dauerstellung steht.

Am besten erreicht man das Anlaufen mit starkem Felde, wenn man Anlассer und Geschwindigkeitsregler in einem Apparat vereinigt.

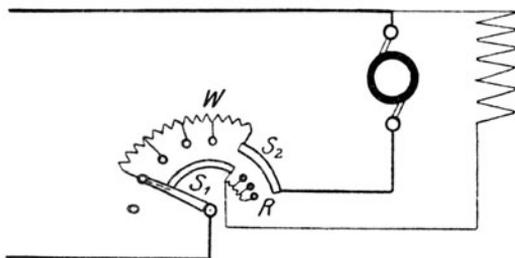


Fig. 71. Anlассer mit einem Hebel zum Anlassen und späteren Erhöhen der Umlaufzahl.

Fig. 71 zeigt eine zuerst von der Allgemeinen Elektrizitäts-gesellschaft ausgeführte Schaltung. W ist der Anlассer, dessen Kontakte durch die Schleiffeder der Kurbel mit der Schiene S_1 verbunden sind, welche außerdem mit dem ersten Anlaufkontakt verbunden

ist, damit man nach Fig. 26 induktionsfreie Abschaltung der Magnete erreicht. Beim Anlassen muß man die Kurbel so weit nach rechts drehen, bis sie am Anfang der Schiene S_2 steht, dann steht sie gleichzeitig noch auf dem Ende der Schiene S_1 , die Magnete sind ohne vorgeschalteten Widerstand voll erregt und der Anlассer W kurz geschlossen, so daß der Motor normal läuft. Dreht man die Kurbel noch weiter, so wird Widerstand R vor die Magnetwicklung

geschaltet und der Motor läuft schneller. Da aber die Regelung nur mit einer Kurbel erfolgt, so hat der Motor beim Anlaufen stets das normale und nicht das geschwächte Feld.

Dasselbe erreicht man auch mit 2 Hebeln nach Fig. 72, wovon der eine H_1 zum Anlassen, der zweite H_2 zum Geschwindigkeitsregeln dient. Der Hebel H_2 hat mit H_1 einen Drehpunkt, muß aber, weil dieser zur Stromzuführung für H_1 dient, mit isolierter aufgesetzter Kontaktfeder versehen sein, durch welche die Schiene S mit den Kontakten r verbunden wird. Beim Ausschalten nimmt der Hebel H_1 den Hebel H_2 mit bis auf r_1 , so daß beim Anlaufen das Feld stark ist.

Das Widerstandsmaterial dieser Geschwindigkeitsregler muß für dauernde Belastung eingerichtet sein, braucht aber nur den höchsten 5 % vom Gesamtstrom betragenden Magnetstrom auszuhalten und kann der Regler deshalb kleine Kontakte erhalten. Die übrige Ausführung dieser Regler lehnt sich an diejenige für Generatoren an und wird deshalb auf Abschnitt X mit verwiesen.

Die Geschwindigkeitsregelung durch Ändern des Luftspaltes zwischen Anker und Magneten, wodurch bei Vergrößerung des Luftspaltes Feldschwächung, also Erhöhung der Umlaufzahl und bei Verkleinern Feldverstärkung, also Verminderung der Umlaufzahl eintritt, läßt sich, wie aus nachstehenden Fig. 73 und 74 hervorgeht, nur für kleinere Motoren anwenden, da bei mehrpoligen Motoren die Einrichtungen zu verwickelt werden.

In Fig. 73 ist die Geschwindigkeitsregelung der Stow Mfg. Co. gezeichnet, wobei durch ein Handrad alle vier Pole bewegt werden können. In Fig. 74 wird die Verschiebung der Pole durch einen um das Joch gelegten Ring R bewirkt, bei dessen Aufwärtsdrehung am Handgriff die Pole sich dem Anker nähern, das Feld also stärker

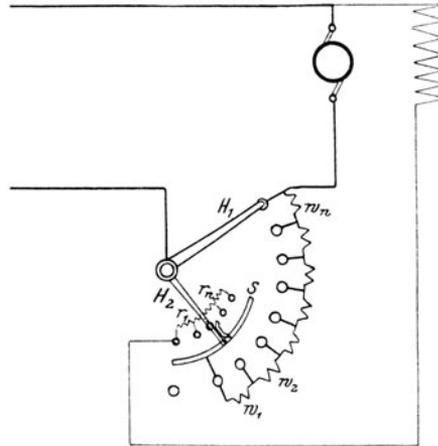


Fig. 72. Anlasser und Geschwindigkeitsregler auf einer Kontaktplatte.

wird, während bei Abwärtsdrehung die Pole sich vom Anker entfernen und die Feldschwächung den Motor schneller laufen macht.

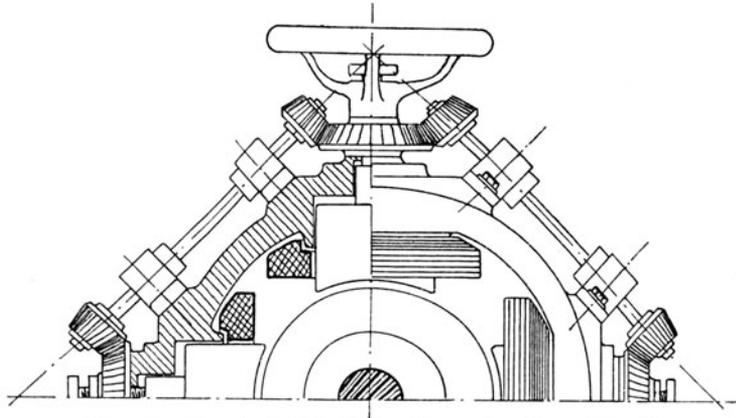


Fig. 73. Geschwindigkeitsregelung der Srow Mfg. Co.

Eine besondere Art der Geschwindigkeitsänderung läßt sich bei Eisenbahnen, Straßenbahnen und Automobilen ausführen, wenn dieselben, wie meistens der Fall ist, mehrere Motore haben.

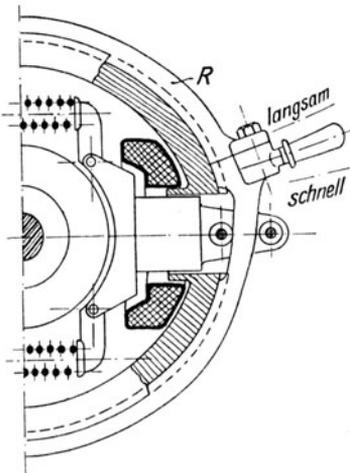


Fig. 74.

Geschwindigkeitsregelung nach
HUNDT (ETZ 1902, S. 235).

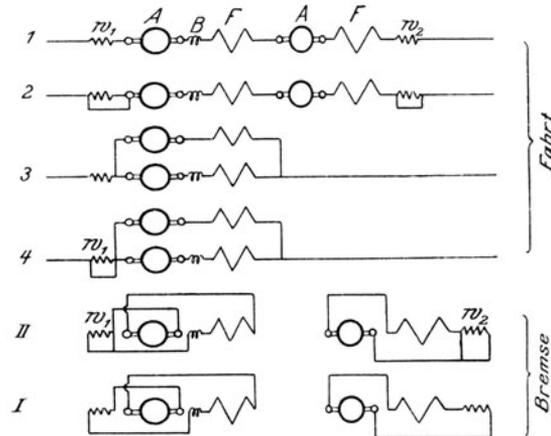


Fig. 75.

Schaltung bei Straßenbahnmotoren.

In Fig. 75 sind derartige Serien-Parallel-Schaltungen für zwei Motore gezeichnet. Beim Anfahren und langsamer Fahrt (2) sind die Motoren hintereinandergeschaltet, so daß jeder die Hälfte der zugeführten Spannung erhält und deshalb langsamer läuft als

bei schneller Fahrt (4), wo die Motoren beide parallel geschaltet sind, also auf jeden die volle Spannung wirkt. Die übrigen Schaltungen in Fig. 75 werden später noch erläutert werden. Ähnliche Schaltungen kann man bei Motoren mit 2 Kollektoren ausführen.

Dasselbe wie in Fig. 75 erreicht man bei Drehfeldmotoren durch die Kaskadenschaltung. Hierbei ist nach Fig. 76 der Läufer des ersten Motors mit dem Feld des zweiten Motors und dessen Läufer wieder mit dem Feld des nächsten verbunden. Der letzte Läufer ist kurz geschlossen. Es müssen sämtliche Motoren miteinander gekuppelt sein, was bei einer Lokomotive ja auch der Fall ist, damit die Geschwindigkeit bei allen dieselbe ist. Bei Motoren, welche alle gleich sind, ist die Umlaufzahl etwas kleiner (wegen der Läuferverluste bis zu 5 0/0) als $\frac{n}{x}$, wenn n die Synchron-

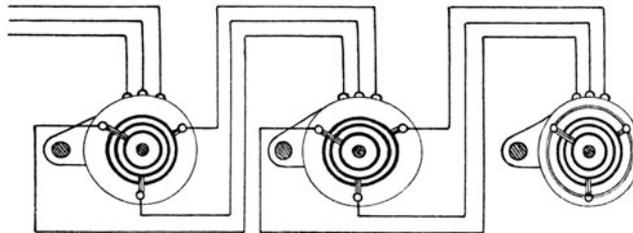


Fig. 76. Kaskadenschaltung bei Drehfeldmotoren.

geschwindigkeit, also $n = \frac{\nu \cdot 60}{p}$ ist, wobei ν die Wellenzahl des Stromes und p die Zahl der Polpaare bedeutet. Ist die Polzahl der Motoren verschieden, dann wird die Umlaufzahl des Systems gleich der Tourenzahl, welche ein Motor hätte von der Summe der Polzahlen. Sind z. B. ein 4poliger und ein 6poliger Motor in Kaskade geschaltet, so beträgt bei $\nu = 50$ die gemeinsame Umlaufzahl $n = \frac{50 \cdot 60}{4 + 6} = 600$. Man benutzt die Kaskadenschaltung bei Dreh-

strombahnen zum Anfahren und Geschwindigkeitsregeln ohne große Verluste. Bei größter Geschwindigkeit schaltet man alle Motoren parallel.

Geschwindigkeitsregelung durch Ändern des Magnetstromes bei Hauptstrommotoren läßt sich erreichen durch einen parallel zu der Magnetwicklung geschalteten Widerstand R nach

Fig. 77. Wird dieser eingeschaltet und nach links hin bewegt, so wird der Strom J , welcher durch den Anker fließt, sich verzweigen, weil ein Teil J_2 durch den Widerstand R abgeleitet wird, so daß ein geringerer Strom $J_1 = J - J_2$ durch die Magnetwicklung w_m fließt und das Feld schwächer wird, so daß der Motor schneller laufen muß. Wie in Fig. 77 gezeichnet ist, darf man den Regler R nicht kurz schließen können, es muß stets ein unausschaltbarer Widerstand w_x eingeschaltet bleiben, wenn die Kurbel auf der höchsten Geschwindigkeitsstufe steht, denn wenn die Magnetwicklung kurz geschlossen würde, verlöre der Motor sein Feld, wobei seine Geschwindigkeit gefährlich zunehmen würde.

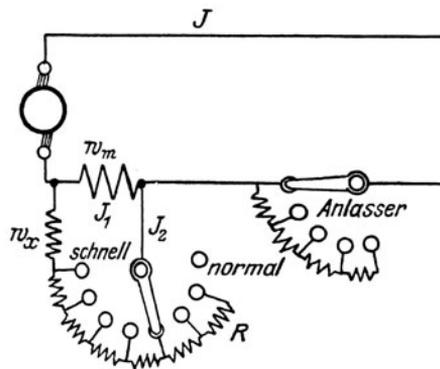


Fig. 77. Hauptstrommotor mit Geschwindigkeitsregler R .

Bei Hauptstrommotoren wird ein derartiger Geschwindigkeitsregler selten angewendet, höchstens bei Motoren zum Antrieb von Ventilatoren. In den anderen Fällen, wo der Hauptstrommotor verwendet wird, wie bei Hebezeugen und Bahnen, regelt man auch durch Parallelschaltung von Widerstand zu den Magneten, aber man benutzt dazu Schaltwalzen.

Eine besondere Methode zum Regeln der Geschwindigkeit ist die Verwendung mehrerer Spannungen. Sie ist in Mehrleiteranlagen möglich und würde für eine Dreileiteranlage mit 2×110 Volt derartig ausgeführt werden, daß die Magnetwicklung mit 220 Volt von den Außenleitern erregt ist und der Anker nach Fig. 78 zuerst mit 110 Volt angelassen wird, bei Stellung 1. Bei Stellung 2 ist sein Anlaßwiderstand kurz geschlossen. Dreht man weiter bis auf Stellung 3, so wird Widerstand vor die Magnete geschaltet, also die Umlaufszahl erhöht. Auf Stellung 4 sind die Magnete wieder voll erregt, also ein starkes Feld vorhanden und der Anker wird

eine so hohe elektromotorische Kraft entwickeln, weil er noch die hohe Geschwindigkeit hat, daß er auf Stellung 5 ohne weiteres an 220 Volt gelegt werden kann. Von Stellung 5—6 läßt sich dann die Geschwindigkeit durch abermalige Feldschwächung noch weiter erhöhen. Man führt für Fabriken solche Anlagen aus, bei denen die Teilspannungen durch Ausgleichmaschinen hervorgerufen werden, wie in Mehrleiteranlagen üblich.

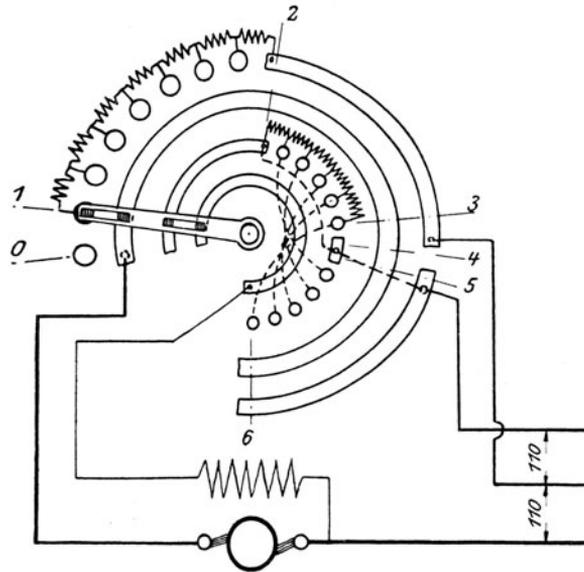


Fig. 78. Geschwindigkeitsregelung mit verschiedenen Spannungen.

Für solche Motoren, deren Geschwindigkeit in sehr weiten Grenzen geändert werden muß, wie es heute beim Antrieb von Werkzeugmaschinen häufig vorkommt, wendet man stets Wendepole und Ausgleichwickelungen an. Man kann dann ohne Schwierigkeit einfach durch Feldschwächung Geschwindigkeitsänderungen im Verhältnis 1 : 5 vornehmen mit einem Regler nach Fig. 69.

Asynchrone Drehfeldmotoren können nur durch Änderung der Polzahl in bezug auf die Geschwindigkeit geregelt werden. Jedoch ist die Methode umständlich und erfordert komplizierte Umschalter, außerdem kann man nur ruckweise regeln, den herstellbaren Polzahlen entsprechend und kann keine Zwischenstufen anbringen.

Abschnitt VIII.

Bremmung von Motoren durch Anlasser und Widerstände.

In manchen Betrieben kommt es vor, daß der Motor nach dem Ausschalten sehr schnell zum Stillstand kommen muß, wie beim Antrieb von Druckerpressen.

Man versieht dann den Anlasser mit einer Bremsschaltung, deren Wirkungsweise darin besteht, daß die in den Schwungmassen des nachlaufenden Motors aufgespeicherte Arbeit in Stromwärme umgesetzt wird, indem man den Motor auf Widerstände arbeiten läßt. Je kleiner diese Widerstände sind, um so mehr Strom erzeugt der nachlaufende Anker und um so stärker ist die Bremswirkung. Auch bei Hebezeugen und Bahnen werden solche Bremswiderstände benutzt.

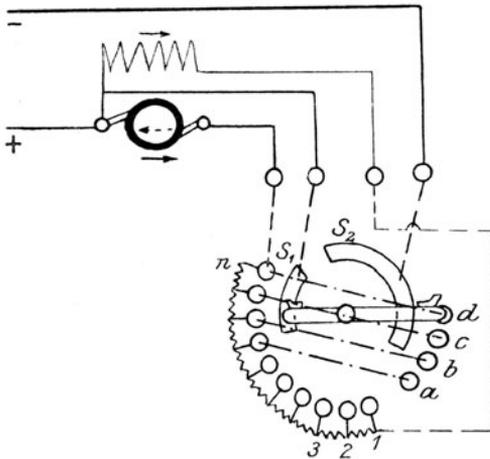


Fig. 79.

Nebenschlußanlasser mit Bremsschaltung.

Einen Anlasser mit Bremsschaltung für Nebenschlußmotoren zeigt Fig. 79. In der gezeichneten Stellung steht die Anlaßkurbel in der stärksten Bremslage, weil der Anker vollkommen kurzgeschlossen ist. Beim Anlassen dreht man die Kurbel über die Bremskontakte *d*, *c*, *b*, *a* hinweg nach den Anlaßkontakten *1*, *2*, *3* bis auf den Dauerkontakt *n*, wo der Motor voll eingeschaltet ist. Beim Stillsetzen schaltet man schnell zurück, damit die volle elektro-

motorische Kraft des Ankers (in Fig. 79 der punktierte Pfeil im Anker) wirken kann und ein möglichst starker Bremsstrom entsteht. Die Kontakte *a*, *b* und *c* sind nur zum Übergang vor den eigentlichen Bremskontakt *d* geschaltet, damit der Stoß, der durch plötzliches Kurzschließen des Ankers entsteht, gemildert wird.

Die schon in Fig. 57 erklärten Variatoren von KALLMANN als Bremswiderstände zeigt die Fig. 80. Schaltet man über die Ausschaltstellung hinaus, bis die Kurbel 12 auf den Kontakten 13, 14 steht, so sind die beiden Variatoren 9 und 10 und außerdem das Stück 11 des Anlaßwiderstandes in den Stromkreis des Ankers geschaltet. Es sollen diese Variatoren, weil sie sich sofort erhitzen und ihren Widerstand erhöhen, ohne großen Stoß bremsen. Außerdem ist die Bremswirkung unabhängig von der Geschwindigkeit, mit der die Kurbel des Anlассers bewegt wird, während sonst bei mehreren Bremsstufen, wenn die Kurbel zu schnell gedreht wird, sehr starke Stöße auftreten können, wenn der vorgeschaltete Bremswiderstand zu klein ist im Vergleich zu der noch hohen Umlaufzahl des ausgeschalteten Motors.

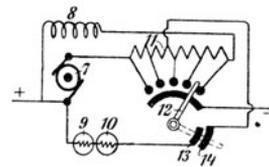


Fig. 80.¹⁾
Bremsung mit Variatoren
nach KALLMANN.

Auch bei Hebezeugen und Bahnen müssen Bremswiderstände benutzt werden. In Fig. 75 sind zu diesem Zweck beide Motoren in Stellung *I* mit ihren Anlaßwiderständen hintereinander geschaltet und arbeiten so als Generatoren, denen die mechanische Leistung durch den bergabwärts fahrenden Wagen oder bei Hebezeugen durch die sinkende Last zugeführt wird. Hierbei ist dann die Bremswirkung nicht vorübergehend, wie in den beiden vorigen Fällen, wo nur der nachlaufende Anker schnell stillgesetzt werden soll, sondern so lange anhaltend, wie der Wagen bergab fährt oder die Last sinkt. Für Hebezeuge ist die Bremsschaltung in Fig. 93 bei *V* und *K* gezeichnet. In Stellung *V* ist der Anlaßwiderstand, der meist dazu benutzt wird, in den Stromkreis des Motors geschaltet und in Stellung *K* ist dieser kurzgeschlossen, so daß dann die Bremswirkung sehr stark ist. Über den Zweck dieser Schaltung wird verwiesen auf S. 79 und Fig 93. Bei allen Hauptstrommotoren muß man, wie aus Schaltung Fig. 75 und 93 hervorgeht, zum

¹⁾ Entnommen aus ETZ 1907, S. 947. Dr. M. KALLMANN.

Bremsen die Verbindung zwischen Anker und Magneten vertauschen, weil bei diesen Motoren die beim Bremsen wirkende elektromotorische Kraft des Ankers, die immer der zugeführten Spannung entgegengesetzt gerichtet ist, in demselben Sinne Strom durch die Magnete treiben muß, als wie vorher die zugeführte Klemmenspannung. Bei Nebenschlußmotoren ist diese Umschaltung nicht nötig, weil, wie schon Fig. 26 zeigt, die elektromotorische Kraft in dem gleichen Sinne Strom durch die Magnete treibt, wie vorher die Klemmenspannung.

Auch bei Drehfeldmotoren läßt sich Bremsschaltung ausführen. Weil die Motoren, sobald sie mit größerer Umlaufszahl angetrieben werden als die synchrone Umlaufszahl beträgt, als Generatoren arbeiten und Strom ins Netz liefern. Bei Bahnen sind zum Talfahren derartige Bremsen auch schon versucht, jedoch läßt sich dabei die Geschwindigkeit nicht ändern und deshalb sind dort verwickeltere Bremsschaltungen in Gebrauch, wobei auch Kaskadenschaltung (Fig. 76) benutzt werden kann. Man kann, um die Umlaufszahl des Drehfeldmotors beim Bremsen geringer zu erhalten, dem Feld Strom von geringerer Wellenzahl zuführen, also die synchrone Geschwindigkeit herabsetzen, dann läuft der noch mit hoher Umlaufszahl nachlaufende Motor übersynchron und wirkt als Generator. Aber alle die Methoden für Drehfeldmotoren sind ziemlich umständlich. Man hat bei der Jungfraubahn sogar zu folgendem Mittel gegriffen: Das Feld des Motors wird mit Gleichstrom erregt, der aus einer mitgeführten Akkumulatorenbatterie entnommen wird. In diesem Felde dreht sich der Läufer, der dann Bremswiderstände in seinen Stromkreis erhält oder bei starker Bremsung kurzgeschlossen ist.

Weiteres über Bremsung folgt noch mit im nächsten Abschnitt.

Abschnitt IX. Schaltwalzen.

Für schwerere Betriebe, wie Hebezeuge und Bahnen, wo namentlich auch häufig ein- und ausgeschaltet wird, lassen sich die

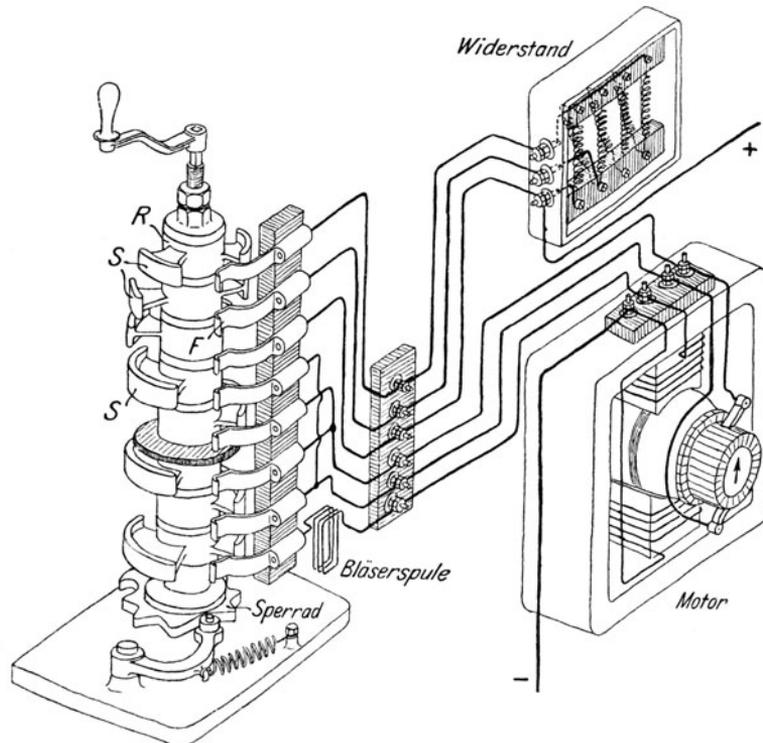


Fig. 81. Schaltwalze.

einfachen Anlasser nicht mehr verwenden, weil ihre Kontakteinrichtungen nicht widerstandsfähig genug sind. Man wendet dann Schaltwalzen an. Die bildliche Darstellung einer Schaltwalze zeigt Fig. 81.

Auf einer Welle, die durch eine Kurbel gedreht wird, sitzen eine Anzahl Ringe R mit besonderen Schleifflächen S . Wird die Welle nach links oder rechts aus der gezeichneten ausgeschalteten Stellung herausgedreht, so berühren mehr oder weniger Kontaktfinger F je nach der Stellung der Welle die entsprechenden Schleifflächen der Ringe.

Die Walze mit ihren Ringen dient nur zur Herstellung der nötigen Schaltungen. Der Widerstand zum Anlassen und meist

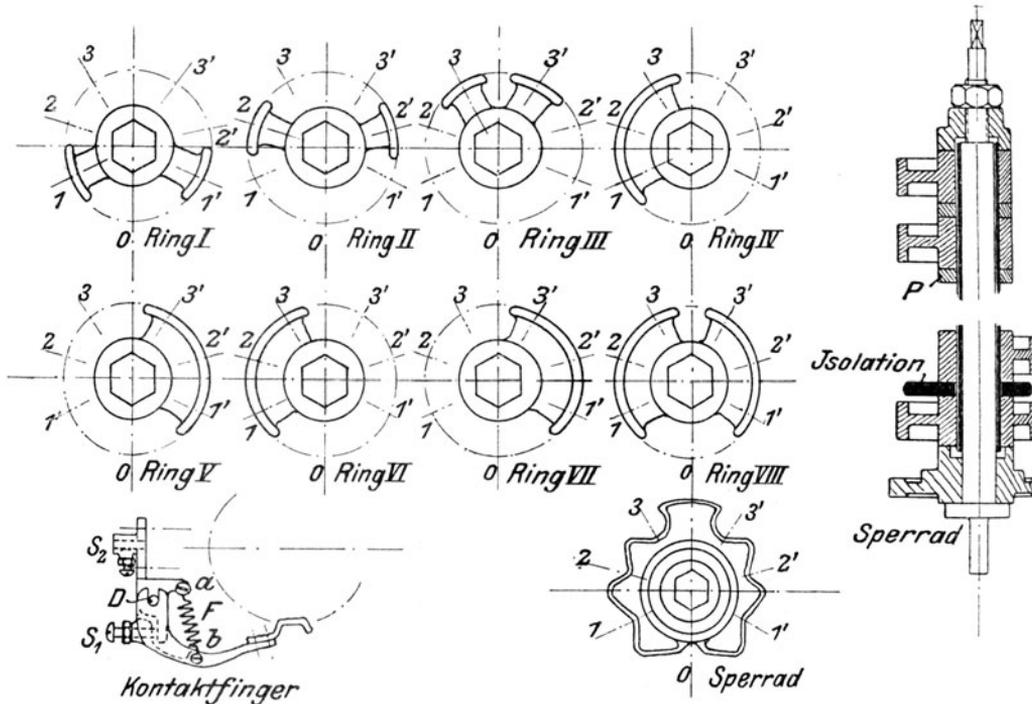


Fig. 82. Einzelheiten zur Schaltwalze nach Fig. 81.

auch zum Bremsen ist davon getrennt. Weil die Walze immer in einem geschlossenen Gehäuse steht, muß, damit keine Zwischenstellungen der Finger möglich sind, wobei diese nicht mit voller Fläche aufliegen und deshalb heiß werden müßten, ein Sperrad angebracht sein, mit Klinke und starker Feder. Außerdem besitzt jede Schaltwalze eine Bläerspule zum Ausblasen der beim Abgleiten der Finger von den Gleitflächen S entstehenden Funken.

Der Zusammenbau einer solchen Walze und die Form der Ringe zeigt Fig. 82. Es sind im gezeichneten Fall 8 Ringe vorhanden, deren Zahl selbstverständlich je nach den mit der Walze

beabsichtigten Schaltungen verschieden sein kann. Das Sperrrad hat nach links und rechts je drei Lücken. Über die Stellung 3 oder 3' hinaus kann es nicht gedreht werden. Bei 0 ist ausgeschaltet. Der Ring I hat auf Stellung 1 und 1' Schleiffläche, der Ring II bei 2 und 2' usw. wie Fig. 82 zeigt. Alle Ringe werden auf die sechskantige Welle aufgesetzt, welche mit Isolationsmaterial umpreßt ist. Die einzelnen Ringe sind in Gruppen metallisch miteinander verbunden, durch zwischengelegte Metallplatten *P*. Die einzelnen Gruppen der Ringe müssen aber voneinander isoliert sein, wie in Fig. 83 gezeigt ist, dies geschieht nach Fig. 82 dadurch, daß man an der betreffenden Stelle eine Isolations Scheibe an Stelle der Metallplatte zwischenlegt.

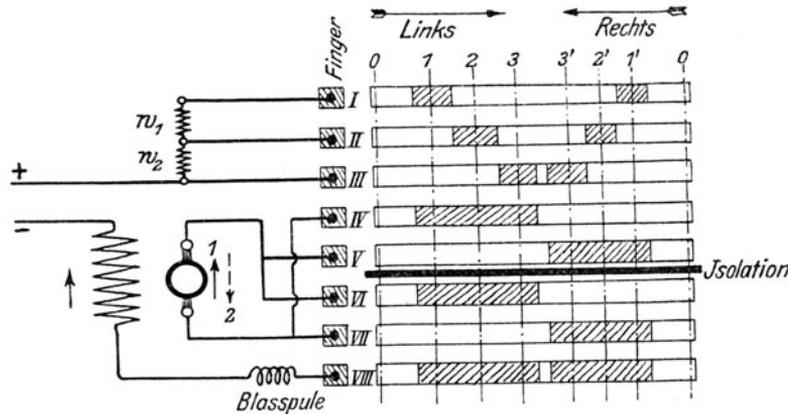


Fig. 83. Stromlauf zur Schaltwalze nach Fig. 81.

Denkt man sich die Walze aufgeschnitten und die Schleifflächen in eine Ebene gezeichnet, so erhält man Fig. 83, welche den Ringen in Fig. 82 entspricht, die schraffierten Flächen sind die Schleifflächen. Dreht man die Walze so, daß alle Finger auf der Linie 1 stehen, so liegen die Finger I, IV, VI und VIII auf Schleifflächen und es fließt der Strom in folgender Weise: +, w_2 , w_1 , Finger I, Ring I, Ring IV, Finger IV, Anker (Richtung 1), Finger VI, Ring VI, Ring VIII, Finger VIII, Blasspule, Magnete, —. Vor den Anker ist also der Widerstand $w_2 + w_1$ vorgeschaltet zum Anlassen. Auf Stellung 2 liegen die Finger II, IV, VI, VIII auf; dann ist nur noch w_2 vor den Anker geschaltet und auf Stellung 3 liegen die Finger III, IV, VI, VIII auf, so daß der Motor die volle Spannung erhält. Weiter läßt sich jetzt die Walze nicht drehen, wegen der

Form des Sperrades. Man muß zurückdrehen und durch O in der umgekehrten Weise einschalten. Dabei liegen die Finger zuerst auf $1'$, und zwar liegen auf $I, V, VII, VIII$. Verfolgt man den Stromlauf, so ist jetzt wieder der gesamte Anlasser $w_2 + w_1$ vor den Anker geschaltet, durch diesen fließt aber der Strom in der Richtung 2 , während er in den Magneten noch dieselbe Richtung hat wie vorher. Folglich ist die Umlaufsrichtung des Ankers entgegengesetzt. Auch auf $2'$ ist dann nur noch w_2 vor den Anker geschaltet und auf $3'$ der Anker an die volle Spannung gelegt. Zwischen Ring V und VI muß Isolation liegen, während die sämtlichen Ringe $I-V$ und wieder $VI-VIII$ verbunden sind.

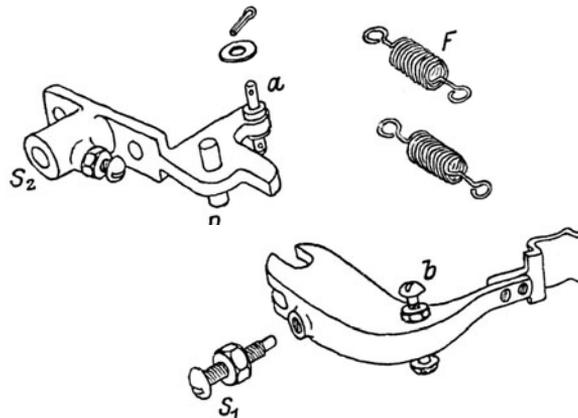


Fig. 84. Kontaktfinger in seinen Teilen.

Es ist in Fig. 83 nur ein zweistufiger Widerstand vor den Anker geschaltet, um die Fig. 82 und 81 nicht zu unübersichtlich zu machen, denn je mehr Stufen vorhanden sind, um so mehr Ringe sind nötig. Man muß in Wirklichkeit wenigstens 3—4 Stufen wählen, aber im Vergleich zu den Anlassern besitzen die Motoren, die man mit Schaltwalzen anläßt, gewöhnlich sehr wenig Widerstandsstufen.

Der in Fig. 82 schon gezeichnete Kontaktfinger ist in Fig. 84 noch einmal in seinen einzelnen Teilen gezeichnet. In der Bohrung S_2 wird die Leitung befestigt. Die Schraube S_1 dient als Anschlag, damit die Federn F den Finger, wenn er nicht aufliegt, nicht zu nahe an die Welle hinziehen. Diese Finger müssen immer leicht auswechselbar sein, was in Fig. 84 dadurch möglich wird, daß man den Finger so weit herausdreht aus der Walze, daß die Federn über den Drehpunkt D hinausgedreht sind, dann liegt D auf der anderen

Seite der Verbindungslinie zwischen a und b und die Federn halten den Finger in dieser Lage jetzt fest. Man kann dann leicht die Schrauben b lösen und ein neues Fingerstück einsetzen.

Der Einbau der Schaltwalze geschieht in ein Gehäuse aus Gußeisen nach Fig. 85. Dasselbst ist auch die Einrichtung des Funkenbläfers zu erkennen. Die Spule B sitzt auf einem Eisenkern M , der gleich an die Rückwand angegossen ist und auf den nach dem Aufschieben der Spule ein aufklappbares Gußstück mit Lappen A als Polfortsatz aufgeschraubt wird, welches noch einmal genauer in Fig. 86 gezeichnet ist. Die Lappen desselben stehen dicht an den Stellen, wo beim Abgleiten der Schleifflächen von den Fingern die Funken entstehen und wirken durch ihren Magnetismus ausblasend auf die Funken.

Bei sehr starken Strömen genügt zuweilen die Fläche nicht, welche man dem Strom zwischen Finger und Schleiffläche geben kann. Dann führt man die Schaltwalzen als Daumenwalze aus nach Fig. 87. Auf einer Welle sitzen isoliert gegeneinander eine Anzahl besonders geformter Räder, durch deren Drehung die Hebelschalter S ein- und ausgeschaltet werden. Man kann hierbei die Schalter mit Momentausschaltung

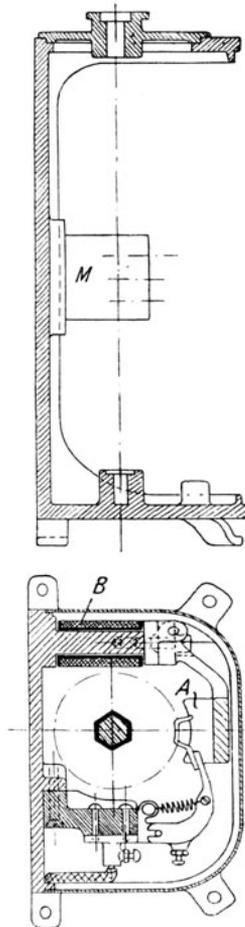


Fig. 85. Gehäuse für Schaltwalzen.

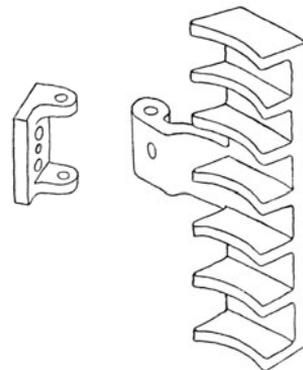


Fig. 86. Polfortsatz für Funkenbläser.

(vergl. Fig. 4) ausführen und außerdem noch Funkenbläser anwenden.

Baut man die Walze nach Fig. 82 aus einzelnen Ringen auf, so wird sie verhältnismäßig lang. Mitunter ist diese Länge unangenehm. Etwas kürzer wird die Walze, wenn man nach Fig. 88 die Kontaktstücke aufschraubt, auf eine Walze aus Holz, Ambroin, Stabilit oder einem anderen geeigneten Isoliermaterial. Man spart

nach Fig. 89 zwei Finger. Gewöhnlich ist aber die Walze dafür

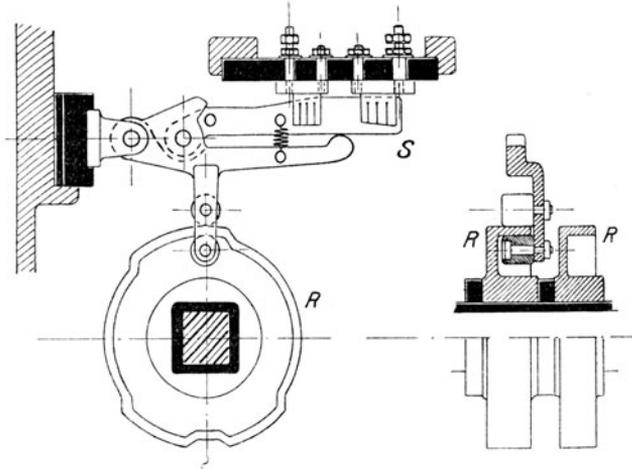


Fig. 87. Daumenwalze mit Momentschaltern für starke Ströme.

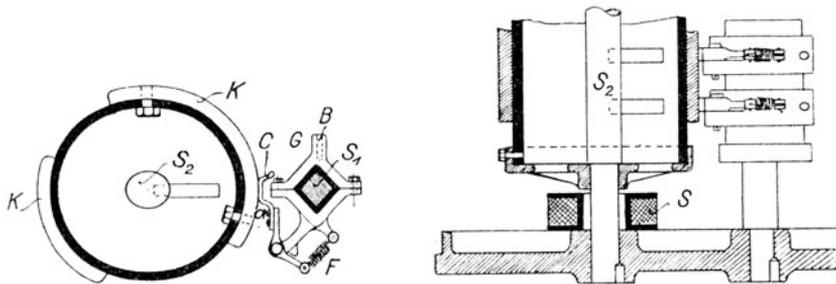


Fig. 88. Schaltwalze mit Kontaktstücken auf Isoliermaterial.

breiter, weil die Walze meist hohl sein muß, um im Inneren die

Verbindungen zwischen den Kontakten anbringen zu können. In Fig. 88 ist eine andere Form von Funkenbläser ausgeführt. Die Blasspule ist mit S bezeichnet und magnetisiert die stillstehende Welle, welche Fortsätze

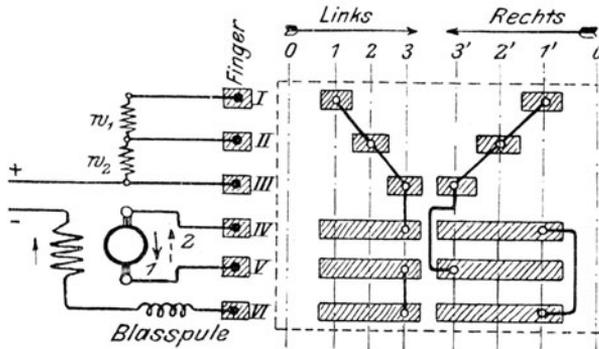


Fig. 89. Stromlauf zur Schaltwalze nach Fig. 88.

S_2 besitzt, durch welche die Kraftlinien herübergeleitet werden

nach der Eisenstange S_1 , auf welcher mit Rotgußschellen G die Finger befestigt sind. Die Stange S_1 muß isoliert sein. C sind die Schleifflächen der Finger, welche auf den Kontaktstücken K schleifen.

Eine noch bessere Form zur Verkürzung der Walze zeigt Fig. 90. Es ist mit derselben die gleiche Schaltung möglich, wie bei den Walzen nach Fig. 89 und 83. An der Walze aus Isolationsmaterial sind ähnlich wie vorhin die Kontaktflächen angeschraubt, sie dienen nur zum Umschalten. Das Anlassen geschieht durch den Wanderkontakt W , der auf den Kohlen K schleift, wie aus der Schaltung Fig. 91 zu erkennen ist.

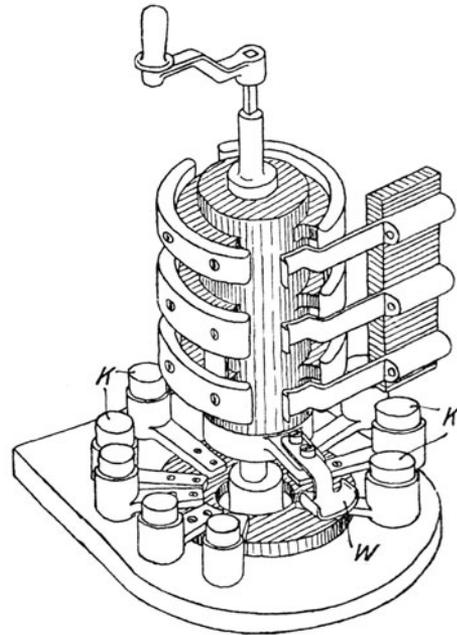


Fig. 90. Schaltwalze mit Wanderkontakt.

Die bisher gezeigten Walzen waren, wie aus dem Stromlauf hervorging, nur einfache Wendeschaltwalzen, mit denen die Drehrichtung des Motors umgekehrt werden konnte. Gewöhnlich sind

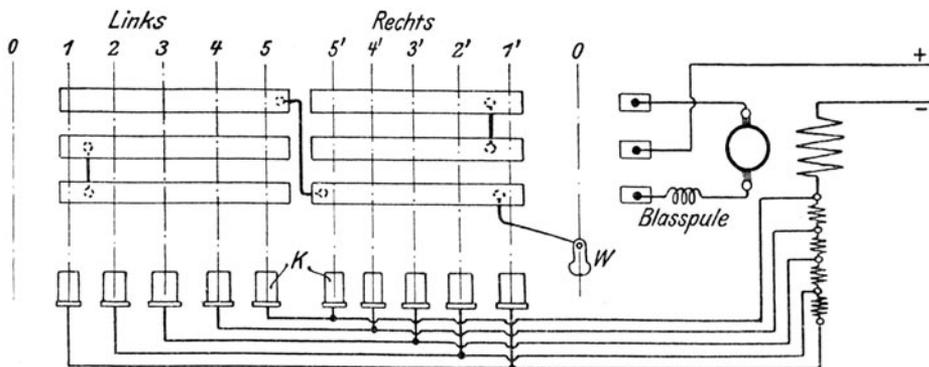


Fig. 91. Stromlauf zur Schaltwalze nach Fig. 90.

aber mit den Schaltwalzen viel mehr Schaltungen möglich, wie die folgenden Fälle zeigen.

In Fig. 92 ist der Stromlauf einer Hubschaltwalze gezeichnet. Dieselbe entspricht im Aufbau ihrer Walze der Methode nach Fig. 81 und 82 und besteht aus drei Gruppen von Ringen, die gegenseitig isoliert sind, wie die starken Linien zwischen VII, VIII und XII, XIII andeuten. Auf 0 ist ausgeschaltet. Dreht man die Walze mit der Stellung 1 unter die Kontaktfinger I, II—XIV, so liegen folgende Finger auf: II, VI, VIII, XII, XIII und XIV. Der Stromlauf ist folgender: +, Magnet *F*, Blasspule *B*, Anlaß-

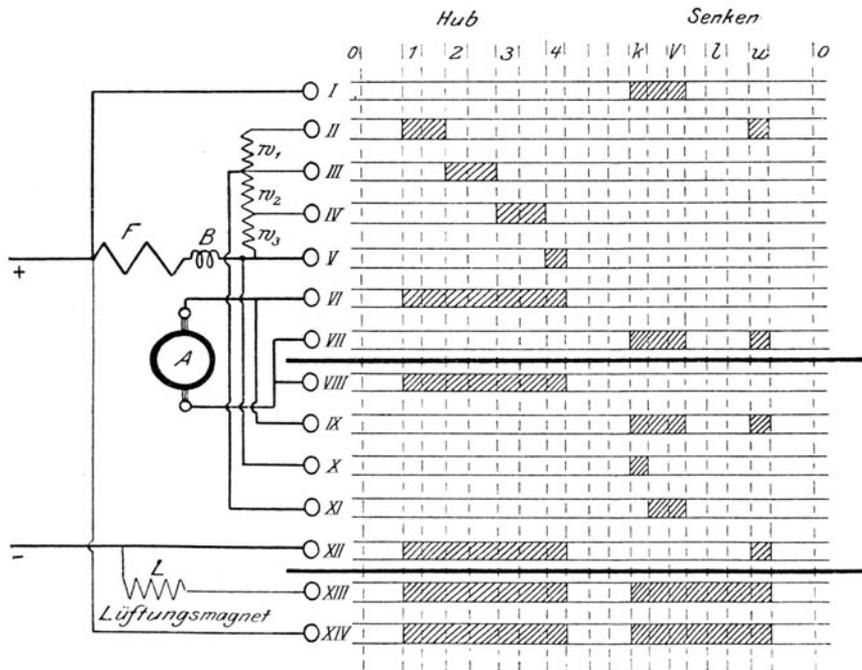


Fig. 92. Hubschaltwalze.

stufen w_3 , w_2 , w_1 , Finger II, Ring II, Ring VI, Anker, Finger VIII, Ring VIII, Ring XII, —; außerdem fließt von + aus direkt ein Zweigstrom nach Finger XIV, Ring XIV, Ring XIII, Finger XIII, durch den Lüftungsmagnet nach —. Dieser Lüftungsmagnet hebt die Bremse, welche bei Stillstand des Motors die Seiltrommel des Hebezeuges festbremst. Sobald der Motor läuft, muß diese Bremse gelüftet sein, deshalb ist der Lüftungsmagnet auf sämtlichen Stellungen der Schaltwalze eingeschaltet, mit Ausnahme auf der Nullstellung. Auf den Stellungen 1—4 hebt der Motor die Last, er wird dabei wie gewöhnlich angelassen, durch Abschalten der Stufen w_1 , w_2 , w_3 ,

bis er auf Stellung 4 die volle Spannung bekommt. Auf den Stellungen u , l , V , k erfolgt das Senken der Last. Ist die Last sehr leicht, oder der Haken leer, dann schaltet man auf die Stellung u . Hier läuft der Motor mit sämtlichem Anlaßwiderstand vorgeschaltet, aber umgekehrt wie beim Heben, weil die Stromrichtung im Anker umgekehrt ist. Hängt eine etwas schwerere Last am Haken, so daß sie die Reibungswiderstände überwindet und von selbst nach unten sinkt, dann schaltet man auf Stellung l ; dabei ist der Motor überhaupt nicht mit der Schaltwalze verbunden. Er dreht sich nur leer, weil er durch die sinkende Last gezogen wird; nur die Bremse ist auf dieser Stellung auch gelüftet. Ist die Last so schwer, daß sie beschleunigt abwärts sinken würde, dann muß der Motor gebremst werden. Dies erreicht man auf den Stellungen V und k . Man läßt auf Stellung V den Motor auf einen Teil seines Anlaßwiderstandes ($w_2 + w_3$) als Generator, angetrieben durch die sinkende Last, arbeiten und setzt dadurch die Bewegungsenergie der herabsinkenden Last in Stromwärme $J^2 \cdot w$ um. In der Stellung k ist der Motor ohne Widerstand kurz geschlossen. In diesem Zustand verzehrt ein Hauptstromgenerator bekanntlich die größte Arbeit, dies ist also die Stellung für die schwerste Last beim Senken. Um sich mit dem Bremsen noch besser an verschieden schwere Lasten anpassen zu können, kann man zwischen V und k noch einige Stellungen einschalten, man verlängert aber dadurch die Walze. Zu bemerken ist noch, daß bei den Bremsstellungen V und k , die dann wirksame elektromotorische Kraft des Ankers, welche der auf Stellung u zugeführten Spannung entgegengesetzt ist, durch die Magnetwicklung einen Strom von derselben Richtung hindurchsenden muß, wie die zugeführte Spannung auf der Stellung u . Da man als Hubmotoren in Gleichstromanlagen immer Hauptstrommotoren verwendet, weil diese ihre Umlaufszahl nach der Belastung einrichten, so muß beim Bremsen die Verbindung zwischen Anker und Magnetwicklung umgeschaltet werden, damit die Stromrichtung in den Schenkeln dieselbe bleibt.

In Fig. 93 sind die nach Fig. 92 ausführbaren Schaltungen einzeln gezeichnet. Man erkennt daraus, daß die Stromrichtung in der Magnetwicklung F nie umgeschaltet wird. Bei Stellung u wird der Anker umgeschaltet, die zugeführte Spannung hat die Richtung des ausgezogenen Pfeiles, die elektromotorische Kraft des Ankers die punktierte Richtung. In den Stellungen V und k wirkt diese punktierte elektromotorische Kraft, deshalb muß also die Ver-

bindung zwischen Anker und Magnetwicklung wieder so hergestellt werden als in 1—4.

In Fig. 94 ist eine Schaltwalze für 2 Motoren gezeichnet, mit der die schon früher in Fig. 75 gegebenen Schaltungen ausgeführt werden können, welche man bei Straßenbahnen oder Elektromobilen anwendet. Auf der ersten Fahrstellung 1 (Fig. 75) sind die Motoren *A* mit ihren Feldwickelungen *F* und den Widerständen w_1 , w_2 hintereinandergeschaltet; auf Stellung 2 sind die Widerstände kurz geschlossen. Auf Stellung 3 sind die beiden Motoren parallel mit vor-

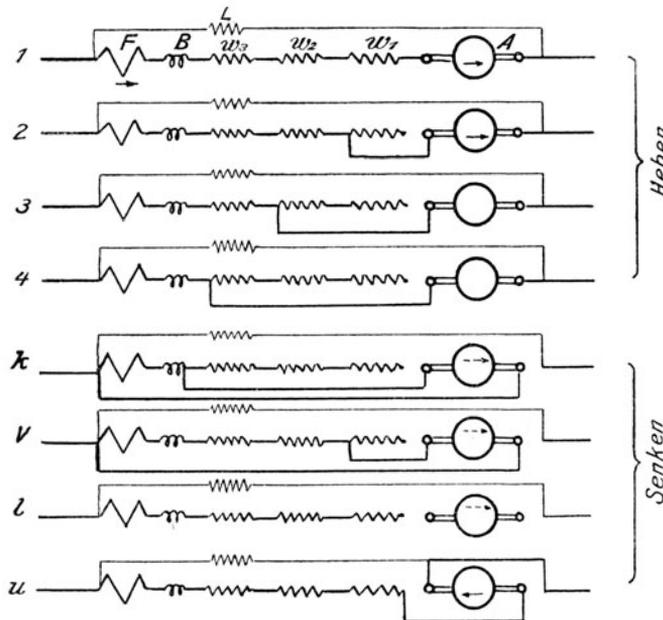


Fig. 93. Mögliche Schaltungen mit der Hubschaltwalze nach Fig. 92.

geschaltetem Widerstand w_1 ; auf Stellung 4 ist w_1 kurz geschlossen, also die schnellste Fahrstellung eingeschaltet. Will man bremsen, dann muß man die Walze zurückdrehen, von 4 durch 3, 2, 1, 0 nach I oder II. Bei Stellung I arbeitet jeder Motor mit vertauschter Verbindung zwischen Anker und Schenkeln auf den Widerstand w_1 oder w_2 , auf Stellung II sind die Motoren kurz geschlossen.

Mit dem Schalter in Fig. 94 lassen sich alle diese Schaltungen ausführen durch Drehung der großen Schaltwalze I. Damit man auch rückwärts fahren kann, ist die Walze II vorhanden. Man könnte natürlich beide Walzen vereinigen, dann würde aber der

Apparat sehr lang werden und es ließen sich auch die Bewegungen für die verschiedenen Fahrstellungen nicht so einfach ausführen. Man kann nämlich die Bewegung des Schalthebels sympathisch machen, d. h. der Wagen fährt in der Richtung, in welcher man den Hebel verschiebt, wenn man einen Hebel nach Fig. 95 verwendet und die Walze wagerecht legt, was bei einem Automobil gewöhnlich geschieht. Schiebt man den Hebel vorwärts, dann fährt der Wagen vorwärts, zieht man zurück durch die Nulllage nach *I* oder *II*, dann

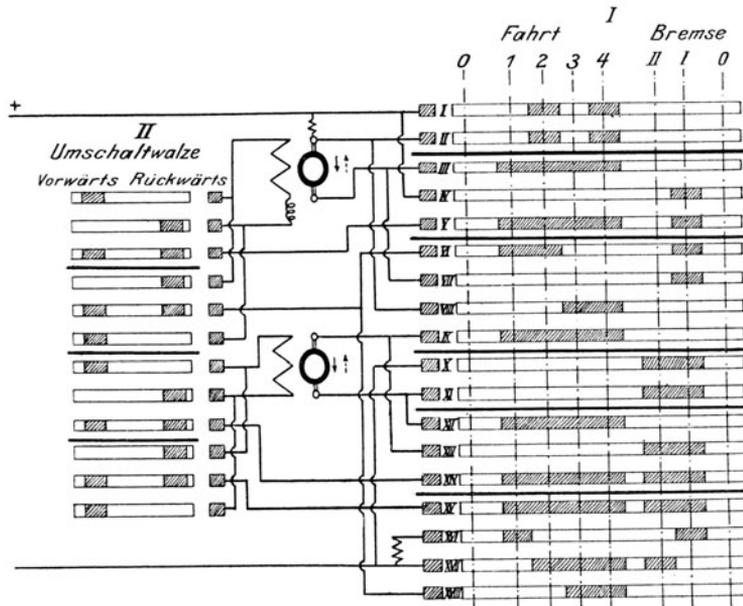


Fig. 94. Schaltwalze zu 2 Motoren für Serienparallelschaltung mit Umschalten und Bremsen (vergl. Fig. 75).

wird gebremst. Um von der einen Fahrtrichtung in die entgegengesetzte überzugehen, muß man immer die Fahrwalze *I* ausschalten und die Drehung der Walze *II* muß unmöglich gemacht sein, wenn die Fahrwalze eingeschaltet ist. Dies ist ebenfalls in Fig. 95 ausgeführt. Der Drehpunkt der Fahrwalze *I* ist *a*, derjenige der Umschaltwalze *II* ist *b*. Der Hebel H_1 bewegt die Walze *I* und ist rückwärts in eine Scheibe mit Schlitz *S* und angeschraubtem Zahnsegment *Z* verlängert. Die Walze *II* läßt sich nur dann bewegen, wenn der Hebel H_1 auf „Halt“ steht, denn nur dann kann man den Winkelarm *A* am Hebel H_2 aus der Stellung *1* in die Stellung *3*

bringen. Durch die beiden Rippen R läßt sich noch erreichen, daß H_2 nur in der Mittelstellung abgezogen werden kann, dann steht der Winkelarm auf 2 und verhindert ein Einschalten der Fahrwalze. Dies ist zweckmäßig, wenn der Führer den Wagen verläßt, er braucht dann nur die kleine Kurbel H_2 abzuziehen und an sich zu nehmen. Wenn die Walze, wie bei Straßenbahnen gewöhnlich der Fall ist, nicht wagerecht, sondern senkrecht steht, dann kann man die Einrichtung nach Fig. 95 einfach mit Kurbeln ausführen.

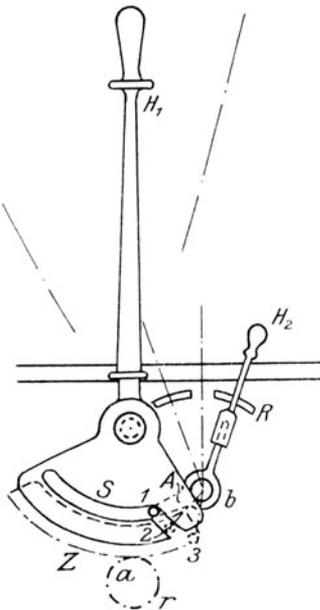


Fig. 95. Schalthebel für Fig. 94.

in Frage kommen, nicht schädlich, da deren Selbstinduktion wegen der geringeren Windungszahl nicht so hoch ist als bei Nebenschluß-

Die Umschaltwalze II in Fig. 94 schaltet zum Umkehren der Fahrtrichtung den Strom in der Magnetwicklung um. Es ist dies bei Hauptstrommotoren, die hier nur

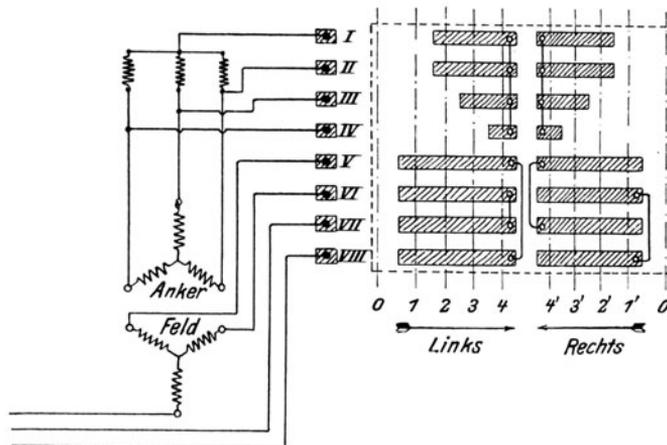


Fig. 96. Wendeschaltwalze für Drehfeldmotoren mit Schaltung nach KAHLENBERG.

motoren. Außerdem geschieht die Umschaltung selten und immer in der abgeschalteten Stellung.

Schaltwalzen für Drehfeldmotoren müssen, wenn sie dreiphasig ausgeführt sind, sehr lang werden. Man wendet dann auch die vereinfachte Schaltung an, wie sie in Fig. 33 gezeichnet ist. Der dort gegebene Wendeanlasser ist in Fig. 96 für Drehfeldmotoren als Schaltwalze ausgeführt, und zwar nach dem System Fig. 88, also auf einer Isolierwalze aufgeschraubte und entsprechend miteinander verbundene Kontaktflächen.

Schaltwalzen für Drehfeldmotoren erhalten keine Funkenblaspulen, weil diese nur mit Gleichstrom möglich sind. Es treten aber auch niemals solche Funken auf wie bei Gleichstrom.

Für Hubmotoren würde man hier die linke Seite unverändert lassen zum Heben und auf der rechten Seite dieselben Schaltungen ausführen wie in Fig. 92. Bei Drehstrombahnen werden die Kaskadenschaltungen (Fig. 76) ebenfalls mit Schaltwalzen ausgeführt.

Abschnitt X.

Regler für Generatoren für Handbetrieb und selbsttätig.

Die Regler dienen bei Generatoren zur Veränderung der Spannung beim Ein- und Parallelschalten und zum Konstanthalten der Spannung bei Änderungen der Belastung. Am meisten sind in Gleichstromzentralen Nebenschlußmaschinen in Anwendung, für welche die Schaltung des Reglers in Fig. 97 gezeichnet ist.

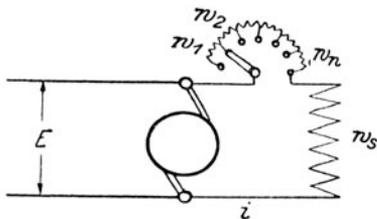
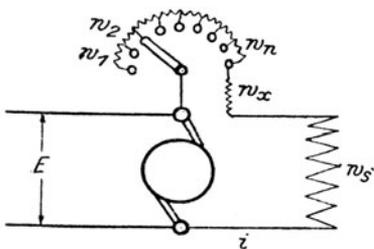


Fig. 97. Regler bei Nebenschlußgeneratoren.

Beide Maschinen in Fig. 97 unterscheiden sich durch den un-

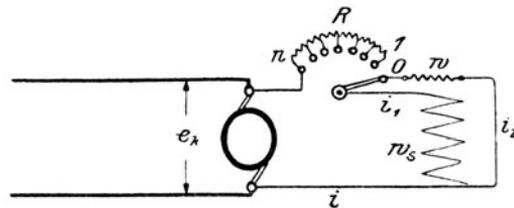


Fig. 98. Nebenschlußmaschine mit funkenfreier Abschaltung der Magnete.

ausschaltbaren Widerstand w_x , der bei der oberen Maschine vorhanden ist, weil der Widerstand der Magnetwicklung w_s nicht genügend hoch gemacht werden konnte, wenn nämlich der Querschnitt des Magnetdrahtes genügend hoch mit Strom belastet ist, aber der Widerstand der Wicklung nicht ausreicht. Das Ausschalten der Magnetwicklung läßt sich funkenfrei gestalten nach Fig. 98. Der Widerstand w wird, wenn die Kurbel zwischen 1 und 0 steht,

parallel zu der Wicklung w_s eingeschaltet und darauf die Kurbel vollends auf O gedreht. Meist ist aber eine solche Einrichtung nicht nötig, weil die Magnetwicklung überhaupt nicht unter Strom ausgeschaltet zu werden braucht, wie die nachfolgende Erläuterung zu Fig. 99 zeigt, aus welcher auch der Zweck des Reglers und seine Verwendung genügend hervorgeht. In der dort gezeichneten Schaltung ist zunächst reiner Maschinenbetrieb ohne Akkumulatoren vorausgesetzt und es soll Maschine I eingeschaltet werden. Nach Inbetriebsetzen der Antriebsmaschine schließt man den Hebel S_1

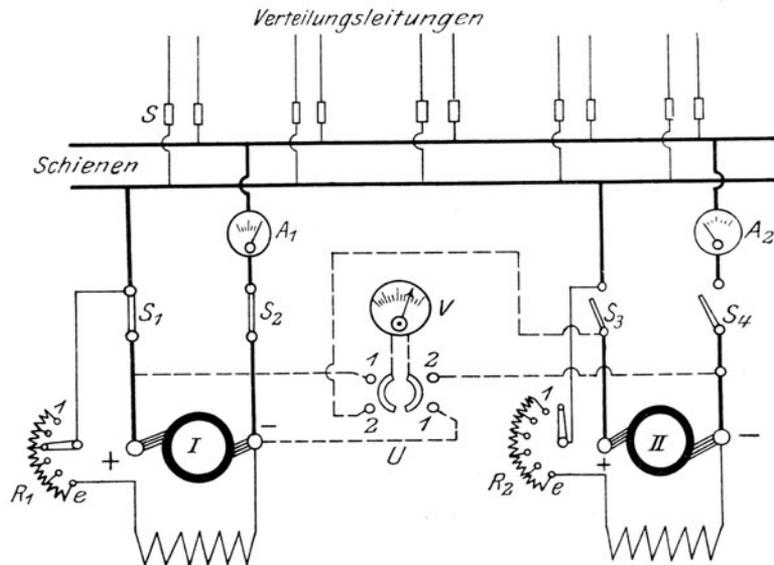


Fig. 99. Nebenschlußmaschinen in Parallelbetrieb.

und stellt die Kurbel des Reglers R_1 von Kontakt O auf einen beliebigen Kontakt zwischen 1 und e , so daß sich die Maschine selbst erregen kann, was hier nötig ist, weil beim Einschalten der ersten Maschine zwischen den Sammelschienen noch keine Spannung herrscht. Den Voltmeter-Umschalter U stellt man auf $1-1$ und erkennt dann am Voltmeter V , wann die normale Spannung der Maschine eingetreten ist, wobei man mit dem Regler R_1 nachhelfen muß. Sobald dies der Fall ist, schließt man auch den zweiten Hebel S_2 . Wird nun im Netz Strom entnommen, so sinkt die Spannung wegen der Rückwirkung und des OHMSchen Spannungsabfalles im Anker und es muß der Widerstand R_1 verkleinert, also weiter nach e gedreht werden, damit ein stärkerer Strom durch die Magnetwicklung fließt und

eine höhere elektromotorische Kraft in der Maschine erzeugt wird, so daß die Rückwirkung und der Spannungsabfall ausgeglichen und die Klemmenspannung konstant erhalten wird. Ist die Maschine voll belastet, so steht die Kurbel des Reglers dicht vor dem letzten Kontakt e , einige Kontakte von diesem müssen noch für vorübergehende Überlastung vorhanden sein. Läuft die Maschine leer, so steht die Kurbel dicht bei 1 , auch hier sind zweckmäßig einige Kontakte zum Anpassen der Spannung beim Parallelschalten und bei höheren Spannungen auch zum Vermindern der Klemmenspannung zweckmäßig.

Ist die Maschine I voll belastet und Aussicht vorhanden auf noch höhere Belastung, so muß Maschine II mit arbeiten. Diese braucht nicht mit Selbsterregung anzulaufen, weil schon Spannung zwischen den Schienen vorhanden ist. Man schaltet deshalb S_4 ein, stellt U auf $2-2$ und reguliert mit R_2 die Spannung der Maschine II so ein, daß sie genau den Wert hat, wie die Klemmenspannung von Maschine I gemessen auf $1-1$ des Voltmeter-Umschalters U .

Sobald man dies erreicht hat, wird auch der Hebel S_3 geschlossen. Die zugeschaltete Maschine liefert nun zunächst noch keinen Strom, weil ihre elektromotorische Kraft genau gleich der Spannung zwischen den Punkten ist, an die man sie geschaltet hat.

Würde man sie falsch einschalten, also zu früh, wenn ihre elektromotorische Kraft zu klein ist, dann würde sie Strom aus der Maschine I erhalten und die gesamte Betriebsspannung sinken, also die Lampen im Netz dunkel werden. Ist ihre elektromotorische Kraft höher als die Klemmenspannung der anderen Maschine, dann würde sie beim Einschalten einen Teil der Stromlieferung sogleich mit übernehmen, dabei die Maschine II plötzlich entlasten und eine Spannungserhöhung im Netz, also ein Hellerbrennen der Lampen verursachen.

Will man die richtig zugeschaltete, also noch stromlose Maschine belasten, so muß man ihre elektromotorische Kraft erhöhen, aber gleichzeitig diejenige der Maschine I entsprechend verringern, indem man R_1 mehr nach 1 hin und R_2 mehr nach e hin bewegt. Durch diese Bewegungen der Reglerkurbeln kann man die Belastung auf beide Maschinen willkürlich verteilen.

Nimmt die Belastung ab und will man eine von beiden Maschinen stillsetzen, so dreht man ihren Nebenschlußregler nach 1 hin und gleichzeitig den der anderen Maschine entsprechend nach e hin so

lange, bis das Amperemeter (in Fig. 99 A_1 und A_2) der stillzusetzenden Maschine auf 0 steht, dann kann man den einen der beiden Schalter ziehen, und zwar, wenn I stillgesetzt werden soll, S_2 , wenn II stillgesetzt werden soll, S_4 . Dieses Ausschalten der Hebel geschieht also stets ohne Strom, deshalb haben auch solche Maschinenschalter keine Momentschaltung nötig. Die Kurbel des Nebenschlußreglers wird nun noch nicht eher ausgeschaltet als bis die Antriebsmaschine stillgesetzt ist. Dann hat der Generator keine Spannung mehr und seine Magnetwindungen keinen Strom und es kann die Kurbel des Reglers ausgeschaltet werden, ohne daß Selbstinduktion in den Magneten eintritt. Es sind auch aus diesem Grunde besondere Magnetausschalter und Einrichtungen am Regler für funkenfreies Ausschalten (Fig. 98) meist überflüssig.

Seltener und wohl nur in kleinen Anlagen wendet man die Maschinen mit gemischter Schaltung (Compoundmaschinen) an. Diese Maschinen haben von Natur aus konstante Spannung, deshalb ist ein Nebenschlußregler im allgemeinen nicht nötig. Er könnte höchstens zum Einschalten benutzt werden und zum Ausgleichen des Magnetwiderstandes, welcher bei der kalten Maschine etwas kleiner als bei der erwärmten Maschine ist. Die Regler sind deshalb auch nur sehr klein.

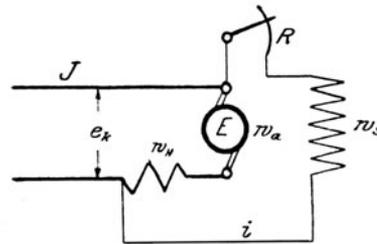


Fig. 100. Compoundmaschine mit langem Schluß.

In Fig. 100 ist die Compoundmaschine mit langem Schluß gezeichnet. Es ist:

$$i = \frac{e_k}{w_s + R},$$

$$e_k = E - [(i + J)(w_a + w_H)].$$

Zu Anfang des Betriebes, wenn die Maschine noch kalt ist, sind die Widerstände w_a , w_H und w_s kleiner, als wenn die Maschine warm geworden ist, deshalb würde sie zu Anfang eine etwas höhere Klemmenspannung liefern, wenn man nicht durch den Regler R den Nebenschlußstrom i verringern könnte.

Dasselbe gilt auch für die Compoundmaschine mit kurzem Schluß nach Fig. 101. Hierbei lauten die Gleichungen:

$$i = \frac{e_b}{w_s + R},$$

$$e_b = E - (i + J) w_a \text{ und } e_k = e_b + J \cdot w_H.$$

Hauptstromgeneratoren oder Serienmaschinen können nach Fig. 102 einen Regler R zum Spannungsregeln erhalten, welcher parallel zur Magnetwicklung w_s liegt. Außerdem ist dort gezeigt, wie sie gegen zu starke Belastung und Kurzschluß zu sichern sind durch einen Magneten m , der bei zu starkem Strom den Hebel H anzieht und die Magnetwicklung kurzschließt. Dann verliert die Maschine ihr Magnetfeld und wird spannungslos.

Meist verwendet man Hauptstromgeneratoren für Arbeitsübertragungen. Dann treibt ein oder mehrere hintereinander geschaltete Generatoren ebenfalls einen oder mehrere auch hintereinander ge-

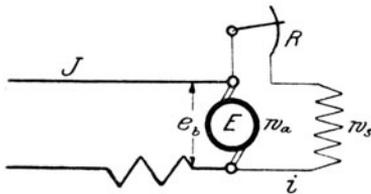


Fig. 101. Compoundmaschine mit kurzem Schluß.

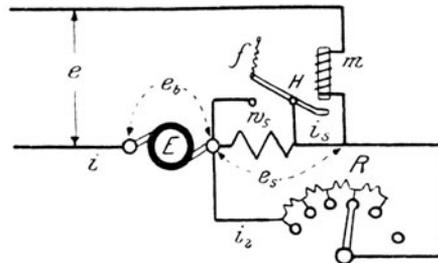


Fig. 102. Hauptstromgenerator mit Regler R zum Spannungsregeln und Sicherung gegen Überstrom.

schaltete Hauptstrommotoren an. In diesem Fall wird die Spannung des Generators nicht reguliert, sondern gerade infolge der veränderlichen Spannung des Generators läuft dann der Hauptstrommotor mit konstanter Umlaufzahl bei jeder Belastung. Denn wenn er stark belastet ist, also bei konstanter zugeführter Spannung langsam laufen würde, führt ihm der Hauptstromgenerator höhere Spannung zu und bei schwacher Belastung niedrige Spannung. Es ist aber doch der Fall denkbar, daß man die Umlaufzahl des Motors verändern möchte, wenn z. B. der Motor eine Pumpe antreibt und die geförderte Wassermenge soll beeinflußt werden können, dann läßt sich das nur durch die Umlaufzahl des Motors bewirken und man muß dann die Spannung des Generators ändern.

Wechsel- und Drehstromgeneratoren müssen mit Gleichstrom erregt werden und erhalten zu diesem Zweck ihre Erregermaschinen. Man kann nun so schalten, daß sämtliche Wechselstrom-

generatoren eine oder mehrere Erregermaschinen gemeinsam besitzen, wie in Fig. 103 gezeichnet ist oder nach Fig. 104, woselbst jeder Generator seine eigene Erregermaschine hat. In Fig. 103 werden die Erregerstromstärken i für die parallel arbeitenden Wechselstromgeneratoren hervorgerufen durch die konstante Schienenspannung E , welche die Erregermaschinen M erzeugen. Jeder Wechselstromgenerator hat seinen besonderen Regler R , mit dem der Strom i geregelt wird. Mit diesen Reglern kann man aber nicht mehr in

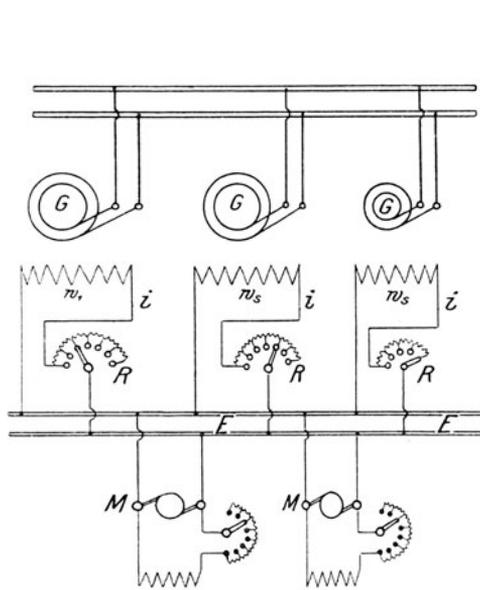


Fig. 103. Wechselstromgeneratoren in Parallelschaltung mit gemeinsamen Erregermaschinen.

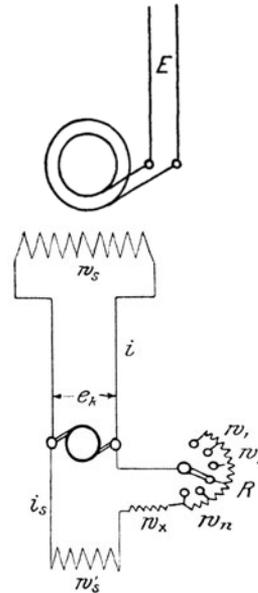


Fig. 104. Wechselstromgenerator mit eigener Erregermaschine.

derselben Weise wie bei Gleichstrom die Belastung auf die einzelnen Maschinen beliebig verteilen, sondern nur die Höhe der Spannung zum Zweck des Einschaltens und die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Die Belastungsverteilung muß bei Wechselstromgeneratoren mit Hilfe der Kraftmaschine geschehen, die zum Antrieb dient. Bei Dampfmaschinenantrieb regelt man die Belastungsverteilung durch den zugeführten Dampf.

Bei der Erregerschaltung nach Fig. 103 ergibt sich ein etwas größerer Verlust in der Erregung als nach Fig. 104, weil sowohl die Erregermaschinen als auch die Wechselstromgeneratoren Regler besitzen. In Fig. 104 kann aber der Wechselstromgenerator nicht

so schnell der Regulierung folgen als in Fig. 103, denn wenn nur ein einziger Regler im Nebenschlußstromkreis der Erregermaschine liegt, widersteht die Selbstinduktion von beiden Magnetwickelungen w_s' und w_s einer Änderung der Kraftlinien. Meist wird die Methode nach Fig. 103 ausgeführt.

Selbsttätige Spannungsregelung für Nebenschlußmaschinen zeigt Fig. 105. Der Apparat wird von der Firma VOIGT & HÄFFNER, Frankfurt a. M. ausgeführt.

Die einzelnen Kontakte des Nebenschlußregulierwiderstandes R endigen in Drähte, welche gleichmäßig kürzer werden und in ein

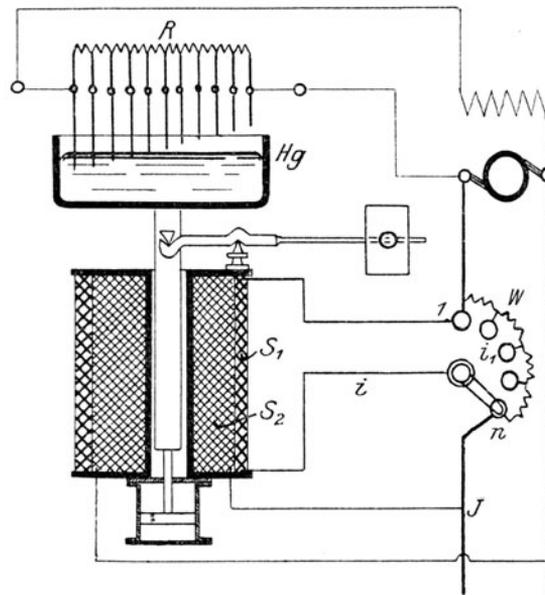


Fig. 105. Selbsttätiger Spannungsregler für Nebenschlußgeneratoren.

Gefäß H_g mit Quecksilber eintauchen. Dieses Gefäß ist an einem Eisenkern befestigt, der in die Spule hineinragt. Sind die beiden Wickelungen der Spule stromlos, dann zieht das Gegengewicht den Eisenkern nach oben, sämtliche Drähte tauchen in das Quecksilber ein und R ist kurzgeschlossen. Läßt man die Maschine anlaufen, dann erregt sie sich und die entstehende Klemmenspannung verursacht einen Strom in der Spule S_2 , welche infolgedessen bei der normalen Spannung den Eisenkern vollständig eingezogen hat, so daß der gesamte Widerstand von R vor die Magnete geschaltet ist. Wird die Maschine belastet, so fließt ein dem äußeren Strom J proportionaler Zweigstrom i durch die Wickelung S_1 , welche aber ent-

gegengesetzt magnetisiert als die Wicklung S_2 und infolgedessen bei voller Belastung die Wirkung von S_2 aufhebt, so daß dann das Quecksilbergefäß von dem Gegengewicht hochgehoben ist und sämtliche Drähte eintauchen. Bei geringerer Belastung ist die Wirkung von S_1 entsprechend geringer, dann wird der Einfluß von S_2 nur teilweise aufgehoben und das Quecksilbergefäß steht in einer entsprechenden mittleren Stellung zwischen der höchsten und tiefsten Lage. Zur Verhinderung von Pendelschwingungen ist der Eisenkern gedämpft durch eine Glycerinpumpe an seinem Ende.

Damit man bei Parallelbetrieb mehrerer Maschinen Belastungsverteilung vornehmen und einschalten kann, ist der kleine Regler W

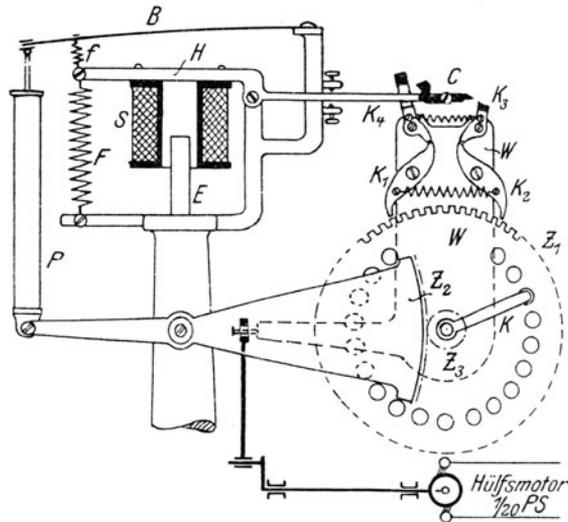


Fig. 106. Selbsttätiger Spannungsregler von THURY.

nötig, mit welchem man das Verhältnis von i zu J ändern kann. Der Apparat nach Fig. 105 reguliert auf Strom und Spannung und ist deshalb sehr empfindlich. Ein Nachteil ist das verwendete Quecksilber. Da aber R in sehr viele Abteilungen geteilt ist, so ist zwischen den einzelnen Eintauchdrähten nur sehr wenig Spannungsunterschied und es entstehen beim Heraustauen der Drähte aus dem Quecksilber keine Funken.

Ein anderer selbsttätiger Spannungsregler nach THURY für Gleichstrom ist in Fig. 106 gezeichnet. Die Spule S sitzt an einem Hebel H und ist an die konstant zu haltende Spannung angeschlossen. Ein kleiner Hilfsmotor von $\frac{1}{20}$ PS. versetzt den Winkelhebel W in fortwährende hin und her gehende Bewegung.

Steigt die Spannung, dann zieht die Spule S sich tiefer über den Eisenkern E hinunter und bei der Hin- und Herbewegung stößt jedesmal die Klinke K_4 gegen den Anschlag C , wodurch dann die Klinke K_1 in das Zahnrad Z_1 eingreift und dieses nach der einen Seite verschoben wird. Mit dem Zahnrad Z_1 ist die Kurbel K des Reglers verbunden, die dadurch so lange verstellt wird, bis die Spannung wieder normal ist. Dann steht die Spule S so, daß der Anschlag C bei den Schwingungen von W nicht berührt wird. Fällt die Spannung, dann steigt die Spule und es stößt die Klinke K_3 gegen C , wodurch die andere Klinke K_2 zum Eingriff mit Z_1 gelangt und die Kurbel entgegengesetzt bewegt. Bei normaler Spannung berührt weder K_3 noch K_4 den Anschlag C . Zur Verhütung von Pendelschwingungen ist die Dämpfungpumpe P und das Zahnsegment Z_2 mit dem kleinen an Z_1 liegenden Zahnrad Z_3 vorhanden. Die Feder F ist einstellbar, um die Spule auf bestimmte Spannungen einregulieren zu können, B ist eine Blattfeder und f eine Gegenfeder zu F .

Der THURY-Regler wird in etwas anderer Ausführung (lamellierte Eisenteile) auch für Wechselstrom gebaut. Die Herstellung der Regler geschieht durch die Firma H. CUENOD, Genf.

Selbsttätige Regler für Wechselstrom sind außer dem vorhin genannten noch mehrere ausgeführt. In Fig. 107 ist ein sehr bekannter derartiger Regler, der Tirill-Regler, gezeichnet. Seine Wirkungsweise ist außerordentlich verwickelt und seine Konstruktion ebenfalls, wie man schon aus dem einfachen Stromlauf in Fig. 107 erkennt, bei dem die Anordnung der Federn und Kontakte, welche sehr vielen Bedingungen genügen müssen, nur schematisch dargestellt ist. Das zur Anwendung gebrachte Prinzip ist folgendes: Steigt die Belastung, sinkt also die Spannung des Wechselstromgenerators, dann muß der Erregerstrom und damit das Feld des Generators erhöht werden. Dies geschieht durch Kurzschließen des Nebenschlußreglers, welcher in dem Magnetstromkreis der Erregermaschine liegt. Infolgedessen steigt der Magnetstrom der Erregermaschine und damit ihre Spannung, wodurch die Erregerwicklung des Wechselstromgenerators ein stärker werdendes Feld erhält. Hat dieses den nötigen Wert erreicht, d. h. ist dadurch die Spannung des Generators auf den normalen Wert gebracht, so wird der Kurzschluß des Reglers der Erregermaschine wieder aufgehoben. Dadurch sinkt natürlich die Spannung wieder und sofort wird wieder kurz geschlossen. So spielt dann der Regler ununterbrochen, und zwar

dauert die Zeit des Kurzschlusses um so länger, je stärker die Belastung ist, während bei Leerlauf gar nicht oder nur sehr kurze Zeit kurz geschlossen wird.

Nach der Schaltung in Fig. 107 wird bei steigender Belastung durch die Stromwicklung des Wechselstrommagneten der Kern K_2 nach unten gezogen und dadurch Kontakt C_2 gegen C_1 gelegt, so daß das Differentialrelais, dessen beide Wicklungen m und n ent-

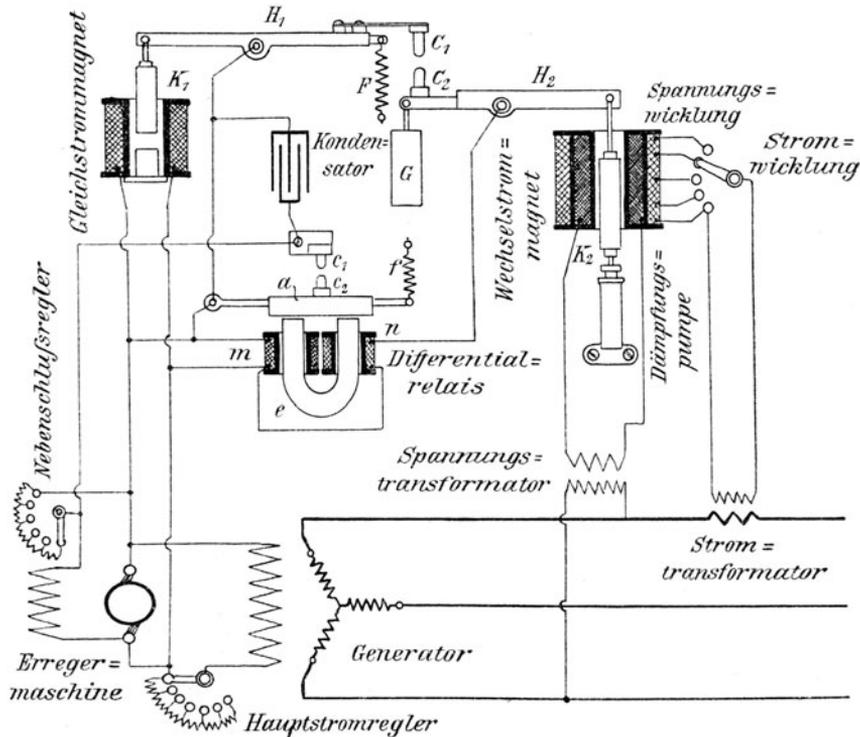


Fig. 107. THIRIL-Regler für Wechselstrom.

gegengesetzt wirken, unmagnetisch ist und die Feder f die Kontakte c_1 und c_2 verbindet, wodurch der Kurzschluß des Reglers der Erregermaschine bewirkt wird, so daß deren Spannung, die auf den Kern K_1 wirkt, steigt und damit auch die Erregung des Wechselstromgenerators. Durch die anwachsende Gleichstromspannung wird der Kern K_1 immer tiefer gezogen, C_1 bewegt sich nach oben, C_2 wird aber so lange gegen C_1 gedrückt, als die Stromspule K_2 noch nach unten zieht. Dies geschieht so lange, bis die Wechselstromspannung beginnt, den normalen Wert zu überschreiten. Dann wirkt ihre Spannungswicklung der Stromwicklung des Wechselstrom-

magneten so stark entgegen, daß durch das Gewicht G der Kontakt c_2 nach unten gezogen wird, wodurch die Wicklung n ausgeschaltet wird, so daß nur die Wicklung m auf den Eisenkern e des Differentialrelais wirkt, dieser magnetisiert wird und durch Anziehen des Hebels a den Kontakt c_2 von c_1 entfernt, so daß der Nebenschlußkreis der Erregermaschine wieder höheren Widerstand erhält. Die in Fig. 107 gezeichneten beiden Regler werden natürlich nicht mit benutzt. Sie dienen nur mit zum Einstellen des Apparates. So kann man sie benutzen, um die konstant zu haltende Wechselstromspannung ändern zu können. Wenn die Maschinen in einer Beleuchtungszentrale arbeiten und es tritt gegen Abend starke Belastung im Netz ein, dann stellt man zum Ausgleich des dann

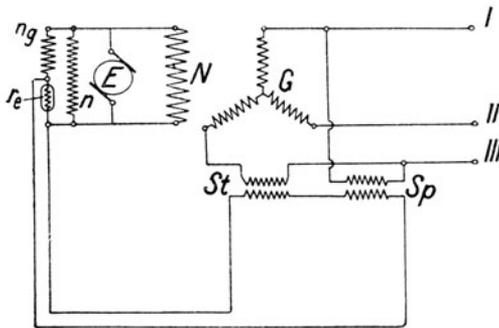


Fig. 108. Spannungsregelung mit Differentialerregung nach SEIDNER.

Spannungsänderung. Ausgeführt wird derselbe von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin. Man kann den Apparat auch bei mehreren parallel laufenden Generatoren benutzen. Es müssen aber sämtliche Generatoren ganz gleich sein, dann können sie mit einem TIRILL-Regler gemeinsam reguliert werden. Bei Generatoren verschiedener Leistung oder Tourenzahl läßt sich der Apparat nicht anwenden. Das ist ein Nachteil desselben und ein weiterer Nachteil besteht noch in dem komplizierten Mechanismus, der deshalb auch empfindlich ist. Die Regelung erfolgt allerdings auch bei starken Belastungsschwankungen außerordentlich genau.

Eine ganz eigenartige selbsttätige Spannungsregelung für Wechselstrom unter Anwendung der Eisenwiderstände in Wasserstoffgas, welche KALLMANN Variatoren nennt (vergl. S. 51), gibt M. SEIDNER an in ETZ 1908, Heft 18, S. 450, „Ein neues System

höheren Spannungsabfalles in den Speiseleitungen die konstante Maschinenspannung höher ein.

Der Regler wirkt wegen der beiden Wicklungen des Wechselstrommagneten auf Spannungs- und Belastungsänderungen und reguliert also auch bei eingetretener Phasenänderung im Netz und dadurch bewirkter

der Spannungsregelung für Wechselstrom-Generatoren“. Aus diesem Artikel sind auch die Fig. 108 und 109 entnommen.

Aus Fig. 108 ist das Prinzip zu erkennen. r_e ist der in Wasserstoffgas befindliche Eisendraht, welcher sich so bemessen läßt, daß er auf konstanten Strom reguliert, d. h. wenn die Spannung steigt, so wächst sein Widerstand fast genau proportional der Spannung und der Strom muß dann konstant bleiben. Durch diesen Eisendraht fließt aber gleichzeitig Gleichstrom und Wechselstrom, so daß der Eisendraht den aus beiden Stromarten resultierenden Strom konstant hält. SEIDNER beweist, daß der resultierende Strom J ,

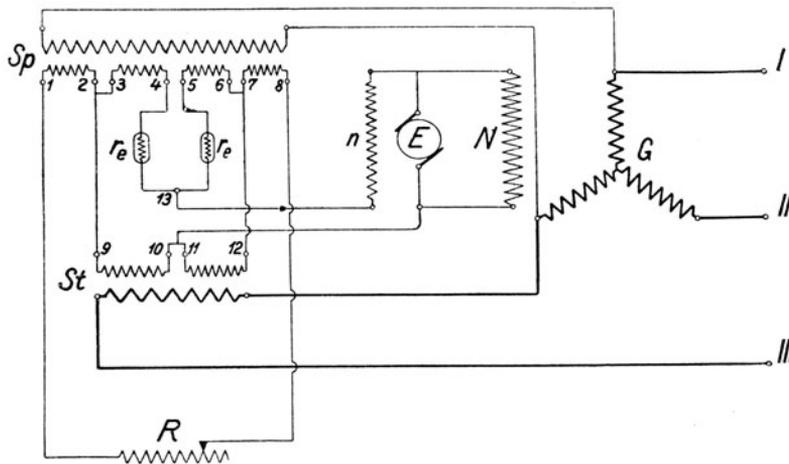


Fig. 109. Anwendung der Methode von SEIDNER nach Fig. 108.

der Gleichstrom i_g und der Wechselstrom i_w folgende Beziehung haben:

$$J = \sqrt{i_g^2 + i_w^2}.$$

Folglich ist J die durch den Eisenwiderstand konstant gehaltene Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks mit den Katheten i_g und i_w . Der Wechselstrom i_w wird aber hervorgerufen durch die hintereinander geschalteten Wicklungen S_t und S_p des Strom- und Spannungstransformators. Steigt die Belastung, so nimmt i_w zu, folglich muß i_g abnehmen. Dieser Strom i_g fließt auch durch die Wicklung n_g , welche mit auf die Magnete der Erregermaschine E gebracht ist und entgegengesetzt magnetisiert als die normale Nebenschlußwicklung n . Da nun bei steigender Belastung die Spannung sinken würde, aber jetzt die entmagnetisierende Wicklung n_g

schwächer wirkt, so bleibt die Spannung bei richtiger Wahl der Wickelungen konstant.

Die Anordnung nach Fig. 108 ist aber praktisch nicht brauchbar, weil der Wechselstrom auch in die Gleichstromkreise der Erregermaschine gelangt und ebenso der Gleichstrom in die Wechselstromkreise und dort einseitig magnetisiert. Es ist deshalb von SEIDNER die Schaltung nach Fig. 109 ausgeführt, mit der Versuche sehr gute Ergebnisse gezeigt haben. Der Stromtransformator ist so an die Punkte 2, 3 und 6, 7 des Spannungstransformators angeschlossen, daß das Spannungsgefälle von 1 bis 2 denjenigen von 7 bis 8 entspricht. Außerdem sind zwei parallele Variatoren r_e vorhanden und die Erregerwicklung n ist so an die Punkte 13 und zwischen 10, 11 gelegt, daß dort auch gleiches Potential herrscht.

Es sind jetzt drei Stromkreise vorhanden:

1. für den Spannungstransformator: 1, 2, 3, 4, r_e , 13, r_e , 5, 6, 7, 8, R, 1;
2. die beiden parallelen Stromkreise des Stromtransformators:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2, 9, 10, 11, 12, 6, 5, r_e, 13, r_e, 4, 3, 2 \\ 2, 1, R, 8, 7, 12, 11, 10, 9, 2 \end{array} \right\};$$

3. die beiden parallelen Stromkreise der Erregermaschinenfeldwicklung:

$$\left\{ \begin{array}{l} E, n, 13, r_e, 5, 6, 12, 11, E \\ E, n, 13, r_e, 4, 3, 9, 10, E \end{array} \right\}$$

Die einzelnen Ströme stören sich jetzt nicht mehr und der Gleichstrom kann auch nicht einseitig magnetisieren, weil er sich in den Transformatorwickelungen nach zwei entgegengesetzten Richtungen verzweigen muß.

Die Vorteile des Systems sind nach SEIDNER folgende: es ist einfach, billig und betriebssicher und kann bei jeder Maschine angewendet werden. Parallel arbeitende Maschinen beliebiger Größe erhalten jede für sich ihre Regelungseinrichtung, und vor allen Dingen kann das System angewendet werden bei solchen Maschinen, welche mit 30—50 % Spannungserhöhung arbeiten und welche billiger sind als die heute notwendigen Maschinen mit nur 15—25 % Spannungserhöhung.

Abschnitt XI.

Berechnung der Anlasser.

Allgemeines.

Jeder Motor muß zum Anlaufen einen stärkeren als den normalen Strom, den Anlaufstrom oder Beschleunigungsstrom erhalten, weil seine Massen und je nach Umständen auch die Massen der Arbeitsmaschine, welche der Motor treibt, beschleunigt werden müssen. Der Anlauf des Motors und damit die notwendige Höhe des Anlaufstromes hängt ab von der Betriebsweise und ist bei einem Pumpenmotor ganz anders als bei einem Motor, der ein Gebläse oder einen Ventilator antreibt. Bei der richtigen Abstufung und Bemessung des Anlассers muß man deshalb die Betriebsverhältnisse berücksichtigen und nicht nur die Leistung des Motors. Es muß sogar ein Motor für ein und dieselbe Leistung ganz verschiedene Anlассer erhalten, je nachdem, ob er für Anlauf mit Vollast oder mit Überlast oder für Leeranlauf oder für einen Ventilator usw. bestimmt ist.

Es ist zum Beispiel ein Motor mit einer Pumpe gekuppelt, dann ist die Leistung, welche der Motor entwickeln muß, proportional der Umdrehungszahl. Dasselbe ist auch bei Leeranlauf der Fall, wenn der Motor eine Transmission antreibt und mit dem Riemen auf der Leerscheibe angelassen wird; in diesem Falle leistet aber der Motor weniger, der Anlассer wird für einen Motor von geringerer Leistung, aber doch möglichst großem Anlaufstrom berechnet und muß nun in seinen Dauerstellungen für die volle Stromstärke eingerichtet sein. Beim Ventilator oder bei einem Gebläse ist die Leistung nicht proportional der Umdrehungszahl sondern auszudrücken durch die Beziehung $C \cdot n^x$.

Man kann im wesentlichen die folgenden beiden Fälle unterscheiden: Leistung L proportional der Umdrehungszahl und Leistung

eine Exponentialfunktion der Umdrehungszahl. Der erste Fall ist gegeben durch den Ausdruck:

$$L = C \cdot n; \quad (15)$$

der zweite durch den Ausdruck:

$$L = C \cdot n^x. \quad (16)$$

Der erste Fall paßt im allgemeinen bei den meisten Werkzeugmaschinen und bei den Pumpen, sowie bei Leeranlauf, der zweite Fall tritt ein bei Ventilatoren und Gebläsemaschinen. Der erste Fall läßt sich ziemlich leicht rechnerisch verfolgen. In dem anderen Fall kann man am leichtesten die Bestimmung des Anlassers durch Zeichnung ausführen. Maßgebend für die Anlasserberechnung ist das Drehmoment, welches der Motor zu entwickeln hat. Allgemein ist das Drehmoment D durch die Gleichung gegeben:

$$D = \frac{L}{2\pi \cdot \frac{n}{60}}. \quad (17)$$

Für den Fall in Gleichung (15) ergibt sich:

$$D = \frac{C \cdot n}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} = \text{konstant}. \quad (18)$$

Für den Fall in Gleichung (16) ergibt sich:

$$D = \frac{C \cdot n^x}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} = n^{x-1}. \quad (19)$$

Zunächst wird nun der Fall von Gleichung (18) behandelt, weil dieser der Rechnung zugänglich ist.

Berechnung von Anlassern.

Gleichstrom-Nebenschlußmotor. Anlauf mit Vollast. Ist die Kraftlinienzahl oder Feldstärke des Motors Φ und der Ankerstrom J_a , dann ist beim Nebenschlußmotor das Drehmoment proportional der Feldstärke und dem Ankerstrom, also

$$D = C \cdot \Phi \cdot J_a \quad (20)$$

Nun ist beim Nebenschlußmotor die Kraftlinienzahl bei Vollast nur sehr wenig verschieden von derjenigen bei Leerlauf, man kann daher setzen:

$$D \equiv C \cdot J_a \dots \dots \dots (21)$$

man benutzt also zur Berechnung nicht das unbequemer zu bestimmende Drehmoment, sondern einfach den Ankerstrom.

In Fig. 110 ist das Schema des Anlassers gezeichnet. Es brauche der Motor zum Anlaufen einen Strom J_1 , während J der normale Strom ist (gewöhnlich ist $J_1 = 1,5 \cdot J$). In Gleichung (21) ist der Ankerstrom J_a benutzt. Es darf aber einfach mit dem gesamten Strom J gerechnet werden, weil beim Nebenschlußmotor $J_a = J - i$ ist, wenn i den Magnetstrom bedeutet, dieser aber höchstens 3—4 % des gesamten Stromes beträgt.

Zum Einschalten des Motors dreht man die Kurbel des Anlassers auf Kontakt 1 (Fig. 110), dann wirkt die zugeführte Spannung E auf die Widerstände $W + w_a$, und da der Strom J_1 zum Anlaufen entstehen soll, muß sein:

$$W = \frac{E}{J_1} - w_a \dots \dots \dots (22)$$

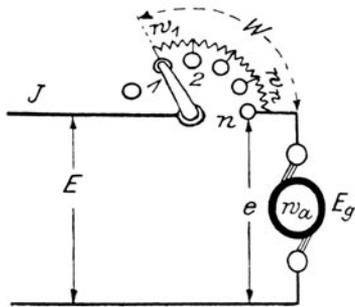


Fig. 110.
Bedeutung der Buchstaben in der Berechnung der Anlasser.

Da der Strom J_1 den Anker beschleunigt, weil er stärker ist als der Normalstrom J , wird der Anker beginnen, sich zu drehen. Dadurch entsteht aber in seinen Drähten eine elektromotorische Kraft (später abgekürzt E. M. K.), welche entgegengesetzt gerichtet ist als die zugeführte Spannung E (Klemmenspannung) und mit E_{g1} bezeichnet werden soll. Wegen der entgegengesetzten Wirkung von E_{g1} geht der Strom von dem

Wert J_1 zurück bis auf den Normalwert J , und die Umlaufszahl des Motors nimmt so lange zu, bis in seinen Drähten eine E. M. K. vom Wert E_{g1} entsteht, gegeben durch die Gleichung:

$$J = \frac{E - E_{g1}}{W + w_a} \dots \dots \dots (23)$$

Ist dieser Wert von E_{g1} erreicht, so würde der Motor nicht mehr weiter beschleunigt werden, man darf also, wenn der Anlaufstromstoß J_1 auf den Normalstrom J zurückgegangen ist, die Kurbel des Anlassers vom Kontakt 1 auf Kontakt 2 drehen. In Wirklichkeit ist das Weiterdrehen immer nach sehr kurzer Zeit möglich,

weil die gesamte Anlaufzeit eines Motors höchstens 30 Sekunden beträgt. Wann man weiter drehen darf, kann man am Ton des Motors hören, denn solange seine Geschwindigkeit wächst, ändert sich der Ton. Dreht man die Kurbel von Kontakt 1 auf Kontakt 2, so ist nach Fig. 110 vom Gesamtwiderstand W des Anlassers die erste Stufe w_1 abgeschaltet, der Widerstand im Stromkreis beträgt nur noch $W + w_a - w_1$, es ist aber im Anker zuerst noch die E. M. K. E_{g_1} vom Kontakt 1 her vorhanden, folglich muß wegen der Widerstandsverminderung der Strom wieder anwachsen. Zweckmäßig richtet man die Stufung des Anlassers so ein, daß der Stromstoß, welcher auf diese Weise jedesmal entsteht, sobald die Kurbel auf einen neuen Kontakt gedreht wird, immer denselben gleichen Wert J_1 erreicht. Es würde dann für das Auftreffen der Kurbel auf Kontakt 2 die Gleichung gelten:

$$J_1 = \frac{E - E_{g_1}}{W + w_a - w_1} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (24)$$

Der Motor wird also weiter beschleunigt, dadurch steigt die Umlaufzahl und mit ihr die E. M. K. E_{g_1} auf einen Wert E_{g_2} , gegeben durch den Ausdruck

$$J = \frac{E - E_{g_2}}{W + w_a - w_1} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (25)$$

welcher dann gilt, wenn die Umdrehungszahl auf Kontakt 2 nicht mehr weiter steigt. Man dreht weiter auf Kontakt 3, erhält zuerst wieder den Stromstoß

$$J_1 = \frac{E - E_{g_2}}{W + w_a - w_1 - w_2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (26)$$

und wenn der Dauerzustand auf diesem Kontakt erreicht ist, gilt

$$J = \frac{E - E_{g_3}}{W + w_a - w_1 - w_2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (27)$$

und so erhält man in gleicher Weise für jeden Kontakt zwei Gleichungen, diejenige für J_1 beim Auftreffen der Kurbel und diejenige für J , wenn der Motor die ihm auf dem betreffenden Kontakt zukommende Umdrehungszahl erreicht hat. Durch Dividieren der Gleichungen (24) und (23) erhält man

$$\frac{J_1}{J} = \frac{W + w_a}{W + w_a - w_1} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (28)$$

durch Dividieren der Gleichungen (26) und (25) ergibt sich:

$$\frac{J_1}{J} = \frac{W + w_a - w_1}{W + w_a - w_1 - w_2} \cdot \dots \cdot \dots \quad (29)$$

und so fort; würde der Anlasser n Stufen $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$ (vergl. Fig. 110) haben, so erhalte man n Gleichungen von der Form

$$\frac{J_1}{J} = \frac{W + w_a - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}}{W + w_a - w_1 - w_2 - \dots - w_n} \cdot \dots \cdot \dots \quad (30)$$

durch multiplizieren dieser n Gleichungen erhält man:

$$\left(\frac{J_1}{J}\right)^n = \frac{W + w_a}{W + w_a - w_1} \cdot \frac{W + w_a - w_1}{W + w_a - w_1 - w_2} \cdot \frac{W + w_a - w_1 - w_2}{W + w_a - w_1 - w_2 - w_3} \cdot \dots \cdot \frac{W + w_a - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}}{W + w_a - w_1 - w_2 - \dots - w_n}$$

oder

$$\left(\frac{J_1}{J}\right)^n = \frac{W + w_a}{W + w_a - w_1 - w_2 - \dots - w_n}, \text{ und weil nach Fig. 110}$$

die Summe $w_1 + w_2 + \dots + w_n = W$ ist, so wird:

$$\left(\frac{J_1}{J}\right)^n = \frac{W + w_a}{w_a} \cdot \dots \cdot \dots \quad (31)$$

Setzt man aus Gleichung (22) den Wert von W ein, so wird:

$$\left(\frac{J_1}{J}\right)^n = \frac{E}{J_1 \cdot w_a} \cdot \dots \cdot \dots \quad (32)$$

und hieraus bestimmt sich die Stufenzahl n des Anlassers zu

$$n = \frac{\log \frac{E}{J_1 \cdot w_a}}{\log \frac{J_1}{J}} \cdot \dots \cdot \dots \quad (33)$$

Da aber gewöhnlich der berechnete Wert auf eine ganze Zahl abzurunden ist, muß man, nachdem zuerst für ein angenommenes J_1 die Stufenzahl berechnet ist, den durch die Abrundung geänderten Wert von J_1 neu berechnen. Damit nun J_1 nicht kleiner wird, weil sonst der Motor nicht richtig auf dem Kontakt 1 anläuft, muß man n stets nach unten abrunden, auch dann, wenn z. B. $n = 5,7$ berechnet wäre, wird ausgeführt $n = 5$.

Die Nachrechnung des geänderten Wertes von J_1 erfolgt aus Gleichung (32):

$$J_1^{n+1} = \frac{E \cdot J^n}{w_a},$$

$$J_1 = J \sqrt[n+1]{\frac{E}{J \cdot w_a}} \cdot \dots \cdot \dots \quad (34)$$

In dieser Form ist die Gleichung am besten geeignet für den Gebrauch des Rechenschiebers. Nachdem man auf diese Weise den Wert von J_1 festgelegt hat, kann man die einzelnen Widerstandsstufen $w_1, w_2, w_3 \dots$ nacheinander berechnen. Es ergibt sich allgemein aus Gleichung (30):

$$w_n = (W + w_a - w_1 - w_2 - w_3 - \dots - w_{n-1}) - \left[(W + w_a - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}) \frac{J}{J_1} \right] \quad (35)$$

Es ergibt sich hieraus für die einzelnen Stufen die Beziehung:

$$w_1 = W + w_a - (W + w_a) \frac{J}{J_1},$$

$$w_2 = W + w_a - w_1 - (W + w_a - w_1) \frac{J}{J_1},$$

$$w_3 = W + w_a - w_1 - w_2 - (W + w_a - w_1 - w_2) \frac{J}{J_1}.$$

Zur Berechnung eines Anlassers werden der Reihe nach die Gleichungen benutzt: (33), (34), (22) und 35, und wenn man die Werte $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$ addiert, muß die Summe den Wert W nach Gleichung (22) ergeben.

Gleichstrom-Nebenschlußmotor, Anlauf mit geringer Belastung oder Leerlauf: Auch dieser Fall läßt sich durch Rechnung verfolgen und auf den soeben durchgeführten Fall zurückführen. Läuft ein Motor leer, so hat er nur den geringen Leerlaufstrom nötig, der etwa 5 bis 10 % des Normalstromes bei Vollast beträgt. Um den Motor anlaufen zu lassen, kann man ihm trotzdem einen starken Anlaufstrom geben, weil ja der Motor diesen Strom verträgt. Es wird dann das Verhältnis $\frac{J_1}{J}$ in Gleichung (33) groß, weil für J jetzt der geringe Leerlaufstrom zu setzen ist, und man erkennt aus Gleichung (33), daß der Anlasser bei Leeranlauf wenig Stufen n erhält. Gewöhnlich tritt aber ein Einschalten des Motors bei vollständigem Leerlauf nicht ein mit Ausnahme von Umformern und Motordynamos, denn meist muß der Motor noch mit dem Riemen

auf eine Leerscheibe arbeiten oder zuweilen eine Transmissionswelle antreiben, von der nur die Arbeitsmaschinen abgetrennt sind. In solchem Falle ist nicht reiner Leerlauf, sondern Anlauf mit geringer Belastung vorhanden. Bei Drehbänken, Hobelmaschinen und anderen Werkzeugmaschinen ist Anlauf ohne Belastung unmöglich, denn gewöhnlich macht es nicht viel aus, ob der Stahl schneidet oder nicht, der Motor gebraucht zum Antrieb der leergehenden Bank fast genau denselben Strom, als wenn der Stahl schneidet, weil die Reibung einer solchen Werkzeugmaschine den größten Teil der zu liefernden Arbeit ausmacht. Im allgemeinen kann man keine bestimmten Angaben für diese verschiedenen Fälle machen, man muß eben die Anlasser von Fall zu Fall besonders bestimmen und ihre Konstruktion so ausführen, daß trotzdem Massenherstellung möglich ist. Jedenfalls kann man nicht allgemein sagen, ein 10 PS-Motor muß einen bestimmten Anlasser haben und ein 20 PS-Motor einen anderen entsprechend der Leistung. Der 20 PS-Motor kann leer anlaufen und der 10 PS-Motor mit Überlastung, dann würde letzterer einen größeren Anlasser erhalten müssen als der größere Motor. Man muß immer beim Anlasser die Betriebsbedingungen berücksichtigen, viel mehr noch als beim Motor, denn vom Anlassen hängt die Lebensdauer des Motors ab.

Für Anlauf mit reinem Leerlauf kann man 10 % des Normalstromes in die Gleichungen (33), (34), (22) und (35) einsetzen, während für J_1 ein stärkerer als der normale Strom ohne weiteres zulässig ist. Es erhält dann der Motor nach Gleichung (33) nur wenig Stufen. Die Kontaktflächen der Anlaufkontakte sind für einen mittleren Strom aus Leerstrom und Beschleunigungsstrom, aber für vorübergehende Belastung, zu bestimmen, nur die Kontaktfeder und der letzte Dauerkontakt müssen für den normalen Vollaststrom ausreichen.

Anlauf mit Überlastung: Es muß der Anlaufstrom J_1 entsprechend hoch gewählt werden, sonst ist die Berechnung dieselbe wie für normalen Anlauf. Es würde nur ein solcher Motor nach Gleichung (33) weniger Stufen erhalten, als bei Anlauf mit Vollast, weil das Verhältnis $\frac{J_1}{J}$ noch größer ist.

Hauptstrommotor, Anlauf mit Vollast. Die Hauptstrommotoren werden zu ganz anderen Zwecken und anderen Betrieben verwendet, wie die Nebenschlußmotoren. Weil sie ihre Umlaufzahl

in der Weise nach der Belastung einrichten, daß sie bei starker Belastung langsam laufen, bei schwacher schnell, sind sie zum Heben von Lasten und als Eisenbahnmotoren in Anwendung. Außerdem benutzt man sie zum Antrieb von Pumpen und Ventilatoren. Es kann hier nur der Fall behandelt werden, wo der Motor eine Pumpe antreibt, denn dabei ist er immer gleichmäßig belastet und läuft mit konstantem Drehmoment an. Beim Antrieb eines Ventilators kann man nur durch Zeichnung den Anlasser bestimmen (vergl. Abschnitt XII), weil das Drehmoment während des Anlaufens sich ändert [Gleichung (19)].

Auch beim Hauptstrommotor ist für das Drehmoment die Gleichung (20) gültig:

$$D = C \cdot \Phi \cdot J_a;$$

für eine Pumpe ist aber D konstant, weil die Leistung nur proportional der Umdrehungszahl ist [Gleichung (15)], folglich ist Φ in Gleichung (20) mit J_a konstant und es kann in diesem Falle auch beim Hauptstrommotor wie in Gleichung (21) gesetzt werden:

$$D \equiv C \cdot J_a,$$

so daß auch hier an Stelle des Drehmomentes D der Strom benutzt werden kann, jedoch ist der Anlauf mit kleinerem Strom möglich als bei einem gleichen Nebenschlußmotor, da mit J sich auch Φ vergrößert. Es gelten demnach für den Hauptstrommotor mit Anlauf für konstantes Drehmoment dieselben Gleichungen, wie sie für den Nebenschlußmotor abgeleitet werden, also die die Gleichungen (33), (34), (22), (35), ntr muß beim Hauptstrommotor in sämtlichen Gleichungen an Stelle von w_a der Ausdruck $w_a + w_m$ gesetzt werden, weil Anker und Magnete hintereinander geschaltet sind. Auch die übrigen beim Hauptstrommotor möglichen Belastungsfälle mit Anlauf für veränderliches Drehmoment oder mit Überlastung sind besser durch Zeichnung zu bestimmen, wie später gezeigt wird.

Drehfeldmotor, Anlauf mit Vollast. Beim Drehfeldmotor kann man in ähnlicher Weise vorgehen, wie beim Gleichstrommotor. Aber es kann auch hier nur der Fall rechnerisch behandelt werden, bei welchem während des Anlaufens das Drehmoment konstant ist (vergl. S. 98). Fig. 29 zeigt die Anlaßschaltung für einen Dreiphasenmotor mit dreiphasig gewickeltem Läufer (Anker) für Kurzschlußschaltung. Beim Anlaufen wird der Anlasser W allmählich abgeschaltet bis zu der Betriebsstellung der dreiarmligen Anlaßkurbel,

in welcher Stellung sie in Fig. 29 gezeichnet ist, und bei welcher die drei Phasen des Ankers kurzgeschlossen sind. Die im Anker induzierte E. M. K. E ist dann proportional dem Geschwindigkeitsunterschied zwischen Drehfeld und Läufer, also proportional den Schlüpf Touren, und die verkettete Spannung zwischen den Leitungen ist

$$e = \sqrt{3} \cdot E \dots \dots \dots (36)$$

wenn sinusähnliche Kurve vorausgesetzt wird, was bei Drehfeldmotoren gewöhnlich ziemlich gut zutrifft.

Beim Einschalten des Motors steht der Läufer. Dann sind die Schlüpf Touren groß und der im Anker erzeugte Strom hat hohe Wechselzahl, aber auch große Phasenverschiebung, weil die Selbstinduktionsspannung groß ist. In Fig. 111 ist das bekannte Spannungsdreieck gezeichnet. Induziert wird die verkettete Spannung e . Die E. M. K. der Selbstinduktion ist $e_s = 2 \pi \cdot \nu \cdot L \cdot J$, wobei $\nu = \frac{(n_1 - n_2) \cdot p}{60}$ die Wellen- oder Periodenzahl des Stromes

ist und n_1 die Umlaufzahl des Drehfeldes, also die synchrone, während n_2 diejenige des Läufers ist. e_w ist dann die wirksame Spannung. Vernachlässigt sind in dem Dreieck (Fig. 111) die OHMSchen Spannungsverluste.

Damit der Anker anläuft, muß er einen Beschleunigungsstrom J_1 erhalten. Wenn der Anker still steht, ist die Phasenverschiebung am größten und es gilt die Gleichung:

$$J_1 = \frac{e \cdot \cos \varphi_{max}}{2 w_i + 2 W} = \frac{\sqrt{3} \cdot E \cdot \cos \varphi_{max}}{2 w_i + 2 W} = \frac{e_w}{2 w_i + 2 W} \dots \dots \dots (37)$$

daraus folgt der gesamte Anlaßwiderstand zu:

$$W = \frac{e_w}{2 J_1} - w_i \dots \dots \dots (38)$$

Der durch diesen Widerstand hervorgerufene Beschleunigungsstrom J_1 versetzt den Läufer in Drehung, dadurch vermindert sich die in ihm entstehende E. M. K. e_w und der Strom geht herunter auf den normalen Wert J . Man erhält auch hier für jeden Kontakt

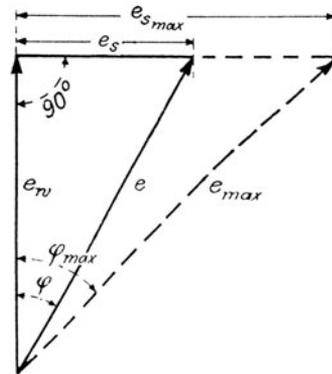


Fig. 111. Spannungsdreieck bei Wechselstrom.

zwei Gleichungen wie bei Gleichstrom und kann das Verhältnis $\frac{J_1}{J}$ für jede Stufe aufstellen. Bei n Stufen hat man dann wieder n Gleichungen von der Form:

$$\frac{J_1}{J} = \frac{W + w_i - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}}{W + w_i - w_1 - w_2 - \dots - w_n},$$

also genau wie Gleichung (30). Durch Multiplizieren der n Gleichungen ergibt sich hier die Stufenzahl:

$$n = \frac{\log \frac{W + w_i}{w_i}}{\log \left(\frac{J_1}{J} \right)} \dots \dots \dots (39)$$

oder durch Einsetzen von Gleichung (38):

$$n = \frac{\log \frac{e_w}{2 J_1 \cdot w_i}}{\log \left(\frac{J_1}{J} \right)} \dots \dots \dots (40)$$

die durch Abrunden von n nach unten auf eine ganze Zahl bewirkte Änderung von J_1 ergibt sich hierzu

$$J_1 = J \sqrt[n+1]{\frac{e_w}{2 \cdot J \cdot w_i}} \dots \dots \dots (41)$$

und die einzelnen Stufen ergeben sich aus der allgemeinen Gleichung

$$w_n = (W + w_i - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}) - \left[(W + w_i - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1}) \frac{J}{J_1} \right] \dots \dots (42)$$

also genau dieselbe Gleichung (35) nur ist für w_n der Wert w_i zu setzen. Im übrigen läßt sich also der Anlasser für Drehfeldmotoren mit Anlauf bei Vollast und konstantem Drehmoment genau so berechnen wie beim Gleichstrom-Nebenschlußmotor. Die Schwierigkeit liegt hier in der Bestimmung von e_w , was mit Hilfe von Wattmeter, Amperemeter und Voltmeter zu geschehen hat oder sich aus der Vorausberechnung des Motors ergibt. Einfacher ist aber für Drehfeldmotoren die Anlasserbestimmung durch Zeichnung, wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird. Bei Anwendung der KAHLENBERG-Schaltung (Fig. 31) kann man zur Bestimmung der Stufenzahl eine Erfahrungsgleichung benutzen (vergl. MOSLER, Konstruktion und Berechnung'

von Selbstanlassern für Aufzüge mit Druckknopfsteuerung, Berlin 1904, Julius Springer), nach welcher die Zahl n der Widerstände pro Phase sich ergibt zu

$$n = \frac{\log \left(\frac{1}{1,25} \cdot \frac{e_w}{J n_i} \right)}{\log 2,5} \dots \dots \dots (43 a)$$

Den Gesamtwiderstand bestimmt man nach Gleichung (38). Da es bei der KAHLLENBERG-Schaltung nicht so sehr auf genaue Stufung ankommt, kann man die Größe der einzelnen Widerstände nach dem Gefühl bestimmen, die meist abgeschalteten größer, die letzten kleiner.

Allgemeine Regeln für sämtliche Anlasser: Die nach vorstehenden Methoden berechneten Anlasser sind nur derjenige Teil des Widerstandes, welcher zum Anlaufen benutzt wird. Sind die Motoren sehr groß, so ist es zweckmäßig, vor den eigentlichen Anlaßwiderstand noch einige besondere Widerstandsstufen zum Einschalten zu legen. Dem beim plötzlichen Einschalten des starken Beschleunigungsstromes würden sämtliche in der Nähe angeschlossene Lampen dunkler werden. Wird aber der Strom erst allmählich eingeschaltet, so hat der Maschinist in der Zentrale Zeit, mit der Spannung nachzuregulieren.

Die Größe der Einschaltstufen hat mit der eigentlichen Anlasserberechnung nichts zu tun. Sie ist sehr einfach an einem Beispiel erklärt (vergl. Abschnitt XV, Fig. 127, Beispiel 3). Besser ist noch im vorliegenden Fall dem Motor das Anlaufen durch eine Compoundwindung zu erleichtern (vergl. Fig. 28 und S. 28).

Abschnitt XII.

Bestimmung der Anlasser durch Zeichnung.¹⁾

Wie schon im vorigen Abschnitt gesagt war, lassen sich nicht in allen Fällen die Anlasser berechnen. Durch Zeichnung ist aber stets in einfacher Weise ihre Bestimmung möglich. Da die Anlasser im Gegensatz zu den Reglern immer verhältnismäßig wenig Stufen und Kontakte haben, so ist bei ihnen die Aufzeichnung sehr leicht außerordentlich genau ausführbar, während bei der zeichnerischen Bestimmung eines Reglers ziemliche Ungenauigkeit wegen der vielen Kontakte eintritt und diese besser berechnet werden können.

Nebenschlußmotor.

Bei diesem Motor wird im allgemeinen nur der Fall eintreten, daß beim Anlaufen das Drehmoment konstant bleibt, vergl. vorigen Abschnitt Gleichung (15) und (18), weil er nur in solchen Fällen benutzt wird und in den übrigen Fällen immer Hauptstrommotoren angewendet werden. Für den Nebenschlußmotor gilt dann die Gleichung (21), vergl. vorigen Abschnitt, wonach man nicht das Drehmoment D , sondern den Strom zur Bestimmung des Anlассers benutzt. Dasselbe geschieht auch hier bei der Bestimmung durch Zeichnung.

In Fig. 112 sind die stark gezeichneten Kurven *II*, *III*, *IV* diejenigen, welche zur Bestimmung des Anlассers benutzt werden. Kurve *II* zeigt die Umlaufszahl n des Motors bei konstanter zugeführter Klemmenspannung E in Abhängigkeit von der Strom-

¹⁾ Die nachstehenden Methoden sind vom Verfasser in der Zeitschrift für Elektrotechnik (jetzt Elektrotechnik und Maschinenbau), Wien 1903, Heft 40, veröffentlicht und hier etwas verändert wiedergegeben.

stärke J . Man findet die Kurve *II* aus folgender Überlegung: Wäre der Widerstand des Ankers $w_a = 0 \Omega$, dann müßte der Anker eine E. M. K. E_g entwickeln, welche genau gleich der zugeführten Klemmenspannung E wäre; also

$$E_g = E = C \cdot \Phi \cdot n.$$

Aus dieser Gleichung folgt, daß es für die zeichnerische Bestimmung des Anlассers gleichgültig ist, ob man in den Fig. 112 und 113 n oder E aufträgt.

Wäre Φ konstant, dann würde auch n konstant sein, Φ nimmt aber bei zunehmender Stromstärke J ab wegen der Rückwirkung des

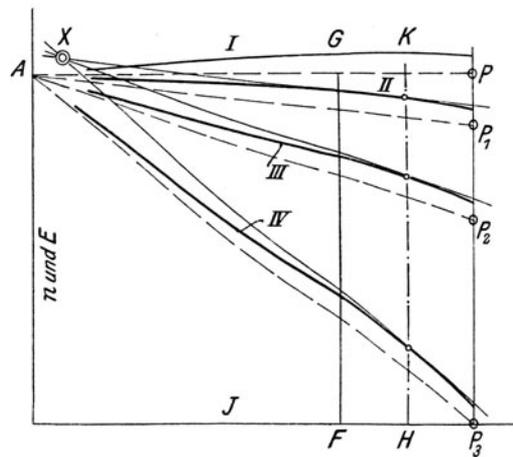


Fig. 112. Bestimmung der Tourenkurven bei Nebenschluß.

Ankerfeldes, welche ungefähr proportional mit J verläuft. Es müßte also aus diesem Grunde die Umlaufszahl mit J zunehmen etwa nach Kurve *I*, bei welcher die Rückwirkung in Spannung oder Umdrehungen umgerechnet von der Geraden AP nach oben aufgetragen ist. Beträgt der Ankerwiderstand $w_a \Omega$, dann muß der Anker eine E. M. K. entwickeln:

$$E_g = E - J_a \cdot w_a.$$

Würde keine Rückwirkung des Ankerfeldes vorhanden sein, sondern nur OHmscher Spannungsverbrauch $J_a \cdot w_a$ im Anker auftreten, dann müßte die Umlaufszahl des Ankers nach der Geraden AP_1 abnehmen mit zunehmendem J . Der wirkliche Verlauf der Umdrehungszahl ergibt sich aus Kurve *II*, welche aus Kurve *I* und der Geraden AP_1 resultiert, indem man die Ordinatendifferenzen von $AP - AP_1$

von Kurve *I* aus nach unten abträgt. Schaltet man einen beliebigen Widerstand $W_1 \Omega$ vor den Anker, dann fällt die zu entwickelnde E. M. K. des Ankers ab nach der in ähnlicher Weise bestimmten Geraden AP_2 , und unter Berücksichtigung der Ankerrückwirkung ist dann die wirkliche Umlaufszahl des Motors durch Kurve *III* gegeben. Bei Vorschaltung eines anderen Widerstandes $W_2 \Omega$ fällt E_g ohne Berücksichtigung der Ankerrückwirkung nach der Geraden AP_3 ab, folglich die Umdrehungszahl nach Kurve *IV*. Da alle Kurven für n entstanden sind aus den im Punkt *A* zusammen-treffenden Geraden, zu deren Ordinaten die Differenzen zwischen der Geraden für E_g und Kurve *I* addiert sind, so müssen auch die

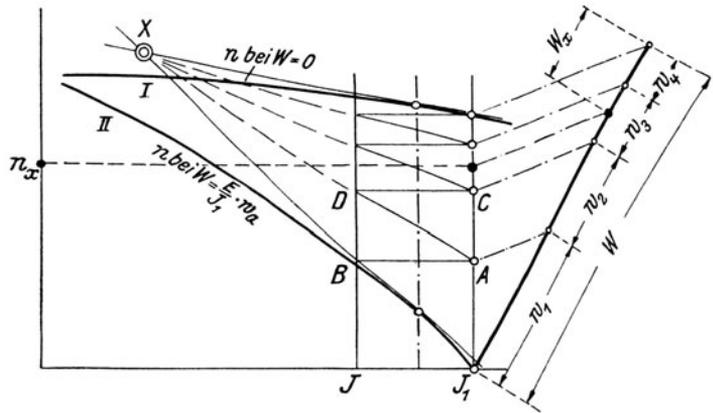


Fig. 113. Bestimmung der Anlaufstufen bei Nebenschluß.

auf derselben Ordinate, z. B. HK , an die Kurven *II*, *III*, *IV* gelegten Tangenten in einem einzigen Punkt *X* zusammentreffen. Diese Eigenschaft der Kurven gibt die Möglichkeit, auf einfache Weise die Bestimmung des Anlassers durch Zeichnung durchzuführen. Man braucht nur eine Kurve von diesen drei Kurven *II*, *III* oder *IV* in Fig. 112 zu kennen, dann lassen sich für beliebige vorgeschaltete Widerstände die anderen Umlaufzahlkurven aus der bekannten ableiten.

In Fig. 113 ist dann die Anwendung des vorhin Erläuterten gezeigt. Es sei J die normale Stromstärke, dann muß zum Anlaufen die Beschleunigungsstromstärke J_1 auftreten (vergl. vorigen Abschnitt). Dabei steht der Motor still (also $n = 0$), es gilt also der Schnittpunkt der Kurve *II* mit der Abzisse. Beim Anlaufen fällt der Strom durch die sich entwickelnde E. M. K. des Ankers auf der

Kurve *II* bis zum Strom J , also bis Punkt B . Durch Abschalten der ersten Stufe w_1 des Anlasser infolge Weiterdrehung der Kurbel auf den nächsten Kontakt steigt dann der Strom wieder auf J_1 , dabei bleibt die Umlaufszahl einen Augenblick lang konstant, folglich ist B mit A zu verbinden, von A fällt J_1 wieder auf J , dabei erhöhen sich die Umläufe bis zum Punkt D usf. bis schließlich bei Punkt F auf Kurve *I* der Motor normal läuft. Es entsprechen, wie schon bei Fig. 112 gezeigt wurde, die Abschnitte auf der Ordinate $J_1 E$, welche die Strahlen von X aus auf dieser hervorbringen, den einzelnen vor den Anker geschalteten Widerständen. Man findet X , indem man durch die dem mittleren Strom $J_{\text{mittel}} = \frac{J + J_1}{2}$ entsprechende Ordinate die Tangenten an die Kurven *I* und *II* legt. Dann trägt man unter einem beliebigen Winkel eine Gerade von der Länge $W = \frac{E}{J_1} - w_a$ auf und verbindet deren einen Endpunkt mit E , zieht zu dieser Linie parallele, welche durch die Schnittpunkte A, C usw. der Ordinate $J_1 E$ gehen und findet die einzelnen Stufen des Anlasser nach Fig. 113 zu w_1, w_2, w_3 .

Bei Leeranlauf oder geringer Belastung (vergl. S. 97) des Motors kann die zeichnerische Bestimmung des Anlasser in derselben Weise erfolgen. Es rückt dann nur die Linie $J.F$ entsprechend dem kleinen Leerstrom weiter nach links.

Bei Überlastung rücken die Linien $J D$ und $J_1 C$ den stärkeren Strömen J und J_1 entsprechend weiter auseinander.

Hauptstrommotor.

Auch beim Hauptstrommotor gilt die allgemeine Gleichung (20) für das Drehmoment, $D = C \cdot \Phi \cdot J_a$. Es ist aber die Feldstärke Φ abhängig von J und man legt deshalb bei diesem Motor zur zeichnerischen Bestimmung die Kurven des Drehmomentes zugrunde. Es ist:

$$\Phi = C_1 \cdot E_g,$$

folglich:

$$D = C \cdot C_1 \cdot E_g \cdot J = C \cdot E_g \cdot J. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

Man bestimmt die Kurve für E_g , welche die Leerlaufcharakteristik abzüglich der Ankerrückwirkung darstellt und kann daraus zunächst die Kurven für die Umlaufszahlen *I, II, III* abhängig von J ermitteln nach Fig. 114.

Es ist bei Punkt P_5 die Stromstärke J_1 , die im Anker induzierte E. M. K. ist E_{g_1} , bei derjenigen Umlaufszahl n_1 , für welche die Kurve V in Fig. 114 aufgestellt wurde. Ist der Ankerwiderstand $w_a \cdot \Omega$, dann muß die im Anker zu entwickelnde E. M. K. E_g bei konstanter zugeführter Klemmenspannung E abhängig von J nach der Geraden AP_1 verlaufen, indem auf der Ordinate, also bei Punkt A , der Strom $J = 0$ ist und $E_g = E$ sein muß. Für den Strom $J = J_1$ wird $E_g = E - J_1 \cdot w_a$, man macht also von der wagerechten AP aus die Strecke $PP_1 = J_1 \cdot (w_a + w_H)$ und verbindet A mit P_1 durch eine Gerade. Man findet dann Punkt P_2 entsprechend der Umlaufszahl n_x , welche bei dem Strom J_1 eintritt, durch die Gleichung:

$$\frac{J_1 \cdot E_{g_1}}{J_1 \cdot P_1} = \frac{n_1}{n_x} \dots \dots \dots (45)$$

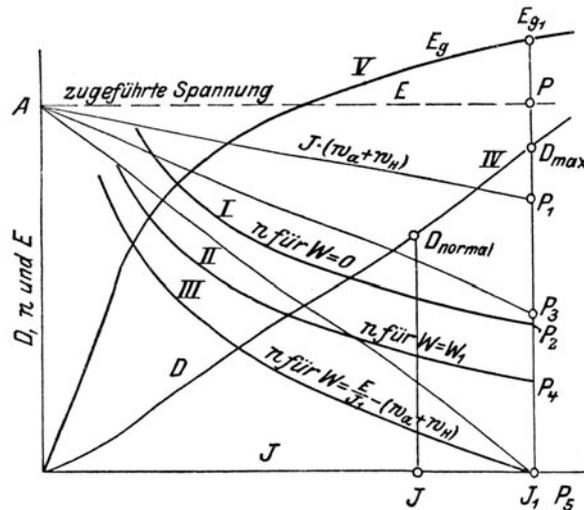


Fig. 114. Tourenkurven und Drehmoment bei Hauptstrom.

wobei n_1 die Umlaufszahl ist, welche für die Kurve V gilt. Auf dieselbe Weise kann man für mehrere Ströme J_2, J_3 die zugehörigen Umlaufszahlen bestimmen und schließlich die ganze Kurve I in Fig. 114 aufzeichnen. Diese Kurve gilt für $W = 0$, das heißt, es liegt nur der Widerstand des Ankers im Stromkreis. Für verschiedene Widerstände W_1, W_2 usw. vor dem Anker kann man in derselben Weise die tiefer liegenden Kurven II und III aufzeichnen, wobei die Kurve III für den Fall ermittelt ist, wo der vorgeschaltete Widerstand:

$$W = \frac{E}{J_1} - w_a$$

beträgt, also der für den gewünschten Anlaufstrom J_1 nötige Anlasser. Sodann muß noch die Kurve des Drehmomentes D aufgezeichnet werden, indem einfach in einem beliebigen Maßstab das Produkt $E_g \cdot J$ [nach Gleichung (44)] aufgetragen wird, abhängig von J , so erhält man Kurve IV für D in Fig. 114. Man braucht in Fig. 114 nur die Kurven I für $W = 0$ und III für $W = \frac{E}{J_1} - w_a$ zu bestimmen, aus diesen kann man dann nach Fig. 115 die Stufenzahl und die Stufung des Anlasser finden.

Man zeichnet sich aus Fig. 114 und Kurve I die zusammengehörigen Werte für D und n abhängig auf und erhält Kurve I

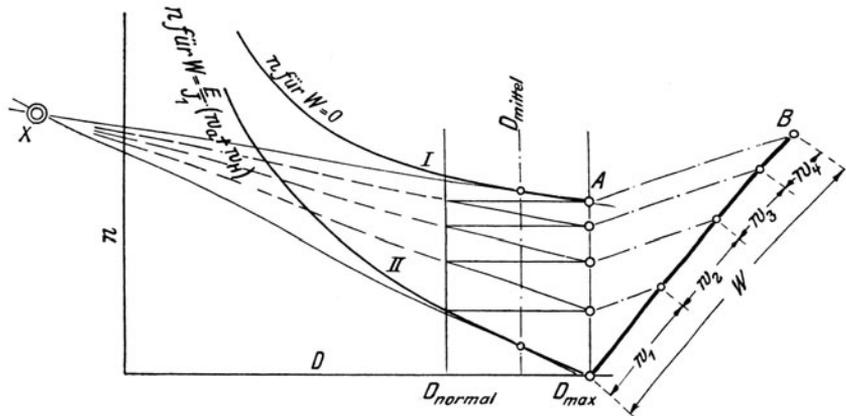


Fig. 115. Anlasser für konstantes Drehmoment bei Hauptstrom.

in Fig. 115, ebenso zeichnet man aus Fig. 114 und Kurve III die zusammengehörigen Werte von D und n auf und erhält Kurve II in Fig. 115. Wenn D wenig von einer Geraden abweicht, kann man die Konstruktion in Fig. 115 gleich in Fig. 114 ausführen (vergl. Beispiel 5).

Für Anlauf mit konstantem Drehmoment (vergl. S. 98) folgt dann aus Fig. 115 die Bestimmung des Anlasser W und seiner Stufen $w_1, w_2, w_3 \dots$, genau wie S. 111 beschrieben, durch die Ordinaten D_{normal} und D_{max} , welche dem normalen Strom J und dem Anlaufstrom J_1 entsprechen und aus Fig. 114 entnommen werden. Die Tangenten zum Auffinden von X sind an der zu dem mittleren Drehmoment $\frac{D_{normal} + D_{max}}{2} = D_{mittel}$ gehörige Ordinate zu ziehen.

Anlauf mit veränderlichem Drehmoment. Hauptstrommotoren werden gewöhnlich zum Antrieb von Ventilatoren, Krause, Anlasser und Regler. 2. Aufl. 8

schnitt, S. 103). Man braucht dann nur die beiden Geraden für D_{normal} und D_{max} entsprechend weit auseinander zu rücken. Meist ist in diesem Fall die Zahl n der Stufen des Anlассers gegeben zu 3 bis 4 (vergl. S. 74) und man muß am besten durch Versuchen in Fig. 115 den Abstand des Drehmomentes D_{max} von D_{normal} festlegen, so daß das Anlaufmoment D_{max} zu D_{normal} und der Stufenzahl paßt, denn auch hier hängt ebenso wie bei der Berechnung der Anlассer schon gezeigt wurde, von der Stufenzahl das Verhältnis $\frac{D_{max}}{D_{normal}}$ ab. Es ergibt sich dann die Stufung wie in Fig. 115 und

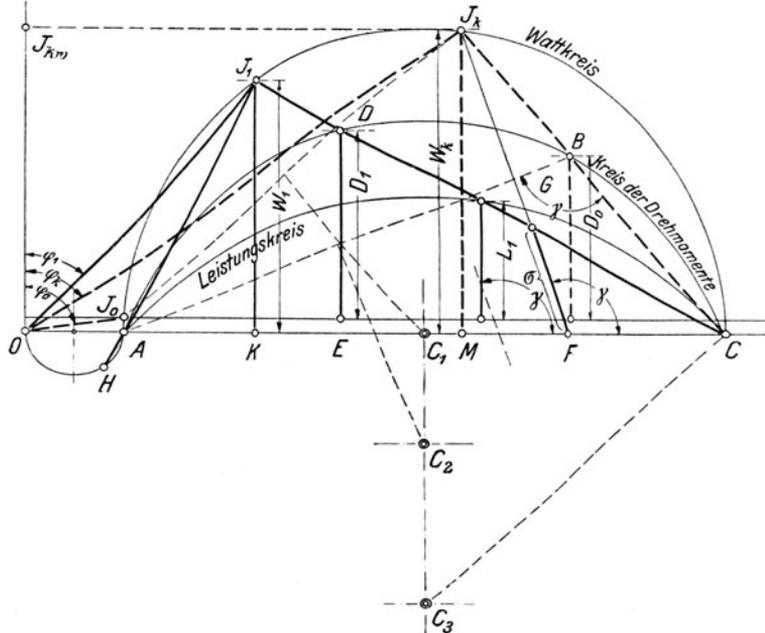


Fig. 117. HEYLAND-Diagramm.

der Wert W folgt aus dem zu D_{max} gehörigen Strom J_1 zu $W = \frac{E}{J_1} - (w_a + w_H)$. Angenähert kann man auch durch die Anwendung von Gleichung (34) den stärksten Strom J_1 bestimmen und dazu das passende Drehmoment aufsuchen.

Drehfeldmotor.

Beim asynchronen Drehfeldmotor kann die Kurve des Drehmomentes für die Anlассerbestimmung sehr einfach aus dem Diagramm von HEYLAND, Fig. 117, entnommen werden.

Es möge hier kurz auf die Bestimmung des Diagrammes eingegangen werden.

An dem leerlaufenden, mit der normalen Spannung E und der normalen Strom-Wellenzahl (Periodenzahl) betriebenen Motor wird gemessen:

1. Leerlaufsstrom $= J_0$ und Wattverbrauch $= W_0'$ pro Phase.
Darauf wird der Läufer fest gebremst, daß er sich nicht drehen kann, und gemessen.
2. Kurzschlußstrom J_k und Wattverbrauch W_k pro Phase.
3. OHMScher Widerstand pro Phase w_i .

Aus den unter 1—3 aufgeführten Messungen kann man das Diagramm aufzeichnen.

Aus dem Wattverbrauch bei Leerlauf und der Spannung E ergibt sich der Wattstrom:

$$\frac{W_0'}{E \cdot \sqrt{3}} = J_{w_0} = \overline{J_0 A} \text{ in Fig. 117.}$$

Damit ist das rechtwinklige Dreieck $O J_0 A$ bestimmt, J_0 ist ein Punkt des Wattkreises. Ein zweiter Punkt dieses Kreises ist J_k , den man dadurch findet, daß man den Wattstrom bei Kurzschluß J_{k_w} auf der Ordinate aufträgt und das rechtwinklige Dreieck $O J_{k_w} J_k$ aufzeichnet. Es ist dabei:

$$J_{k_w} = J_k \cdot \cos \varphi_k \text{ und}$$

$$\cos \varphi_k = \frac{W_k}{J_k \cdot E \cdot \sqrt{3}};$$

Der Mittelpunkt des Wattkreises ist dann der Schnittpunkt C_1 , der auf der Mitte der Strecke $\overline{J_0 J_k}$ errichteten Senkrechten mit der Geraden OC . Mit Hilfe des Wattkreises läßt sich zu jeder beliebigen Stromstärke $\overline{O J_1} = J_1$ die Phasenverschiebung φ_1 und die elektrische dem Motor zuzuführende Energie in Watt W_1 aus dem Diagramm entnehmen. Der Wert der Strecke W_1 ergibt sich aus der bekannten Strecke W_k . Bezeichnen l_1 und l_k die Längen der Strecken W_1 und W_k im Diagramm, so wird die Wattzahl pro Phase:

$$W_1 = W_k \cdot \frac{l_1}{l_k}, \text{ die elektrische Gesamtleistung also } 3 W_1.$$

Der zweite Kreis, der Kreis der Drehmomente, muß durch die Punkte C und A gehen und ist bestimmt durch den Punkt B auf

der Strecke $\overline{J_k C}$. Man findet B aus der Länge der Strecke $J_k B$ nach der Gleichung:

$$\overline{J_k B} = \overline{OC} \cdot \frac{J_k \cdot w_i \cdot \sqrt{3}}{E \cdot \sqrt{3}} = \overline{OC} \cdot \frac{J_k \cdot w_i}{E}.$$

Verbindet man A mit B und errichtet auf \overline{AB} eine Mittelsenkrechte, so ist C_2 der Mittelpunkt des Kreises der Drehmomente.

Will man das Drehmoment wissen, welches bei einer beliebigen Stromstärke J_1 entwickelt wird, so verbindet man J_1 mit C . Es ist dann D_1 das gesuchte Drehmoment, dessen zahlenmäßiger Wert erst nach Bestimmung des dritten Kreises, des Leitungskreises, festgestellt werden kann. Dieser Kreis muß auch durch C gehen, aber so, daß der Kurzschlußstrom $J_k = \overline{OJ_k}$ in C Tangente an diesen Kreis ist. Daraus ergibt sich C_3 als Mittelpunkt für den Leistungskreis, und für die beliebige Stromstärke $J_1 = \overline{OJ_1}$ findet man die Leistung des Motors zu L_1 .

Der zahlenmäßige Wert von L_1 in PS. ergibt sich aus der Gleichung:

$$N_{1PS} = \frac{3 \cdot L_1 (W_1 - W_0')}{J_1 K \cdot 736}, \quad \dots \quad (47)$$

dabei müssen L_1 und $\overline{J_1 K}$ mit demselben Maßstab im Diagramm gemessen werden.

Der Zahlenwert des Drehmomentes in mkg folgt daraus zu

$$D_1 = \frac{N_{1PS} \cdot 60}{75 \cdot 2 \pi \cdot n_2} \text{ mkg} = \frac{PS_1}{n_2} \cdot 0,1272 \text{ mkg}. \quad \dots \quad (48)$$

n_2 ist die minutliche Umdrehungszahl des Läufers und ergibt sich aus dem Abschnitt $\sigma = FG$ im Diagramm, welcher der Schlüpfung in Prozenten entspricht. Man findet σ , indem durch J_k eine Gerade unter dem Winkel $\gamma = ABC$ gelegt wird. Die Linie $\overline{J_1 C}$ schneidet dann σ auf dieser Geraden ab. Die ganze Länge der Strecke $\overline{J_k F}$ entspricht einer Schlüpfung von 100 0/0, folglich ist:

$$\sigma = 100 \frac{\overline{GF}}{\overline{J_k F}}$$

und es wird die Tourenzahl des Läufers:

$$n_2 = \frac{v \cdot 60}{p} - \frac{\sigma \cdot \frac{v \cdot 60}{p}}{100}; \quad \dots \quad (49)$$

v ist die Wellenzahl, p die halbe Polzahl.

Um bei der Querschnittsfestlegung des Anlaßmateriales den Läuferstrom zu finden, benutzt man die Strecke $\overline{HJ_1}$ im Diagramm. Wäre J_1 der Anlaufstrom, dann ist $\overline{HJ_1}$ der zugehörige Läuferstrom aus der Gleichung:

$$J_2 = \overline{HJ_1} \frac{N_1}{N_2},$$

wobei N_1 die Drahtzahl im Feld, N_2 die im Läufer ist. Weiter erkennt man auch dasjenige Anlaufsmoment, welches der Motor besitzt, wenn man ihn ohne Anlasser, also mit kurz geschlossenem Läufer anlaufen läßt, es ist D_0 (vergl. S. 52).

Wenn der Motor nun klein ist und nach Fig. 60, S. 54 angelassen werden darf, findet man den vorzuschaltenden Widerstand w_x , wie schon auf S. 53 angegeben ist.

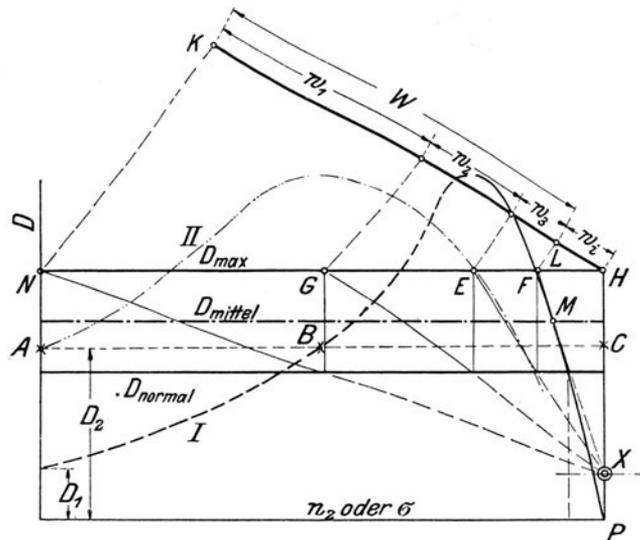


Fig. 118. Stufung des Drehfeldanlassers für konstantes Drehmoment.

Bei größeren Motoren, deren Stromstärke bei dem soeben erwähnten einstufigen Anlassen zu hoch werden würde, muß man mehrere Stufen anordnen und hinter dem größten Drehmoment anlaufen lassen.

Bei Anlauf mit konstantem Drehmoment [vergl. S. 98 und Gleichungen (15) und (18)] erfolgt die Bestimmung des Anlassers und seiner Stufung nach Fig. 118. Die Größe von W findet man mit Hilfe des Widerstandes w_i einer Phase, welcher bekannt sein muß, indem man eine beliebige schräge Gerade HK durch H zieht und auf ihr $w_i = \overline{LH}$ abträgt. Dann verbindet man L mit F und

zieht durch die Punkte E, G, N Parallele zu FL . Die Abschnitte auf KH entsprechen in dem Maßstab für n_i den Stufen des Anlasser. Der Anlasser muß dann dreifach nach Fig. 29 ausgeführt werden. Notwendig ist zur Bestimmung des Anlasser nur der ausgezogene Teil der Kurve I . Die Lage des Poles X findet man durch die erste Tangente bei M , dem mittleren Drehmoment entsprechend. Der Schnittpunkt dieser Tangente mit der Ordinate durch P , woselbst $n_2 = n_1 = \frac{v \cdot 60}{p}$ ist, also der Läufer synchron laufen würde, ist X .

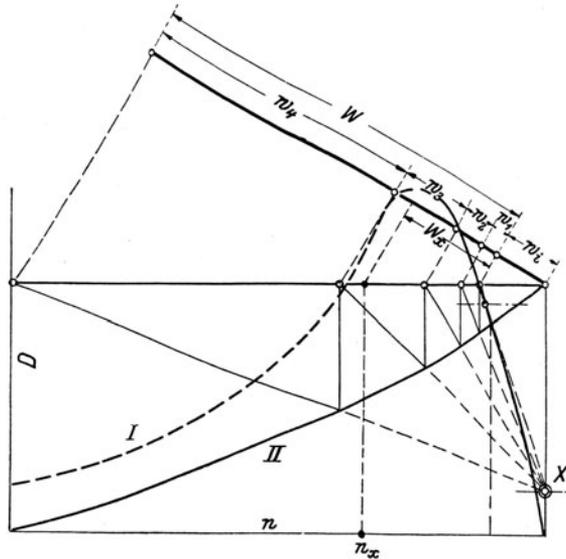


Fig. 119. Stufung von Drehfeldanlassern für veränderliches Drehmoment.

Für Leeranlauf oder Anlauf mit geringer Belastung bleibt genau dieselbe Anlasserbestimmung, nur liegen dann die Geraden für D_{max} und D_{normal} entsprechend weiter auseinander.

Bei Anlauf mit veränderlichem Drehmoment (vergl. S. 98) muß die Kurve des Drehmomentes für verschiedene Umlauffrequenzen bekannt sein. Man ermittelt sie mit einem Gleichstrommotor, wie S. 114 angegeben, muß aber jetzt in demselben Maßstab aufzeichnen, wie der Wert von D_{max} , der beim Anlaufen zugelassen wird. Es ist aus dem HEYLAND-Diagramm nach S. 115 die mechanische Leistung N_1 in PS. [Gleichung (47)] und das Drehmoment D_1 [Gleichung (48)] in mkg zu bestimmen.

Die durch Versuche mit dem Gleichstrommotor nach S. 114 ermittelten Drehmomente berechnen sich in mkg aus den Watt nach der Gleichung (46)

$$D = \frac{\text{verbrauchte Watt} \cdot \eta}{2 \pi \cdot n} \text{ zu}$$

$$D = \frac{\text{verbrauchte Watt} \cdot \eta \cdot 60}{2 \pi \cdot n \cdot 736 \cdot 75} \text{ in mkg.}$$

Die Kurve *II* in Fig. 119 entspricht dann den auf die oben beschriebene Weise ermittelten Werten, abhängig von n , und die Bestimmung des Anlassers ist aus derselben Figur ohne weiteres verständlich.

Die Stromstärke, welche durch den Anlasser hindurch fließt, ist diejenige des Läufers. Sie ist dem HEYLAND-Diagramm Fig. 117 zu entnehmen nach S. 118.

Abschnitt XIII.

Berechnung der Tourenregler für Motoren.

Bei den Motoren kann die Tourenregelung, wie schon S. 58 besprochen wurde, abwärts oder aufwärts von der normalen Tourenzahl erfolgen. Abwärts durch Vorschalten von Widerstand vor den Anker, aufwärts durch Schwächung des Magnetfeldes.

Bei der Tourenregelung abwärts arbeitet der Motor mit veränderlicher Spannung. Es ist also die Leistung bei der kleinsten Tourenzahl auch am kleinsten. Ist das zu leistende Drehmoment des Motors bei allen Umdrehungen konstant (vergl. S. 98), so gilt bei Nebenschlußmotoren folgendes:

$$n = \frac{E_g \cdot 60 \cdot 10^8 \cdot A}{\Phi \cdot N \cdot P} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (50)$$

dabei ist Φ die Kraftlinienzahl jedes Poles, P die Polzahl, N die Drahtzahl, A die gesamte Zahl der parallelen Ankerstromzweige.

Weiter ist

$$E_g = E - [(J - i) (v_a + W)] \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (51)$$

Aus diesen beiden Gleichungen läßt sich die Größe des vor den Anker zu schaltenden Widerstandes bestimmen.

Noch einfacher läßt sich aus Messungen am Motor bei voller Belastung und normaler Tourenzahl der Widerstand bestimmen. Es wird gemessen E , J , v_a , i , n , dann ist $E_g = E - (J - i) v_a$ bei kurzgeschlossenen Anlasser. Soll die Tourenzahl erniedrigt werden, auf n' , dann ist dazu eine neue elektromotorische Gegenkraft E_g' nötig, deren Größe sich bestimmt zu

$$E_g' = \frac{n' \cdot E_g}{n},$$

woraus der vorzuschaltende Widerstand W oder der für Dauer-

belastung (vergl. Fig. 66 und 67) einzurichtende Teil des Anlassers sich berechnet nach der Gleichung:

$$E_g' = E - [(J - i)(w_a + W)],$$

folglich:

$$W = \frac{E - E_g' - (J - i)w_a}{J - i} \dots \dots \dots (52)$$

Aus Abschnitt XII, Fig. 113 ergibt sich ebenfalls der für Dauerbelastung einzurichtende Teil des Anlassers. Soll der Motor nur n_x Umläufe machen, so muß man den Teil W_x des Anlassers für Dauerbelastung einrichten. Man würde dann natürlich die Stufen w_3 und w_4 noch mit einer Anzahl Kontakten unterteilen müssen.

Bei Hauptstrommotoren verfährt man überhaupt am besten nach Abschnitt XII und zwar genau wie soeben bei Fig. 113 angegeben mit den Fig. 115 oder 116, indem man auf der Ordinate n_x abträgt und durch eine Wagerechte und weitere schräge Linie parallel zu AB den auf Dauerbelastung einzurichtenden Teil W_x des Anlassers für Tourenregelung abwärts findet. Für Drehfeldmotoren ist in Fig. 119 gezeichnet, wie man zu n_x den Vorschaltwiderstand W_x findet. Genau so würde man auch bei Fig. 118 verfahren.

Wie aber schon S. 59 erwähnt ist, wendet man die Tourenregelung abwärts fast nie an, höchstens bei kleinen Motoren für Ventilatoren. Es käme praktisch nur in Frage die Methode nach Fig. 116 und 119. Im ersten Fall ein kleiner Hauptstrommotor mit veränderlichem Drehmoment, im zweiten Fall ein ebenso kleiner Drehfeldmotor.

Die Tourenregelung von der normalen aufwärts geschieht bei Nebenschlußmotoren mit Hilfe der Schaltungen 69—72 durch Schwächung des Magnetstromes i . Man benutzt die Leerlaufcharakteristik I (Fig. 120), welche für die normale Tourenzahl n gilt. Soll die Umlaufzahl des Motors auf eine neue Tourenzahl n_1 erhöht werden, so kann man unter Vernachlässigung der Ankerückwirkung, welche doch nur höchstens 5 % ausmacht, die dazu gehörige schwächere Erregung i_1 aus einer Kurve II (Fig. 120) finden, welche sich aus Kurve I bestimmt nach der Gleichung:

$$E_g' = E_g \frac{n'}{n} \dots \dots \dots (53)$$

Die punktierte Linie in Fig. 120 würde dann der normalen, im Anker zu erzeugenden E. M. K. E_g entsprechen, welche nach der Gleichung bestimmt ist:

$$E_g = E - (J - i) \cdot w_a,$$

weil aber der OHMSche Spannungsabfall $(J - i) w_a$ auch immer nur wenige Prozent ausmacht, kann man mit genügender Genauigkeit setzen: $E_g = E$. Der in dem Nebenschlußstromkreis zu schaltende Regler wird dann:

$$R = \frac{E}{i_1} - w_m \dots \dots \dots (54)$$

wenn w_m der Magnetwiderstand ist. Meist ist die Tourenregelung in mehreren vorgeschriebenen Abstufungen einzurichten, der Motor soll also von der normalen aufwärts auf die 1,2fache, 1,3fache usw.

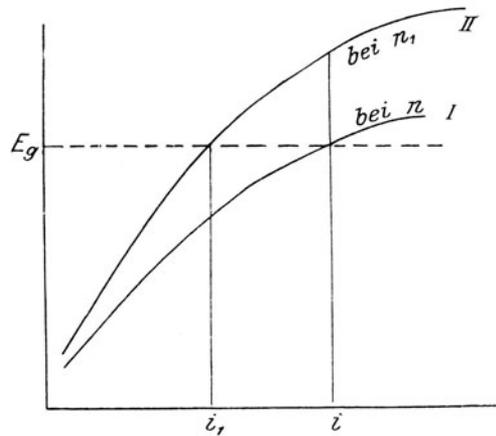


Fig. 120. Leerlaufcharakteristik zur Bestimmung der Tourenregelung aufwärts.

bis 1,8fache oder andere Abstufungen eingestellt werden, in diesem Fall muß man das beschriebene Verfahren mehrfach wiederholen, wie in Abschnitt XV, Beispiel 7, gezeigt ist.

Bei Hauptstrommotoren erreicht man die Tourenregelung aufwärts von der normalen ebenfalls durch Schwächung des Magnetstromes. Man benutzt auch hier die Leerlaufcharakteristik und verfährt genau wie beim Nebenschlußmotor. Die Größe R des nach Fig. 77 der Magnetwicklung w_m parallel zu schaltenden Widerstandes ergibt sich aus folgenden Gleichungen:

$$J = J_1 + J_2.$$

Dabei ist J der normale Strom, J_1 derjenige, welcher nach Fig. 120 in der Magnetwicklung vorhanden sein muß, wenn die Tourenzahl n' betragen soll (dort i_1 bezeichnet). Weiter ist:

Abschnitt XIV.

Bestimmung der Regler für Generatoren durch Berechnen und Zeichnung.

Wie aus der Überschrift hervorgeht, kann man die Regler für Generatoren auch durch Zeichnung bestimmen. Diese Methode

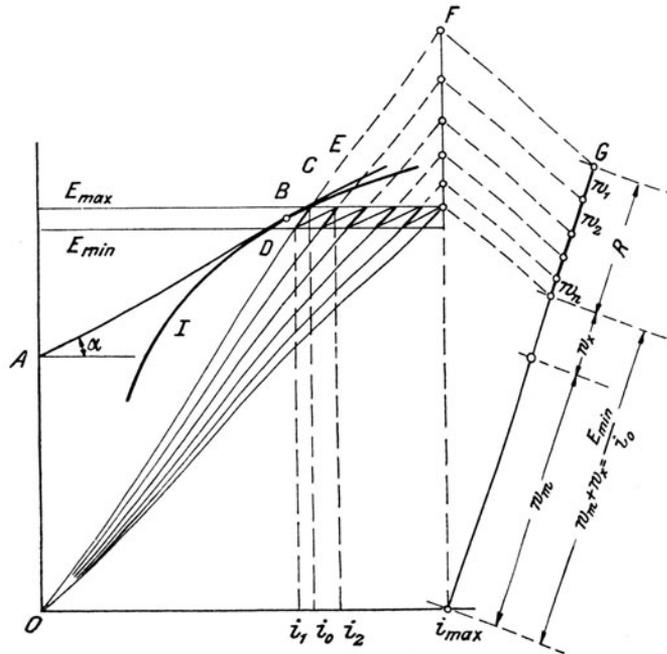


Fig. 121. Bestimmung eines Nebenschlußreglers durch Zeichnung.

ist aber im Gegensatz zu der Bestimmung der Anlasser durch Zeichnung hier nicht empfehlenswert, weil sie nur ungenau durchgeführt werden kann wie aus der nachstehenden Erläuterung und Fig. 121 folgt.

Es bedeutet in Fig. 121 die Kurve I die Leerlaufcharakteristik der Maschine und es möge die Klemmenspannung zwischen den Werten E_{max} und E_{min} schwanken dürfen. Der Unterschied dieser beiden Werte darf in Wirklichkeit 2% meist nicht überschreiten. Folglich würden die beiden Geraden für E_{max} und E_{min} in Fig. 121 noch viel dichter zusammenliegen als dort gezeichnet, woraus die Unmöglichkeit einer genauen Bestimmung zu erkennen ist. Zur Bestimmung des Reglers zieht man zunächst zwischen E_{max} und E_{min} bei B eine Tangente BA an die Kurve I . Läuft die Maschine leer, so ist der höchste zulässige Wert der Spannung E_{max} bei Punkt C , wozu der Erregerstrom i_0 gehört. Wird die Maschine belastet, so sinkt die Spannung nach dem OHMSchen Gesetz auf einer Geraden CO . Sie darf sinken bis auf E_{min} bei D , wozu der Erregerstrom i_1 gehört. Wenn die Belastung weiter zunimmt, muß durch Abschalten von Widerstand am Regler der Erregerstrom so weit erhöht werden, daß die Spannung wieder zunimmt bis auf E_{max} . Diese Zunahme erfolgt von D aus auf der Geraden DE parallel zur Kurve I oder vielmehr zu der Tangente BA an dieselbe. Dabei ist der Erregerstrom von i_1 auf i_2 gestiegen und so fort, bis schließlich die Maschine voll belastet ist bei der größten Erregerstromstärke i_{max} , bei welcher der kleinste Widerstand $w_m + w_x = \frac{E_{max}}{i_{max}}$ im Magnetstromkreis vorhanden ist. (Vergl. Fig. 97). Wenn dagegen die Maschine leer läuft, also bei Punkt C , ist der größte Widerstand im Magnetstromkreis vorhanden, nämlich $w_m + w_x + R = \frac{E_{max}}{i_0}$. Die einzelnen Stufen des Reglers R findet man durch Parallele zu FG wie aus Fig. 121 zu ersehen ist, wobei man die schräge Gerade von i_{max} bis G in einem dem Wert $w_m + w_x + R = \frac{E_{max}}{i_0}$ entsprechenden Maßstab in Ohm aufgezeichnet hat.

Besser ist bei der Bestimmung der Regler-Stufung die Berechnung anzuwenden, denn die soeben gegebene Bestimmung durch Zeichnung ist namentlich in der Stufung $w_1, w_2 \dots w_n$ sehr ungenau, obgleich die Vorgänge in der Maschine sich tatsächlich dann genau so abspielen, als wie in Fig. 121 gezeigt ist, vorausgesetzt, daß die Maschine mit Selbsterregung arbeitet.

Meist ist aber bei den elektrischen Maschinen fremde Erregung, weil doch stets mehrere Maschinen parallel arbeiten

und fast immer in elektrischen Anlagen Akkumulatoren vorhanden sind. Dann bleibt der Erregerstrom bei Belastungsänderungen konstant, wenn nicht reguliert wird und man kann die nachstehend beschriebene Berechnungsmethode anwenden, welche allerdings nicht ganz genau ist, aber einfach durchführbar und trotz der kleinen Ungenauigkeit insofern zu empfehlen ist, als die Stufenzahl etwas zu groß ausfällt, folglich läßt sich die Maschine noch etwas genauer regulieren, als verlangt wird.¹⁾

In Fig. 122 sei *I* die Leerlaufcharakteristik einer Nebenschlußmaschine. Die normale Spannung sei E_n . Die Spannung darf steigen bis auf E_{max} und sinken bis auf E_{min} . Hat die Maschine bei Leerlauf die Spannung E_{max} bei *A* und wird sie belastet, so sinkt die Spannung auf der Geraden *AB* von E_{max} bis auf E_{min} , weil die Erregerstromstärke i_0 bei fremder Erregung nicht durch die Belastung beeinflusst wird. Ist die Spannung bis auf $B = E_{min}$ gesunken, dann muß durch Verkleinern des Reglerwiderstandes der Erregerstrom von i_0 auf i_1 vergrößert werden. Dabei steigt die Spannung auf einer zur Kurve *I* parallelen Geraden *BC* bis nach $E_{max} = C$. Das Stück *BC* gehört zu der Kurve *II*, welche die Verschiebung der Kurve *I* durch Ankerrückwirkung und Spannungsabfall bei Belastung darstellt. In derselben Weise, wie schon beschrieben ist, sinkt die Spannung bei Belastungszunahme auf einer senkrechten Geraden *CD* usw. von E_{max} bis E_{min} und jedesmal, wenn der Reglerwiderstand verkleinert wird, steigt die Spannung auf einer Parallelen zur Kurve *I*, bis schließlich bei Punkt *F* und dem Erregerstrom i_{max} die Maschine voll belastet ist.

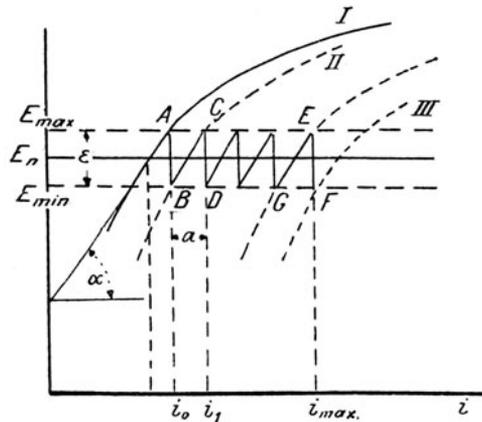


Fig. 122. Zur Berechnung von Reglern für fremde Erregung.

Man erkennt aus Fig. 122, daß die einzelnen Erregerstromstärken um den konstanten Abstand a voneinander entfernt sind

¹⁾ Siehe den Artikel des Verfassers in ETZ 1902, S. 66.

und daß man ebenso viele Rechtecke $ABDC$ erhält, als man den Erregerstrom ändern muß, damit die Spannung immer nur zwischen den beiden Grenzwerten E_{max} und E_{min} schwankt, das heißt es ist die Stufenzahl des Nebenschlußreglers gleich der Zahl der erwähnten kleinen Rechtecke, in welche sich das große Rechteck $ABFE$ zerlegen läßt. Der Inhalt des großen Rechtecks $ABFE$ ist $\varepsilon \cdot (i_{max} - i_0)$. Die Magnetströme i_0 und i_{max} lassen sich durch einfache Messungen an der Maschine bestimmen. Der Inhalt der kleinen Rechtecke $ABDC$ ist $\varepsilon \cdot a$, wobei $a = \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha}$ ist und α der Winkel, den die im Punkt A an Kurve I gezogene Tangente mit der Wagerechten macht.

Zur Bestimmung der Stufenzahl n und der Größe $w_1, w_2, w_3 \dots$ (vergl. Fig. 97) der einzelnen Abteilungen des Reglers sind demnach an der Maschine durch Messungen zu bestimmen: 1. die Leerlaufcharakteristik bei abnehmendem Magnetisierungsstrom, weil dann wegen der Hysterese geringere Magnetisierungsströme, also größere Widerstände im Magnetkreis erforderlich sind, und 2. die Erregerstromstärke i_{max} bei der höchsten Belastung.

Es ergibt sich die Zahl n der Stufen des Reglers nach dem eben Erklärten zu:

$$n = \frac{\varepsilon \cdot (i_{max} - i_0)}{\varepsilon \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha}} = \frac{(i_{max} - i_0) \operatorname{tg} \alpha}{\varepsilon} \quad \dots \quad (56)$$

Hierbei muß man natürlich ε und $(i_{max} - i_0)$ in dem gleichen Maßstab einsetzen. Hat man z. B. ε in Millimetern gemessen, dann muß man auch $(i_{max} - i_0)$ in Millimetern gemessen (aus Fig. 122) einsetzen. Ebenso ist bei der Bestimmung von α zu verfahren.

Bezeichnen wir nach Fig. 97 den Magnetwiderstand mit w_s , dann lassen sich noch folgende Gleichungen aufstellen:

Der gesamte Widerstand des Reglers wird:

$$R = w_1 + w_2 + \dots + w_n = \frac{E_{max}}{i_0} - w_s \quad \dots \quad (57)$$

Nun ist für die erste Stufe w_1 des Reglers die Gleichung gültig:

$$R - w_1 = \frac{E_{max}}{i_1} - w_s \quad \text{und} \quad i_1 = i_0 + a = i_0 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha},$$

wobei $a = \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha}$ ebenso wie i_0 in Amp. auszudrücken sind, also wird:

$$w_1 = R + w_s - \frac{E_{max}}{i_0 + a};$$

$$w_2 = R + w_s - \frac{E_{max}}{i_0 + 2a} - w_1;$$

.....

folglich allgemein:

$$w_n = R + w_s - \frac{E_{max}}{i_0 + n \cdot a} - (w_1 + w_2 + \dots + w_{n-1}). \quad (58)$$

In Gleichung (58) muß i_0 und a in Amp. ausgedrückt werden.

Wenn wie in Fig. 97 in der oberen Figur ein unausschaltbarer Widerstand w_x nötig ist (dann wenn bei voller Belastung der Wider-

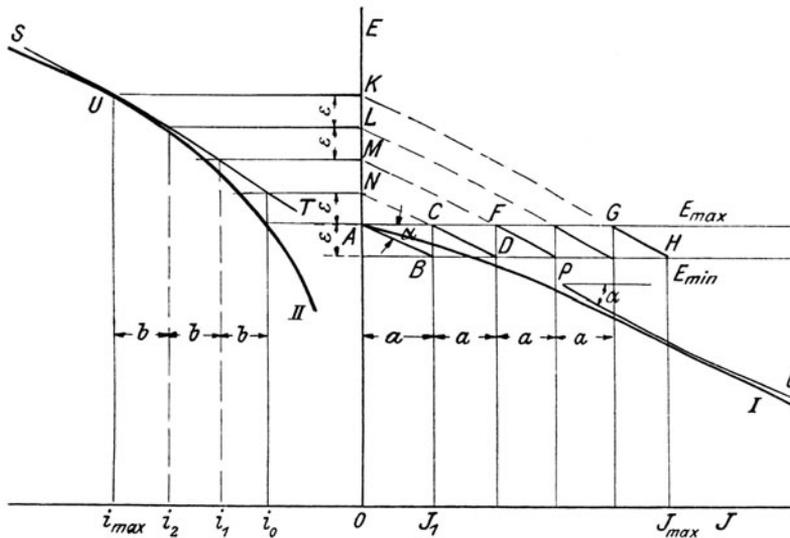


Fig. 123. Bestimmung des Reglers für Wechselstromgeneratoren.

stand der Magnetwicklung noch zu klein ist), so ist in den Gleichungen überall $w_s + w_x$ anstatt w_s zu setzen.

Bei Wechsel- und Drehfeldgeneratoren läßt sich der Regler mit seiner Abstufung nach Fig. 123 bestimmen, wenn seine Schaltung nach Fig. 103 ausgeführt ist. Die Regler der Erregermaschinen können dabei nach dem soeben behandelten Verfahren bestimmt werden, weil diese Maschinen parallel und mit konstanter Spannung arbeiten. Die Methode nach Fig. 123 gibt die Bestimmung der in Schaltung Fig. 103 mit R bezeichneten Regler an, welche in den Magnetstromkreis der Wechselstrommaschine eingeschaltet sind. Man benutzt die Kurve I , welche den Abfall der Klemmenspannung bei zunehmender äußerer Belastung J der Wechsel-

strommaschine darstellt und ihre Leerlaufscharakteristik, Kurve *II*. Bei Leerlauf möge die Maschine die Spannung E_{max} bei *A* besitzen. Wird sie belastet, ohne daß reguliert wird, so sinkt die Spannung auf der Kurve *I* nach unten bis zu E_{min} . Dann müßte reguliert werden. Um nun einfach rechnen zu können, nehmen wir an, die Kurve *I* sei eine Gerade von der Richtung der Tangente PQ . Dadurch werden die ersten Stufen des Reglers etwas feiner, weil dort die Kurve noch nicht so stark geneigt ist. Durch das Verfahren wird aber teilweise die zu feine Stufung am Anfang des Reglers wieder aufgehoben, wie noch gezeigt wird. Bei dieser Annahme sinkt dann die Spannung von *A* bis *B* wobei AB parallel der Tangente PQ ist. In *B* würde man regulieren, das heißt, auf eine zweite Kurve gelangen, die aus der ersten Kurve *I* durch Verschiebung derselben um ein Stück $\varepsilon = E_{max} - E_{min}$ entstanden ist. Die Spannung steigt bis *C* und sinkt bei weiterer Belastung bis *D* usw., bis schließlich bei *H* die stärkste Belastung J_{max} vorhanden ist. Würde jetzt die Maschine entlastet, dann müßte ihre Spannung steigen bis sie bei Leerlauf einen Wert K erreicht hätte, dem dann nach der Leerlaufscharakteristik *II* eine Magnetstromstärke i_{max} entsprechen würde, während zu der Leerlaufsspannung *A* eine Magnetstromstärke i_0 gehört.

Die Stufenzahl n des Reglers wird nun gleich der Anzahl der Parallelogramme $ABDC$, in welche das große Parallelogramm $ABHG$ zerlegt wird, folglich ist sie:

$$n = \frac{\varepsilon \cdot (J_{max} - J_1)}{\varepsilon \cdot a}.$$

Es ist:

$$a = \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha} \text{ und } \varepsilon = E_{max} - E_{min}; \text{ und}$$

$$J_1 = a = \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ also}$$

$$n = \frac{\varepsilon \cdot \left(J_{max} - \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha} \right)}{\varepsilon^2} = \frac{J_{max} \cdot \operatorname{tg} \alpha - \varepsilon}{\varepsilon} \quad \dots \quad (59)$$

Dabei müssen J_{max} , ε und α bestimmt werden durch die den genannten Werten in Fig. 123 entnommenen Längen, gemessen in demselben Maßstabe; hat man z. B. $J_{max} = \overline{OJ_{max}}$ in Millimeter gemessen, so ist ε und a ebenfalls darin zu messen.

Für den gesamten Widerstand R des Reglers gilt die Gleichung (57). Zur Bestimmung der Stufen $w_1, w_2, w_3 \dots$ kann man die Vereinfachung treffen, die Neigung der Kurve II gleich derjenigen der Tangente ST im Punkte U zu setzen. Dann sind die einzelnen Erregerstromstärken um den konstanten Abstand b voneinander entfernt.

Es wird:

$$R + w_s - w_1 = \frac{E_{max}}{i_1}, \text{ also}$$

$$w_1 = (R + w_s) - \frac{E_{max}}{i_1} = \frac{E_{max}}{i_0} - \frac{E_{max}}{i_1} = E_{max} \left(\frac{1}{i_0} - \frac{1}{i_0 + b} \right);$$

$$w_2 = \frac{E_{max}}{i_1} - \frac{E_{max}}{i_2} = E_{max} \cdot \left(\frac{1}{i_0 + b} - \frac{1}{i_0 + 2b} \right);$$

.

$$w_n = E_{max} \cdot \left(\frac{1}{i_0 + (n-1) \cdot b} - \frac{1}{i_0 + n \cdot b} \right) \cdot \dots \cdot \dots \quad (60)$$

In Gleichung (60) muß aber b ebenso wie i_0 im Amperemaßstab gemessen werden. Am besten ergibt sich b dadurch, daß man $\frac{i_{max} - i_0}{n - 1} = b$ berechnet, wobei man i_{max} und i_0 in Ampere ausdrückt. Durch die Annahme, die Kurve II habe die konstante Neigung der Tangente, werden die ersten Stufen des Reglers etwas größer, weil bei ihnen die Erregung nicht ganz so stark geändert werden darf als um den Betrag b , dadurch hebt sich aber die schon erwähnte zu feine Stufenbestimmung an der Kurve I auf.

Wenn die Kurve I stärker gekrümmt ist, dann würde die Annahme einer einzigen Tangente am Anfang des Reglers sehr viel Stufen mehr ergeben als nötig sind. Um eine zu große Verschwendung an Regulierstufen zu vermeiden, kann man bei starker Krümmung der Kurve, wie solche übertrieben dargestellt ist in Fig. 124, an mehreren Punkten Tangenten anlegen. Für Fig. 124 bezeichne:

$$n_1 \text{ die Stufenzahl zwischen } J = 0 \text{ und } J = J_1,$$

$$n_2 \text{ " " " " } J_1 \text{ " } J_2,$$

$$n_3 \text{ " " " " } J_2 \text{ " } J_{max},$$

dann ist die ganze Stufenzahl n des Reglers:

$$n = n_1 + n_2 + n_3 = \frac{J_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 - \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{(J_2 - J_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 - \varepsilon}{\varepsilon} +$$

$$+ \frac{(J_{max} - J_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 - \varepsilon}{\varepsilon}.$$

In derselben Weise legt man dann auch an die Leerlaufcharakteristik II in Fig. 123 mehrere Tangenten ST an und muß dementsprechend die Gleichung (60) für mehrere Werte von b anwenden.

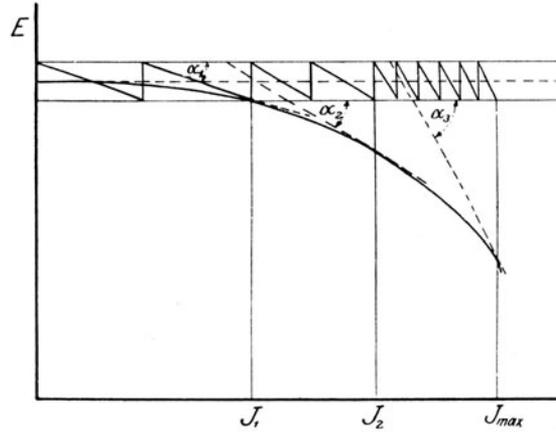


Fig. 124. Zur Bestimmung des Reglers für Wechselstromgeneratoren.

Abschnitt XV.

Anwendung der Ableitungen.

Beispiel 1. Vollständige Berechnung eines kleinen Anlassers für Anlauf mit Vollast: Ein 5 PS. Nebenschlußmotor für 100 Volt mit dem Normalstrom $J = 43$ Amp. soll mit Vollast bei $J_1 = 1,5 \cdot 43 \sim 65$ Amp. anlaufen. Der Ankerwiderstand beträgt $w_a = 0,12 \Omega$. Die Stufenzahl wird nach Gleichung (33):

$$n = \frac{\log \frac{100}{65 \cdot 0,12}}{\log \frac{65}{43}} = \frac{\log 12,88}{\log 1,51} = \frac{1,108}{0,179} = 6,2,$$

folglich sind auszuführen: $n = 6$ Stufen. Der wirkliche Wert von J_1 folgt aus Gleichung (34) zu $J_1 = 43 \sqrt[7]{\frac{100}{43 \cdot 0,12}} = 65,7$ Amp.

Der gesamte Anlaßwiderstand wird nach Gleichung (22):

$$W = \frac{100}{65,7} - 0,12 = 1,403 \Omega.$$

Die einzelnen Stufen werden nach Gleichung (35):

$$\begin{aligned} w_1 &= 1,523 - 1,523 \frac{43}{65,7} = 1,523 - 1,523 \cdot 0,656 = 1,523 - 1,004 = 0,519 \Omega \\ w_2 &= \dots \dots \dots 1,004 - 1,004 \cdot 0,656 = 1,004 - 0,659 = 0,345 \Omega \\ w_3 &= \dots \dots \dots 0,659 - 0,659 \cdot 0,656 = 0,659 - 0,430 = 0,229 \Omega \\ w_4 &= \dots \dots \dots 0,430 - 0,430 \cdot 0,656 = 0,430 - 0,282 = 0,148 \Omega \\ w_5 &= \dots \dots \dots 0,282 - 0,282 \cdot 0,656 = 0,282 - 0,185 = 0,097 \Omega \\ w_6 &= \dots \dots \dots 0,185 - 0,185 \cdot 0,656 = 0,185 - 0,121 = 0,064 \Omega \\ &\text{Probe: } W = w_1 + w_2 + \dots + w_6 = 1,402 \Omega \end{aligned}$$

berechnet von $W = 1,403 \Omega$ nach Gleichung (22), also ist die Stufung richtig. Aus dem Beispiel kann man erkennen, daß bei geschickter Anwendung des Rechenschiebers die Berechnung sehr schnell durchzuführen ist, weil immer der letzte Wert der vorigen Gleichung der erste Wert des nächsten ist, wie die in die Berechnung eingefügten Linien andeuten. Bei dem vorliegenden Anlasser ist nun noch das Widerstandsmaterial zu bestimmen (Abschnitt I).

Nach Gleichung (6) und Tabelle II (S. 8) ergibt sich für Resistan $q = J \cdot C = \frac{65,7 + 43}{2} \cdot 0,1125 = \sim 50 \cdot 0,1125 = 5,625 \text{ mm}^2$. Es wird also der Drahtdurchmesser, da solche Widerstandsdrähte

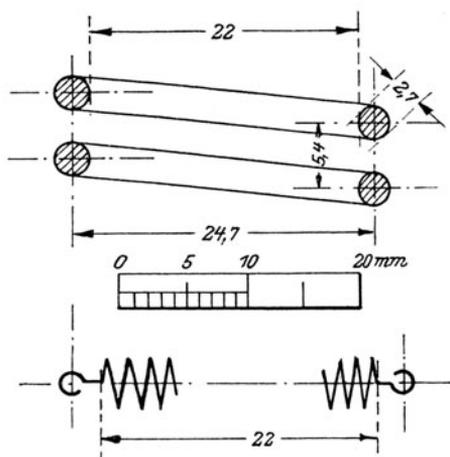


Fig. 125. Maße für die Spiralen zum Berechnungsbeispiel 5 PS. 110 Volt. Anlauf mit Vollast.

nur 0,1 mm steigend geliefert werden, 2,7 mm, wozu $q = 5,72 \text{ mm}^2$ gehört. Da der Drahtdurchmesser nicht genügend stark ist, lohnt es sich hier nicht, eine Einteilung nach S. 8 in mehreren Gruppen vorzunehmen. Die Spiralen sollen frei gewickelt werden, weil ihr Durchmesser genügend groß ist, um ein Durchbiegen der Spiralen zu verhindern. Nach Tabelle II (S. 8) und Fig. 17 (S. 19) ergeben sich die Maße der Spirale bei einer Länge von 220 mm nach Fig. 125. Fol-

glich hat eine Spiralwindung eine Länge $0,0247 \cdot \pi = 0,0776 \text{ m}$. Der Widerstand einer Spiralwindung wird $w = \frac{cl}{q} = \frac{0,51 \cdot 0,0776}{5,72} = 0,0693 \Omega$ (dabei c nach Tabelle I, S. 6, für Resistan 0,51).

Eine Spirale besitzt $\frac{220}{5,4} \sim 41$ Windungen, folglich $41 \cdot 0,0693 = 0,284 \Omega$. Für den Anlasser von $1,403 \Omega$ gesamten Widerstand sind also eine Anzahl Spiralen nötig von $\frac{1,403}{0,284} = 4,95$. In den Anlasser müssen 5 Spiralen eingesetzt werden. Die letzte wird nicht ganz benutzt.

Für die einzelnen Stufen ergibt sich nur folgende auszuführende Anordnung:

Stufen	Windungen	Die Stufe besteht aus:
$w_1 = 0,519\Omega$	$\frac{0,519}{0,0693} = 75$	Sp. I + 34 W. von Sp. II.
$w_2 = 0,345\Omega$	$\frac{0,345}{0,0693} = 50$	7 W. von Sp. II + Sp. III + 2 W. von Sp. IV.
$w_3 = 0,229\Omega$	$\frac{0,229}{0,0693} = 33$	33 W. von Sp. IV.
$w_4 = 0,148\Omega$	$\frac{0,148}{0,0693} = 21$	6 W. von Sp. IV + 21 W. von Sp. V.
$w_5 = 0,097\Omega$	$\frac{0,097}{0,0693} = 14$	14 W. von Sp. V.
$w_6 = 0,064\Omega$	$\frac{0,064}{0,0693} = 9$	9 W. von Sp. V.

Für die Ausführung des Anlassers in der Werkstatt würde man hiernach am besten eine schematische Darstellung benutzen nach Fig. 126.

Beispiel 2. Berechnung eines Anlassers für Leeranlauf. Der Motor des eben berechneten Beispiels 1 für 5 PS. und 100 Volt möge eine kleine Transmission antreiben. Die Arbeitsmaschinen an dieser werden immer erst eingedrückt, wenn der Motor richtig läuft. Zum Antrieb der Transmission sind 60% der gesamten Leistung nötig. Folglich ist in Gleichung (33) für

den Normalstrom zu setzen: $J = \frac{60 \cdot 43}{100} \sim 25$ Amp. Den Anlaufstrom darf man genau so hoch wählen wie in Beispiel 1, also $J_1 = 65$ Amp., weil der Motor diese Stromstärke aushält. Es wird nach Gleichung (33) die Stufenzahl:

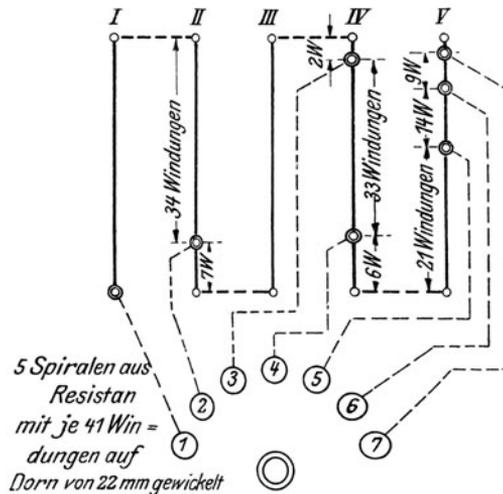


Fig. 126. Angabe der Stufeneinteilung für die Werkstatt.

Beim plötzlichen Einschalten des vollen Anlaufstromes bei großen Motoren steigt infolge der Stromzunahme der Spannungsverlust so bedeutend, daß sämtliche in der Nachbarschaft des Motors angeschlossene Glühlampen dunkel werden. Um dies zu vermeiden, wendet man Vorstufen an, bei deren Einschalten der Maschinist in der Zentrale Zeit hat, dem Anlauf des Motors entsprechend, die Maschinenspannung mit dem Regler konstant zu halten.

Die Berechnung der Vorstufen geschieht wie folgt:

Ein Motor für 100 Amp. Normalstrom und 120 Volt soll mit 150 Amp. anlaufen. Der Motor ist Nebenschlußmotor mit $n_a = 0,036 \Omega$.

Die Stufenzahl wird nach Gleichung (33):

$$n = \frac{\log \frac{120}{150 \cdot 0,036}}{\log \frac{150}{100}} = \frac{1,347}{0,176} \sim 7 \text{ Stufen.}$$

Der durch Abrundung geänderte Wert für J_1 folgt aus Gleichung (34) zu

$$J_1 = 100 \sqrt[8]{\frac{120}{100 \cdot 0,036}} = 155 \text{ Amp.}$$

Dazu wird der Anlasser nach Gleichung (22)

$$W = \frac{120}{155} - 0,036 = 0,739 \Omega.$$

Die einzelnen Stufen sollen hier nicht weiter berechnet werden, weil alles genau so ausgeführt wird, wie in Beispiel 1. Vor den eigentlichen Anlasser von $W = 0,739 \Omega$ sollen noch 4 Einschaltstufen vorgeschaltet werden, so daß beim Drehen der Kurbel auf die erste Einschaltstellung *I* in Fig. 127 $\frac{1}{5}$ des Anlaufstromes entsteht. Beim Weiterdrehen wächst der Strom auf Kontakt *II* zu $\frac{2}{5}$, auf Kontakt *III* zu $\frac{3}{5}$, auf Kontakt *IV* zu $\frac{4}{5}$ von J_1 an, solange bleibt der Motor natürlich still stehen. Erst wenn die Kurbel noch weiter auf den eigentlichen ersten Anlaufkontakt *1* gedreht wird, beginnt

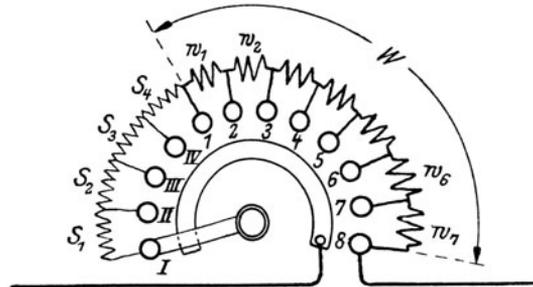


Fig. 127. Anlasser mit Vorstufen.

der Motor zu laufen, weil dort erst der volle Anlaufstrom $J_1 = 155$ Amp. entsteht. Nach der oben gegebenen Erklärung sollen also auf Kontakt *I* 31 Amp. entstehen, auf Kontakt *II* 62 usw., dazu ergeben sich folgende Gesamtwiderstände und Stufen:

Kontakt	Strom	Gesamter Widerstand	
<i>I</i>	31	$\frac{120}{31} = 3,9 \ \Omega$	} Nur zum allmählichen Einschalten des Stromes.
<i>II</i>	62	$\frac{120}{62} = 1,95 \ \Omega$	
<i>III</i>	93	$\frac{120}{93} = 1,29 \ \Omega$	
<i>IV</i>	124	$\frac{120}{124} = 0,97 \ \Omega$	
<i>1</i>	155	$\frac{120}{155} = 0,775 \ \Omega$	Von hier ab Anlauf und weitere Rechnung nach Gleichung (35).

Für die Größe der Einschaltstufen $S_1, S_2, S_3 \dots$ ergeben sich folgende Werte:

S_4 $0,97 - W = 0,97 - 0,775 = 0,195 \ \Omega$ für 124 Amp. vorübergehende Belastung.

S_3 $1,29 - (W + S_4) = 1,29 - 0,97 = 0,22 \ \Omega$ für 93 Amp. vorübergehende Belastung.

S_2 $1,95 - (W + S_4 + S_3) = 1,95 - 1,29 = 0,66 \ \Omega$ für 62 Amp. vorübergehende Belastung.

S_1 $3,9 - (W + S_4 + S_3 + S_2) = 3,9 - 1,95 = 1,95 \ \Omega$ für 31 Amp. vorübergehende Belastung.

Beispiel 4. Bestimmung der Spannung für die Magnete in Schaltung 55. Der Motor in Beispiel 1 soll mit selbsttätigen Anlasser nach Fig. 55 ausgeführt werden. Er hat dann 6 Magnete $S_1, S_2 \dots$ nötig, die zum Kurzschließen der schon berechneten Anlasserstufen m_1 bis m_6 dienen. Es soll für jeden Magneten die Spannung berechnet werden, bei welcher derselbe in Tätigkeit treten soll.

Die auf jedem Kontakt nach Erreichung der dort normalen Umlaufzahl im Anker entstehenden Spannungen berechnen sich nach den Gleichungen (23), (25), (27) . . . Aus Gleichung (23) ergibt sich dann die Spannung für Magnet J_1 zu:

$$\begin{aligned} E_{g_1} &= E - J(W + m_a) = 100 - 43(1,403 + 0,12) = \\ &= 100 - 65,5 = 34,5 \text{ Volt.} \end{aligned}$$

Aus Gleichung (25) folgt die Spannung für Magnet S_2 zu:

$$E_{g_2} = E - J(W - w_1 + w_a) = 100 - 43(1,403 + 0,1519 + 0,12) = \\ = 100 - 43,2 = 56,8 \text{ Volt.}$$

Für Magnet S_3 wird

$$E_{g_3} = E - J(W - w_1 - w_2 + w_a),$$

also allgemein

$$E_{g_n} = E - J(W - w_1 - w_2 - \dots - w_{n-1} + w_a);$$

hiernach ist folgende Tabelle berechnet:

Magnet	Spannung Volt
S_1	34,5
S_2	56,8
S_3	71,7
S_4	81,5
S_5	87,9
S_6	92,1

Beispiel 5. Anlasser für Hauptstrommotoren mit Schaltwalzeneinschaltung durch Zeichnung bestimmt. Ein Hubmotor für normal 80 Amp. bei 105 Volt und $n = 410$ Umdrehungen soll mit $J_1 = 120$ Amp. anlaufen. Die Schaltwalze erhält 4 Stufen.

Zunächst wurde durch Messungen des fremderregten Motors mit $n = 550$ Umdrehungen künstlich angetrieben die Leerlaufcharakteristik bestimmt und die Werte in Tabelle IX gefunden:

Tabelle IX.

Leerlaufcharakteristik:		
J Magnetstrom	E	
7	40	Aufgenommen bei $n = 550 w_a + w_H =$ $= 0,183 \Omega.$
10	59	
20	92	
30	105	
70	120	
120	123	

Diese Werte aus Tabelle IX sind in Fig. 128 in der Kurve E aufgezeichnet. Daraus muß die Tourenkurve I für $w_a + w_H = 0,183 \Omega$ bestimmt werden nach Gleichung (45). In Tabelle X sind die entsprechenden Werte zusammengestellt und ausgerechnet:

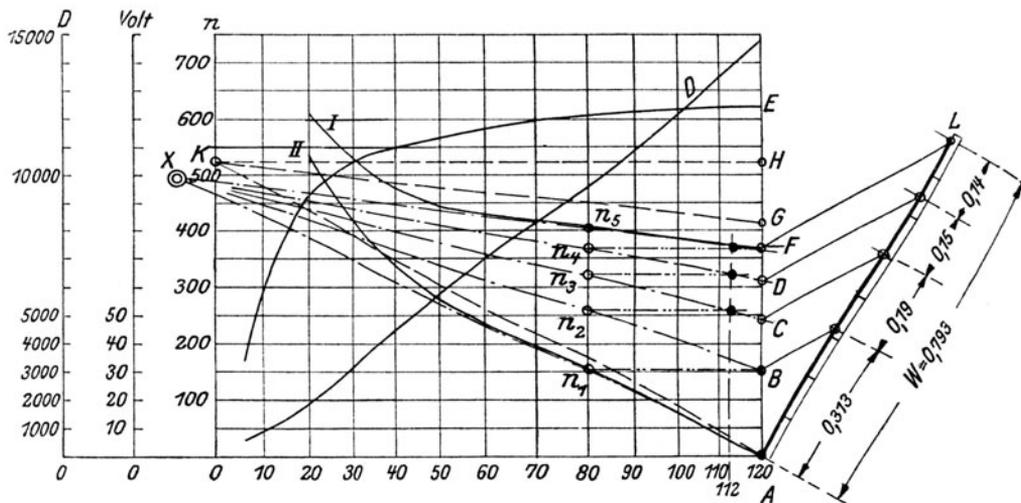


Fig. 128. Bestimmung der Stufung eines Hubmotors durch Zeichnung.

Tabelle X.

Entnommen aus Fig. 128:			Berechnet für $w_a + w_H = 0,183$		
J	$\frac{E}{J_1 E_{g_1}}$ in Fig. 114	$\frac{E_g}{J_1 P_1}$ in Fig. 114	$\frac{E_g}{E}$	$n_x = \frac{E_g}{E} \cdot n$ $n = 550$ Gl. (45)	Drehmoment $D \equiv E \cdot J$
120	123	82	0,667	366	14 770
100	122	86	0,705	388	12 200
80	121	90	0,745	410	9 700
50	117	95	0,812	446	5 850
40	112	97,5	0,870	478	4 480
20	91,5	100,5	1,10	605	1 830

Die berechneten Werte von n_x und D sind in den Kurven I und D in Fig. 128 eingezeichnet. Nach der früheren Ableitung muß nun die Tourenkurve für den vorgeschalteten Widerstand

$W = \frac{105}{120} - w_a + w_H = 0,793 \Omega$ bestimmt werden. Die aus Fig. 128

entnommenen Werte und die berechneten Werte für n_x bei $W = 0,793$ sind in Tabelle XI zusammengestellt:

Tabelle XI.

Entnommen aus Fig. 128:			Berechnet:	
J	E	E_g	$\frac{E_g}{E}$	n_x bei $W = 0,793$
120	123	0	0	0
100	122	18	0,1475	81
80	121	35	0,289	159
50	117	60,5	0,517	284
40	112	70	0,625	344
20	91,5	88	0,962	530

Die berechneten Werte von n_x für den vorgeschalteten Widerstand $W = 0,793 \Omega$ zeigt Kurve *II* in Fig. 128.

Man kann, wie aus Fig. 128 zu erkennen ist, D proportional J setzen, weil die Kurve für D fast gar nicht von einer Geraden abweicht und darf deshalb in Fig. 128 direkt die Stufung feststellen. Man bestimmt den Pol X durch die Tangenten FX und AX und zieht zwischen $J = 80$ und $J_1 = 120$ die wagerechten Linien durch n_1, n_2 usw. Selbstverständlich wird dabei die Stufenzahl nicht wie festgesetzt gleich 4 werden, deshalb muß man durch Probieren die letzten Stufen etwas kleiner machen. In Fig. 128 tritt der Stromstoß $J_1 = 120$ beim Einschalten und darauf beim Abschalten von Stufe $n_1 = 0,313 \Omega$ Punkt B auf. Wenn auf der zweiten Stufe die normale Geschwindigkeit $n_2 = 260$ erreicht ist und die zweite Stufe $n_2 = 0,19 \Omega$ abgeschaltet wird, steigt der Strom nur bis 112 Amp., ebenso bei den übrigen Stufen. Diese Zahl wird durch Probieren gefunden, wie schon gesagt wurde, indem man die schwarzen Punkte auf den Wagerechten durch n_4, n_3 und n_2 so annimmt, daß sie möglichst gleichliegen (hier bei 112 Amp.). Das übrige ergibt sich aus der früheren Ableitung (S. 111) und den Fig. 114 und 115.

Beispiel 6. Berechnung des Reglers einer Nebenschlußmaschine. An einer vermittels Riemen durch einen Gasmotor angetriebenen Dynamo älterer Konstruktion wurde bei Leerlauf die in Fig. 129 gezeichnete Spannungskurve aufgenommen bei

absteigender Magnetisierung. Bei dieser Kurve muß stets die Aufnahme für absteigende Magnetisierung erfolgen, weil wegen der Hysterisis des Eisens bei abnehmenden Magnetstrom eine höhere Spannung entsteht als bei derselben Stromstärke von geringeren Werten aufwärts reguliert. Weiter wurde an der betreffenden Maschine noch beobachtet $i_{max} = 2,9$ Amp. bei einer maximalen Belastung von $J = 86$ Amp. Der Widerstand der warmen Magnetwicklung betrug $w_s = 21,4 \Omega$. Aus Fig. 129 folgt: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{20}{37} = 0,541$. Die Normalspannung der Maschine beträgt 65 Volt, da

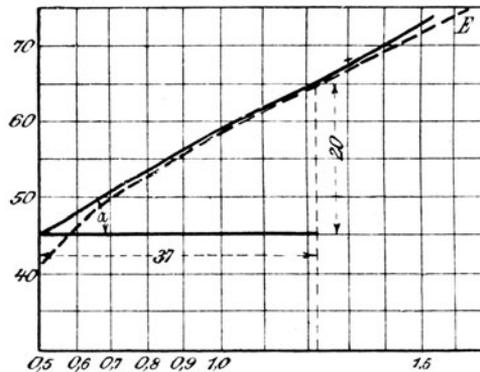


Fig. 129. Leerlaufcharakteristik zur Reglerbestimmung.

sie um $\pm 2\%$ schwanken darf, ist $\varepsilon = 2,6$ Volt. Hieraus folgt nach Gleichung (56) die Stufenzahl:

$$n = \frac{(i_{max} - i_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\varepsilon} = \frac{(145 - 61) \cdot 0,541}{2,6} \sim 18 \text{ Stufen.}$$

i_{max} und i_0 sind dabei in demselben Maßstabe aus der Kurve zu entnehmen wie ε ; $i_{max} = 2,9$ Amp., folglich sind, da nach Fig. 129 10 Volt dieselbe Länge haben als 0,2 Amp., die 2,9 Amp. in den Längeneinheiten der Volt gemessen: $\frac{2,9}{0,02} = 145$ und $i_0 = 122$ Amp. sind $\frac{1,22}{0,02} = 61$.

Der gesamte Regler wird nach Gleichung (57) $R = \frac{65}{1,22} - 21,4 = 31,9 \Omega$. Aus Fig. 129 ergibt sich $a = \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2,6}{0,541} = 4,81$. In der Gleichung (58) muß aber a in Amp. ausgedrückt werden, da

10 Volt = 0,02 Amp. in der Länge entsprechen, wird: $a = 4,81 \cdot 0,02 = 0,0962$.

Daraus folgt nach Gleichung (58):

$$w_1 = 31,9 + 21,4 \frac{65}{1,22 + 0,0962} = 3,90 \ \Omega.$$

$$w_2 = 31,9 + 21,4 \frac{65}{1,22 + 2 \cdot 0,0962} - 0,9 = 3,40 \ \Omega.$$

$$w_3 = \dots \dots \dots 2,90 \ \text{„}$$

$$w_4 = \dots \dots \dots 2,60 \ \text{„}$$

$$w_5 = \dots \dots \dots 2,30 \ \text{„}$$

$$w_6 = \dots \dots \dots 2,05 \ \text{„}$$

$$w_7 = \dots \dots \dots 1,85 \ \text{„}$$

$$w_8 = \dots \dots \dots 1,70 \ \text{„}$$

$$w_9 = \dots \dots \dots 1,55 \ \text{„}$$

$$w_{10} = \dots \dots \dots 1,40 \ \text{„}$$

$$w_{11} = \dots \dots \dots 1,25 \ \text{„}$$

$$w_{12} = \dots \dots \dots 1,15 \ \text{„}$$

$$w_{13} = \dots \dots \dots 1,05 \ \text{„}$$

$$w_{14} = \dots \dots \dots 1,00 \ \text{„}$$

$$w_{15} = \dots \dots \dots 0,90 \ \text{„}$$

$$w_{16} = \dots \dots \dots 0,81 \ \text{„}$$

$$w_{17} = \dots \dots \dots 0,76 \ \text{„}$$

$$w_{18} = \dots \dots \dots \underline{0,73 \ \text{„}}$$

$$\text{Probe: } W = w_1 + w_2 + \dots = 31,3 \ \Omega.$$

Dauernd vorzuschalten wäre bei diesen Maschinen (vergl.

Fig. 97) $w_x = \frac{65}{2,9} - w_s = 1 \ \Omega$.

Würde man den Regler mit nur $n = 18$ Stufen ausführen, so würde die Maschine im kalten Zustand, wobei w_s kleiner als 21,4 Ω ist, mehr als 65 Volt für Leerlauf geben, so daß sie sich schlecht parallel schalten ließe. Man muß deshalb noch einige Widerstandsstufen mehr vorschalten. Die Magnete besitzen 60° Temperatur im erwärmten Zustande, wie durch Messung bestimmt wurde. Rechnet man die kalte Maschine zu 15°, so beträgt dann der Magnetwiderstand für einen Temperaturkoeffizient von +0,004 nur 18,1 Ω .

Die kalte Maschine hat also nötig $R = \frac{65}{1,22} - 18,1 = 35,2 \ \Omega$, d. h. 3,9 Ω mehr als die warme Maschine. Da die erste Stufe des Reglers

auch $w_1 = 3,9 \Omega$ hat, genügt eine Stufe mehr, so daß der Regler $n = 19$ Stufen erhält.

Die Regler erhalten gewöhnlich ziemlich viele Stufen, also viele Kontakte. Um nun nicht zu viel Raum für die Kontakte zu gebrauchen, kann man sie anordnen nach Fig. 130, auf zwei Kreise, gegeneinander versetzt. Da bei den Reglern die Ströme immer nur schwach sind, genügen meist einfache runde Kontaktknöpfe K , auf denen eine Blattfeder F Fig. 130 schleift, welche in einem Handrad H aus Ambroin befestigt ist.

Beispiel 7. Tourenregelung aufwärts für einen Nebenschlußmotor. Ein Nebenschlußmotor für 5 PS bei 100 Volt mit 1200 Umdrehungen soll aufwärts regulierbar sein auf 1300, 1400 und 1500 Umdrehungen nach irgend einer der Schaltungen in Fig. 69 bis 72.

Die zur Bestimmung des Widerstandes von R nötige Leerlaufcharakteristik, welche am Motor aufgenommen wurde, war folgende (Tabelle XII):

Tabelle XII.

Erregerstrom i	Spannung bei $n = 1200$
1,075	98,2
0,870	88,8
0,722	78,3
0,596	69,0
0,437	52,8
0,299	37,3
0,172	22,9
0,106	12,8
0	2,7

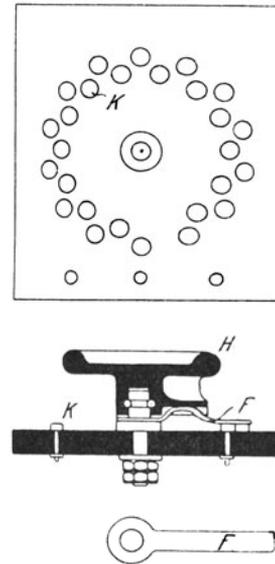


Fig. 130. Kleiner Regler mit Handrad.

Aus dieser Kurve sind die folgenden Werte für die verlangten Umdrehungszahlen $n = 1300$, $n = 1400$ und $n = 1500$ berechnet nach Gleichung (53). Da hiervon nur Werte gebraucht werden in der Nähe der Spannung 100 Volt, sind nur die höchsten Werte umgerechnet und in der nachstehenden Tabelle XIII zusammengestellt.

Tabelle XIII.

i	Spannung bei			
	$n = 1200$	$n = 1300$	$n = 1400$	$n = 1500$
1,075	98,2	106,2	114,8	123,0
0,870	88,8	96,2	103,5	111,0
0,722	78,3	85,0	91,3	98,0
0,596	69,0	74,9	80,5	86,3

In Fig. 131 sind die 4 Kurven aufgezeichnet. Für die zu liefernde E. M. K. $E_g \sim E = 100$ Volt findet man daraus für die verschiedenen Tourenzahlen die zugehörigen Magnetströme:

n	1200	1300	1400	1500
i	1,125	0,946	0,835	0,740

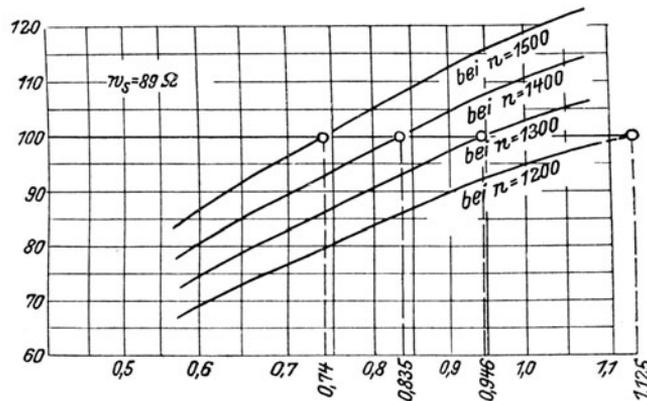


Fig. 131. Spannung bei verschiedenen Tourenzahlen.

daraus ergeben sich nach Gleichung (54) die in folgender Tabelle zusammengestellten Reglerwiderstände R , wobei $w_m = 89 \Omega$ beträgt.

Tabelle XIV.

n	1200	1300	1400	1500
R	0	16,7	31,0	46,2.

Um nun den Übergang von einer Tourenzahl zur anderen stoßfrei zu machen, würde man bei solchen Reglern noch eine Anzahl Zwischenstufen einrichten, was gewöhnlich auch geschieht. Man kann diese Zwischenstufen ganz gleichmäßig einteilen, nur muß

man auf bestimmten Kontakten die vorgeschriebenen Werte der Umlaufzahlen einstellen können.

Beispiel 8. Anlasserbestimmung für einen Drehfeldmotor durch Zeichnung. Um das HEYLAND-Diagramm zeichnen zu können, wurde an dem Motor gemessen:

1. bei Leerlauf $J_0 = 6,3$ Amp., $W_0' = 100$ Watt,
2. bei festgebremstem Läufer $J_k = 118$ Amp., $W_k = 6670$ Watt.

Der Widerstand pro Phase des Feldes beträgt $w_i' = 0,142 \Omega$, derjenige des Läufers $w_i = 0,140 \Omega$. Die Wechselzahl des Stromes ist $\nu = 50$ und die Polzahl des Motors 6.

Zum Aufzeichnen des Diagrammes ergibt sich folgendes:

$$\overline{J_0 A} = J_{w_0} = \frac{W_0'}{E \cdot \sqrt{3}} = \frac{100}{110 \cdot \sqrt{3}} = \frac{100}{190,5} = 0,525 \text{ Amp.}$$

$$\cos \varphi_k = \frac{W_k}{J_k \cdot E \cdot \sqrt{3}} = \frac{6670}{118 \cdot 110 \cdot \sqrt{3}} = 0,297.$$

$$J_{k_w} = J_k \cdot \cos \varphi_k = 118 \cdot 0,297 = 35,2 \text{ Amp.}$$

$$\overline{J_k B} = \overline{O C} = \frac{J_k \cdot w_i}{E} = 128,5 \cdot \frac{118 \cdot 0,142}{110} = 19,6.$$

Hiermit ist zunächst das Diagramm in Fig. 132 gezeichnet. Um mit Hilfe des Diagrammes die zur Anlasserbestimmung nötigen Kurven aufzeichnen zu können, sind für verschiedene Ströme J die zugehörigen Werte von D , L_1 und σ , sämtlich im Amperemaßstab gemessen, aus dem Diagramm entnommen und die Werte in Tabelle XV zusammengestellt.

Tabelle XV.

J	D im Ampere- maßstab	L_1 im Ampere- maßstab	σ im Ampere- maßstab
17,4	14,4	14,0	1,40
33,5	28,3	26,9	3,05
59,0	44,5	30,0	6,00
78,0	50,2	42,0	9,10
99,5	44,8	31,6	15,30
110,3	33,1	17,1	22,20
118,0	16,4	0	35,30

Zunächst müssen die Werte für L_1 aus dem Amperemaßstab umgerechnet werden in PS. Dazu ist:

$$W_1 = \frac{J_1 K}{J_0 A} \cdot 100 = \frac{15,1}{0,525} \cdot 100 = 2880,$$

folglich wird für $J = 17,4$ der zugehörige Wert $L_1 = 14,0$ ausgedrückt in PS

$$N_1 = \frac{3 \cdot L_1 \cdot (W_1 - W_0')}{J_1 K \cdot 736} = \frac{3 \cdot 14,0 (2880 - 100)}{15,1 \cdot 736} = 10,5 \text{ PS.}$$

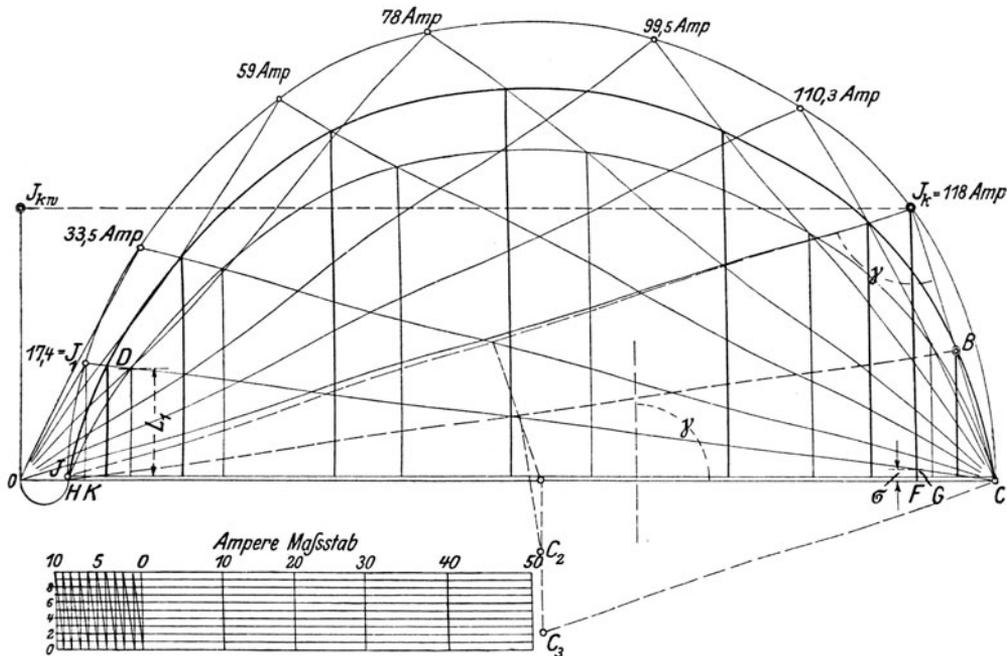


Fig. 132. HEYLAND-Diagramm für einen 10 PS-Motor.

Es sind also die Werte von L_1 zu multiplizieren mit $\frac{10,5}{14,0} = 0,75$, um die Leistung in PS zu erhalten. In Tabelle XVI sind diese Werte von L_1 umgerechnet. Hierauf werden die Werte von σ bestimmt. Nach S. 117 ist $\sigma = 100 \frac{G E}{J_k F}$, oder für $\sigma = 35,3$ im Amperemaßstab ist $\sigma \text{ ‰} = 100 \text{ ‰}$, folglich sind einfach alle Werte von σ im Amperemaßstab zu multiplizieren mit $\frac{100}{35,3} = 2,83$, um σ in Prozenten daraus zu erhalten. Auch diese Werte sind in Ta-

belle XVI zusammengestellt. Die Werte n_2 für die Umlaufszahl des Läufers ergeben sich aus der Gleichung $n_2 = \frac{\nu \cdot 60}{p} - \frac{\sigma \cdot \nu \cdot 60}{100 \cdot p} = \frac{50 \cdot 60}{3} - \frac{\sigma \cdot 50 \cdot 60}{100 \cdot 3} = 1000 - \sigma \cdot 10$, und das Drehmoment D in Meterkilogramm ergibt sich aus den Werten in Tabelle XV zu $D = \frac{L_1 \text{ PS}}{n_2} \cdot 0,1272$ [vergl. Gleichung (48)] oder hier einfacher: bei $J = 17,4$ ist die Leistung in PS $N_1 = 10,5$ PS, dazu die Umlaufszahl $n_2 = 970$, es muß also das Drehmoment sein $D = L_1 \text{ PS} \cdot \frac{60 \cdot 75}{2 \pi \cdot n_2} = 10,5 \cdot \frac{60 \cdot 75}{2 \pi \cdot 970} = 7,77$ mkg, es sind also alle Werte für D im Amperemaßstab aus Tabelle XVI zu multiplizieren mit $\frac{7,77}{14,4} = 0,54$. Die umgerechneten Werte sind zusammengestellt in Tabelle XVI.

Tabelle XVI.

σ %	L_1 in PS	n_2	D in mkg
3,96	10,50	970	7,77
8,65	20,80	914	15,30
17,00	22,50	830	24,00
25,80	31,50	742	27,20
43,40	23,70	566	24,20
63,00	12,82	370	17,90
100,00	0	0	8,85

Aus den Werten für n_2 und D in Tabelle XVI ist Fig. 133 aufgezeichnet und dazu nach der früheren Erklärung zu Fig. 118 der Anlasser gezeichnet. Da aber auch hier für die beiden Drehmomente D_{norm} und D_{max} die Stufenzahl nicht aufgeht, muß man die letzten Stufen etwas ändern, ähnlich wie auch bei Fig. 128 geschehen ist. Es wird zuerst die Gerade HK_1 aufgezeichnet und darauf $w_i = 0,14$ des Läufers, also das Stück HA abgetragen, und die Stufung durch Parallele zu den Geraden von A aus durch den Schnittpunkt der Tangente XD_1 mit HN bestimmt. Diese Parallelen laufen durch N und C , lassen sich aber nicht mehr ziehen für den letzten Punkt,

weil die schräge Linie nach X die Gerade D_{norm} zu weit nach rechts schneidet. Man läßt dann auf dem vorletzten Kontakt das Drehmoment nur noch bis zu einem Wert D_2 kleiner als D_{max} anwachsen und auf dem letzten Kontakt bis zu D_1 und muß nun eine neue

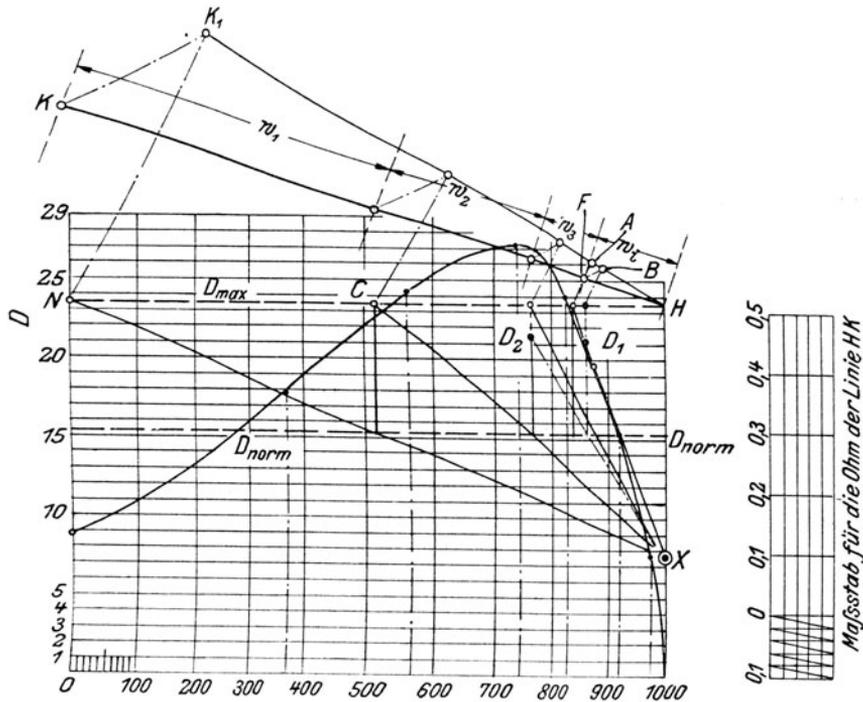


Fig. 133. Anlasserbestimmung für einen 10 PS-Drehfeldmotor.

Gerade für HK_1 ziehen, weil der Wert AH verkleinert ist in BH , also nicht mehr dem Wert w_i entspricht. Es wird eine neue Gerade HK gezogen, darauf $w_i = HF$ abgetragen und durch die Teilpunkte der Strecke HK_1 Parallele zu BF gezogen, durch welche auf HK die Stufen $w_1 = 0,548 \Omega$, $w_2 = 0,258 \Omega$, $w_3 = 0,100 \Omega$ bestimmt werden.

- Messungen an elektrischen Maschinen.** Apparate, Instrumente, Methoden, Schaltungen. Von **Rudolf Krause**, Ingenieur. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 178 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.
- Kurzer Leitfaden der Elektrotechnik.** Von Ingenieur **Rudolf Krause**. Mit 180 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.
- Technisches Zeichnen aus der Vorstellung mit Rücksicht auf die Herstellung in der Werkstatt.** Von Ingenieur **Rudolf Krause**. Mit 97 Figuren im Text und auf 3 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 2,—.
- Der Drehstrommotor.** Ein Handbuch für Studium und Praxis. Von **Julius Heubach**, Chef-Ingenieur. Mit 163 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.
- Motoren für Gleich- und Drehstrom.** Von **Henry M. Hobart**, B. Sc. M. I. E. E. Mem. A. I. E. E. Deutsche Bearbeitung. Übersetzt von **Franklin Punga**. Mit 425 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.
- Elektromotoren für Wechselstrom und Drehstrom.** Von **Dr. G. Roeßler**, Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Danzig-Langfuhr. Zweite gänzlich umgearbeitete Auflage. Erscheint Ende 1909.
- Elektromotoren für Gleichstrom.** Von **Dr. G. Roeßler**, Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Danzig-Langfuhr. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 49 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.
- Die Bahnmotoren für Gleichstrom.** Ihre Wirkungsweise, Bauart und Behandlung. Ein Handbuch für Bahntechniker von **H. Müller**, Oberingenieur der Westinghouse-Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, und **W. Mattersdorff**, Abteilungsvorstand der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft. Mit 231 Textfiguren und 11 lithogr. Tafeln, sowie einer Übersicht der ausgeführten Typen. In Leinwand gebunden Preis M. 15,—.
- Über die Entwicklungsmöglichkeiten des Induktionsmotors für Einphasen-Wechselstrom.** Von **Dr.-Ing. R. v. Koch**. Mit 49 Textfiguren. Preis M. 2,60.
- Berechnung und Ausführung der Hochspannungs-Fernleitungen.** Von **Carl Fred. Holmboe**, Elektroingenieur. Mit 61 Textfiguren. Preis M. 3,—.

Die Wechselstromtechnik. Herausgeg. von Dr.-Ing. E. Arnold, Prof. und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzogl. Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In fünf Bänden.

Erster Band: Theorie der Wechselströme und Transformatoren. Von O. S. Bragstad und J. L. la Cour. Zweite Auflage. Erscheint im Jahre 1909.

Zweiter Band: Die Transformatoren. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 335 Textfiguren und 3 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Dritter Band: Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold. Mit 426 Textfiguren. In Lwd. geb. Preis M. 12,—.

Vierter Band: Die synchronen Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 514 Textfiguren und 13 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Fünfter Band: Die asynchronen Wechselstrommaschinen.

Erster Teil: Die Induktionsmaschinen. Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour, unter Mitarbeit von A. Fraenckel. Mit 307 Textfiguren und 10 Tafeln. In Lwd. geb. Preis M. 18,—.

Teil II (Kommutator-Maschinen) erscheint im Laufe des Jahres 1909.

Die Gleichstrommaschine. Ihre Theorie, Untersuchung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von Dr.-Ing. E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe.

In zwei Bänden.

Erster Band: Theorie und Untersuchung. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 593 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Zweiter Band: Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise der Gleichstrommaschine. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 502 Textfiguren und 13 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Die normalen Eigenschaften elektrischer Maschinen.

Ein Datenbuch für Maschinen- und Elektroingenieure und Studierende der Elektrotechnik. Von Dr.-Ing. Rudolf Goldschmidt, Privatdozent an der Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 34 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 3,—.

Konstruktion und Schaltungen aus dem Gebiete der elektrischen Bahnen.

Gesammelt und bearbeitet von O. S. Bragstad, a. o. Professor an der Großherzogl. techn. Hochschule Fridericiana in Karlsruhe. 31 Tafeln mit erläuterndem Text.

In einer Mappe Preis M. 6,—.

Geschwindigkeitsmesser für Motorfahrzeuge und Lokomotiven.

Von Fr. Pflug, Regierungsbaumeister. Herausgegeben vom Mitteleuropäischen Motorwagenverein. Mit 312 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 9,—.