

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 32 (1941)
Heft: 5

Artikel: Spezialprobleme motorischer Antriebe
Autor: Laible, Th.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059993>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

Anwendung des elektrischen Antriebes in Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und Haushalt.

Bericht

über die Diskussionsversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
vom 10. Juni 1939 in der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich.

(Fortsetzung von Seite 65.)

Spezialprobleme motorischer Antriebe.

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 10. Juni 1939 in Zürich,
von Th. Laible, Zürich-Oerlikon.

Das Referat gibt einen gedrängten Ueberblick über die wichtigsten Probleme, die bei einem elektrischen Antrieb auftreten können und die irgendwelche besonderen Anforderungen an den Motor stellen. Es beschränkt sich auf Drehstromantriebe und auf die folgenden besonderen Aufgaben: 1. Einfluss der Betriebsart auf die Wahl der Motorgrösse, 2. Betriebe mit hoher Schalthäufigkeit, 3. Ausgleich rasch veränderlicher Belastungen und 4. Drehzahlregulierung.

Ce rapport indique sommairement quels sont les principaux problèmes qui peuvent se présenter dans le cas d'une commande électrique et qui posent certaines exigences au moteur. Il se borne aux commandes triphasées et aux problèmes particuliers suivants: 1 Influence du mode de service sur le choix de la grandeur du moteur, 2 Services exigeant de nombreux couplages, 3 Compensation de charges variant rapidement, 4 Réglage de la vitesse.

621.34

Einfluss der Betriebsart.

Die Leistung, die ein bestimmter Motor hergeben kann, ist begrenzt durch seine Erwärmung. Die Wicklungstemperatur eines Motors, der im kalten Zustand eingeschaltet wird, steigt zuerst rasch und nähert sich später langsam einer Endtemperatur. Ist der Motor lange genug eingeschaltet, dass die Endtemperatur wirklich erreicht wird, so spricht man von einem Dauerbetrieb, kurz DB genannt. Wird der Motor jedoch schon vorher wieder ausgeschaltet, so erreicht er die Endtemperatur gar nicht. Seine Leistung darf dann soweit erhöht werden, dass die grösste wirklich noch auftretende Temperatur gleich der zulässigen Temperatur wird. Ist die Dauer des Stillstandes bis zum nächsten Einschalten lange genug, um dem Motor vollständige Abkühlung zu ermöglichen, so ist die erlaubte Leistungserhöhung nur von der Betriebszeit abhängig. In diesem Fall spricht man von einem kurzzeitigen Betrieb. Man kennzeichnet einen Motor für kurzzeitigen Betrieb durch die Buchstaben KB auf dem Leistungsschild und gibt dahinter die zulässige Betriebszeit in Minuten an. Ein solcher Motor darf dann nur diese Zeit mit der angegebenen Leistung laufen und muss nachher mindestens 1 bis 2 Stunden stillstehen.

Wenn Pausen und Betriebszeiten in rascher Folge wechseln, spricht man von einem aussetzenden Betrieb (AB). Die Summe von Betriebszeit und Pause

nennt man die Spieldauer. Man kennzeichnet den Betrieb durch das Verhältnis Betriebszeit/Spieldauer, das man relative Einschaltdauer (ED) nennt. Die erlaubte Leistungserhöhung hängt hauptsächlich von der ED ab.

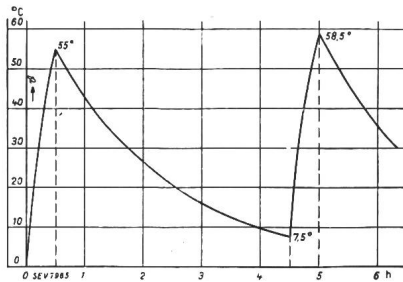
Fig. 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Wicklungstemperatur eines Motors im KB 30 min und im AB für 25 und 40 % ED und darunter die zulässige Leistungserhöhung für die beiden Betriebsarten, gültig für normale Motoren von einigen kW.

Diese Leistungserhöhung ist nicht etwa so zu verstehen, dass man einen normalen Motor für DB vom Verkaufslager nimmt und eine höhere Leistung auf sein Leistungsschild schlägt, sondern er muss für die geänderte Leistung gewickelt werden. Im andern Fall würden nämlich die Kupferverluste zu stark zunehmen, die Eisenverluste dafür gar nicht und auch die Ueberlastbarkeit und das Anzugsmoment würden, auf die neue Leistung bezogen, zu schwach.

Eine Abart der besprochenen Betriebsarten sind der Dauerbetrieb mit kurzzeitiger Belastung (DKB) und der Dauerbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB). Der Unterschied ist der, dass der Motor in den Pausen nicht stillsteht, sondern leer weiterläuft. Der DKB kommt bei Motoren selten vor, für den DAB sind die Motoren von Schweissumformern ein Beispiel.

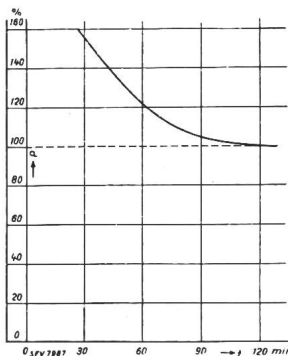
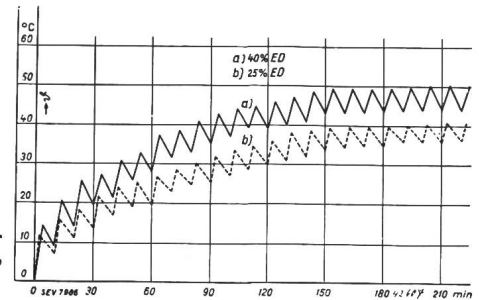
Beim AB spielt genau genommen auch noch die Spieldauer eine Rolle. Die Nennleistung im AB bezieht sich auf eine Spieldauer von 10 min. Kleinere Abweichungen davon haben keinen Einfluss. Wird sie jedoch viel kürzer, etwa 1 min, und

tors von 4,5 kW, 900 U/min, für 80 Spiele pro Stunde. Die oberste Kurve (a) zeigt die Drehzahl des Motors, die mittlere (b) das vom Motor entwickelte Drehmoment, die unterste (c) die Verluste im Motor, alles in Funktion der Zeit. Die Ein-



Erwärmung bei kurzzeitigem Betrieb (30 min mit 4 h Pause), KA, 5,1 kW dauernd, 1400 U/min, tropfwassergeschützt, belastet mit 7,3 kW.

Erwärmung bei aussetzendem Betrieb. Doppelkäfiganker-Motor 3,1 kW, 1355 U/min, 500 V, 50 Hz.



bei kurzzeitigem Betrieb (K B).

Ausnützbarkeit von tropfwassergeschützten Drehstrom-Asynchronmotoren in Abhängigkeit von der Einschaltdauer.

bei aussetzendem Betrieb (AB)

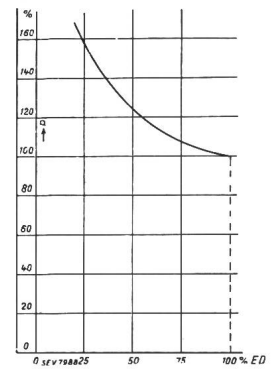


Fig. 1.

Erwärmung und Ausnützbarkeit eines Motors bei verschiedenen Belastungsarten.

darunter, so wird ihr Einfluss bedeutend. Wir kommen damit zu den

Motoren mit hoher Schalthäufigkeit.

Man kennzeichnet diese Betriebe durch die Zahl der Arbeitsspiele in der Stunde. Je höher diese

schaltdauer beträgt $\frac{11,5}{45}$ d. h. ca. 25 %. Kurve c

zeigt jedoch, dass die während des Anlaufs entwickelte Wärmemenge diejenige während des eigentlichen Laufes mit Vollast weit übertrifft. Die Planimetrierung der Verlustkurve während des Anlaufes ergibt nämlich 26,7 kW.s. Demgegenüber werden im Lauf nur $8 \cdot 1,25 = 10,0$ kW.s entwickelt. Bei hohen Spielzahlen sind also nicht mehr die Verluste bei Last, sondern es ist die Anlaufwärme für die Wahl des Motors massgebend.

Wovon hängt nun diese Anlaufwärme hauptsächlich ab?

Um eine Masse in Bewegung zu setzen, muss ihr die kinetische Energie in Form mechanischer Arbeit, der sogenannten Beschleunigungsarbeit zugeführt werden und um sie wieder zur Ruhe zu bringen, muss ihr dieselbe Energie wieder entzogen und in irgend eine andere Form, z. B. mechanische Arbeit, Wärme oder elektrische Energie übergeführt werden. Dient zum Antrieb ein Asynchronmotor, so besteht ein besonders einfacher Zusammenhang zwischen den Kupferverlusten im Motor und der Beschleunigungsarbeit. Beim Leeranlauf vom Stillstand auf die Leerlaufdrehzahl n_0 findet man nämlich, dass die im Rotor entwickelte Wärme Q_0 gerade gleich der Beschleunigungsarbeit, also gleich der kinetischen Energie bei der Leerlaufdrehzahl n_0 ist.

$$Q_0 = 1,37 \cdot GD^2 \left(\frac{n_0}{1000} \right)^2 \text{ in kW.s}$$

GD^2 Schwungmoment in kgm^2 .
 n_0 synchrone Drehzahl pro min.

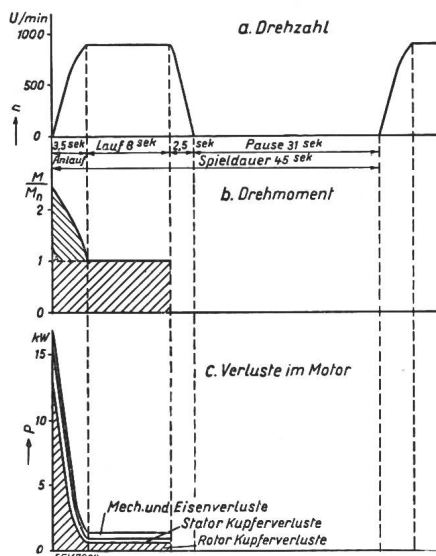


Fig. 2. Betriebsdiagramm eines Aufzugsmotors. DKA, 4,5 kW, 900 U/min, 80 Spiele/h.

Zahl ist, desto mehr muss die Leistung gegenüber der im AB mit gleicher ED herabgesetzt werden. Man erkennt die Ursache dafür aus einer Betrachtung von Fig. 2. Diese zeigt als Beispiel das sogenannte Betriebsdiagramm eines Aufzugs-DKA-Mo-

Die Anlaufstromwärme Q_0 hat für einen gegebenen Antrieb einen unveränderlichen und unvermeidbaren Wert, ganz gleichgültig ob der Anlauf schnell oder langsam erfolgt, ob der Motor direkt oder in Stern-Dreieck-Schaltung oder in irgend einem andern Anlassverfahren eingeschaltet wird. Der Ausdruck Q_0 stellt aber nur dann die ganze Rotorwärme dar, wenn der Anlauf leer erfolgt, wenn also das vom Motor entwickelte Drehmoment nur zur Beschleunigung dient. Ist ausserdem während des Anlaufes ein bestimmtes Lastmoment zu überwinden, so erhöht sich die Rotorstromwärme entsprechend.

Ausserdem erhält man aber auch noch im Stator eine Stromwärme, die sich zu der im Rotor ungefähr gleich verhält, wie die Widerstände. Um geringe Anlaufwärme zu erzielen, muss man daher den Rotorwiderstand möglichst gross machen, also einen Motor mit grossem Schlupf wählen. Dadurch steigen zwar die Verluste im Lauf. Das schadet aber nichts, da für solche Betriebe die Verluste im Anlauf die Laufverluste weit überwiegen. Für Motoren mit hoher Spielzahl werden daher normalerweise Motoren mit etwa doppelt so grossem Schlupf gewählt, wie für Dauerbetriebe. Für solche Motoren und ein Betriebsdiagramm etwa nach Fig. 2 stimmt die Leistung bei 60-Spielen/h annähernd mit der Listenleistung des Motortyps für Dauerbetrieb überein.

In Fig. 2 wurde angenommen, dass der Motor am Ende jeder Fahrt durch eine mechanische Bremse zum Stillstand gebracht werde. Dann entsteht die entsprechende Verlustwärme ausserhalb des Motors und hat auf seine Grösse keinen Einfluss. In vielen Fällen ist die mechanische Bremsung jedoch wegen der starken Abnutzung der Bremsbeläge unerwünscht. Es sollen daher noch kurz die verschiedenen Verfahren betrachtet werden, die eine elektrische Bremsung ermöglichen. Es stehen dazu eine ganze Anzahl zur Verfügung, nämlich:

1. Gegenstrombremsung.
2. Gleichstrombremsung.
3. Generatorisches Bremsen durch Polumschaltung.
4. Generatorisches Bremsen durch Selbsterregung mit Kondensatoren.

Bei der Gegenstrombremsung kehrt man die Drehrichtung des Drehfeldes um, indem man zwei Zuleitungen des Motors vertauscht. Der Motor wird dann zum Stillstand abgebremst und läuft in der andern Richtung wieder an (reversieren). Ist dies nicht beabsichtigt, so muss er in der Nähe des Stillstandes abgeschaltet werden. Für gewöhnliche Käfigankermotoren ist diese Bremsmethode allerdings ungünstig, da man nur ein verhältnismässig kleines Bremsmoment und gleichzeitig einen grossen Strom erhält. Bei Motoren mit erhöhtem Schlupf und Doppelkäfigankern erhält man hingegen ein kräftiges Bremsmoment und daher eine ebenso kurze Bremszeit wie bei mechanischer Bremsung. Hingegen werden in allen Fällen die mit der Gegenstrombremsung verbundenen Verluste im Motor sehr gross, nämlich ca. das 2,5fache der Anlaufwärme. Wollte man also in dem früher behandel-

ten Beispiel den Motor am Ende jedes Spiels mit Gegenstrom mechanisch bremsen, so würde dadurch die Verlustwärme pro Spiel verdreifacht, also würde der Motor nur noch eine wesentlich kleinere Spielzahl ertragen, oder es müsste ein erheblich grösserer Typ gewählt werden. Aus diesem Grunde wendet man Gegenstrombremsung für einen solchen Fall kaum an, wohl aber dort, wo sie verhältnismässig selten gebraucht wird.

Die zweite der erwähnten elektrischen Bremsmethoden, die Gleichstrombremsung, besteht darin, dass man den Stator des Motors vom Netz abschaltet und durch zwei Phasen einen Gleichstrom, etwa gleich dem 1,5- bis 3-fachen Nennstrom des Motors hindurchschickt. Da nur der Ohmsche Spannungsabfall der Wicklung überwunden werden muss, ist die erforderliche Spannung nur einige Volt. Man verwendet daher als Stromquelle meistens einen kleinen Akkumulator oder einen Trockengleichrichter. Der Gleichstrom erzeugt der Form nach ein genau gleiches Feld, wie es das Drehfeld im normalen Betrieb ist, nur steht dieses Gleichfeld still, während das Drehfeld mit der synchronen Drehzahl gegenüber dem Stator rotiert. Gegenüber dem Drehstrombetrieb wird daher die Rolle von Stillstand und Synchronismus gerade vertauscht. Man kann deshalb auf einfache Weise das Drehmoment während der Gleichstrombremsung aus der normalen Drehmomentkurve für Drehstrombetrieb finden.

Bei einem gewöhnlichen Käfigankermotor wird das Bremsmoment bei der vollen Drehzahl klein, hingegen nahe bei Stillstand gross. Der Bremsweg ist daher bei gewöhnlichen KA-Motoren ziemlich gross. Bei DKA-Motoren wird der Verlauf wieder erheblich günstiger. Die Rotorstromwärme ist die gleiche wie im Anlauf als Asynchronmotor, da ja, wie schon gesagt, Stillstand und Leerlaufdrehzahl genau die Rolle vertauscht haben. Für häufiges Bremsen bietet daher die Gleichstrombremsung den Vorteil einer erheblichen Verringerung der Verluste gegenüber der Gegenstrombremsung.

Noch grösser ist allerdings der Gewinn in dieser Hinsicht beim dritten der aufgezählten Verfahren, der generatorischen Bremsung durch Polumschaltung. Wird ein Asynchronmotor während des Laufs plötzlich auf eine höhere Polzahl, also eine kleinere synchrone Drehzahl umgeschaltet, so arbeitet er als Generator und sendet Energie ins Netz, bis er sich dadurch auf die tiefere Drehzahl hinunter gebremst hat. Ein erheblicher Teil der kinetischen Energie wird zurückgewonnen und die Wärmeentwicklung ist dafür desto geringer. Um einen Ueberblick über die Verhältnisse zu geben, sind in Tabelle 1 die Energiebilanzen für 3 Fälle, nämlich Umschaltung auf die doppelte, die 3fache und die 4fache Betriebspolzahl zusammengestellt. Es sind je die zurückgewonnene, die im Motor in Wärme umgewandelte und die nachher noch durch die mechanische Bremse vernichtete Energie in % der in den Schwungmassen vorhandenen kinetischen Energie angegeben. Wo die Energie-Ersparnis der Hauptbeweggrund ist, wird man daher die

Polumschaltung auf die doppelte Polzahl anwenden. Häufig wählt man aber auch ein höheres Verhältnis, besonders wenn geringer Verbrauch von Bremsbelägen besonders wichtig ist, oder wenn man die tiefere Drehzahl als Feineinstellungsdrehzahl benützt, wie bei modernen Personenaufzügen.

Energiebilanz der Bremsung durch Polumschaltung. Tabelle I.

Polzahlverhältnis	1:2	1:3	1:4
	%	%	%
Zurückgewonnene Energie . . .	50	40	28
Verluste im Motor	25	49	66
Mechanisch abgebremst	25	11	6
Kinetische Energie des Antriebes	100	100	100

Das letzte der aufgezählten Bremsverfahren, bei dem der Motor durch Kondensatoren erregt und auf Bremswiderstände belastet wird, sei nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Es kommt eventuell in Frage, wenn es besonders wichtig ist, ein Verfahren zu haben, das vom Netz unabhängig ist, also auch bei ausbleibender Spannung sicher funktioniert. Praktisch hat es bis jetzt noch keine grosse Bedeutung erlangt.

Ausgleich rasch veränderlicher Belastungen.

Auch bei Dauerbetrieb kann die kinetische Energie, die in den rotierenden Massen steckt, eine Rolle spielen und zwar dann, wenn die Belastung rasch veränderlich ist. Bei einer plötzlichen Zunahme der Belastung nimmt der Schlupf zu, die Drehzahl also ab und die kinetische Energie ΔW , die dem Unterschied zwischen der alten und der neuen Drehzahl entspricht, wird frei. Diese Energie trägt zur Deckung des höheren Leistungsbedarfs bei und entlastet daher das Netz um ebensoviel. Umgekehrt steigt bei abnehmender Belastung die Drehzahl wieder an und die Energie ΔW muss daher den Schwungmassen vom Netz aus wieder zugeführt werden. Dieser Einfluss der kinetischen Energie ist im Gegensatz zu der früher betrachteten Rolle, die sie beim Anlauf und Bremsen spielt, eine sehr erwünschte Erscheinung, denn er bewirkt, dass die Leistungsschwankungen im Netz stets etwas kleiner sind, als die sie verursachenden Leistungsschwankungen an der Motorwelle. Die Leistungsschwankungen im Netz sind unerwünscht wegen der Spannungsschwankungen, die sie zur Folge haben. Besonders, wenn sie mit der richtigen Frequenz, etwa 10 bis 20 Per./s, erfolgen, äussern sie sich in unangenehmem Flimmern des Lichtes. Solche rasch schwankenden Belastungen kommen hauptsächlich durch Antriebe zu Stande, bei denen das Drehmoment während einer Umdrehung sehr ungleichmässig ist, also überall, wo die Bewegungsübertragung ein Kurbelgetriebe enthält, also z. B. Kolbenpumpen, Kolbenkompressoren, Scheren, Sägegatter. Die Sägegatter sind in dieser Hinsicht besonders gefährlich, da sie einen besonders grossen Ungleichförmigkeitsgrad haben. Darunter versteht man die grösste Abweichung vom mittleren Drehmoment, bezogen auf dieses. Für solche Fälle muss man daher die Aenderung der kinetischen Energie

so gross als möglich machen, einerseits durch Vergrösserung der Schwungmassen und andererseits durch Vergrösserung des Schlupfes. Damit eine erhebliche Verbesserung erzielt wird, muss die Bedingung

$$\frac{1}{\ddot{u}} GD^2 \left(\frac{n}{1000} \right)^3 \cdot s_m \geq 3$$

- \ddot{u} Uebersetzung von Motorwelle bis Kurbelwelle.
- GD^2 Schwungmoment in kgm^2 auf Motorwelle bezogen.
- n Motordrehzahl pro min.
- s_m Schlupf des Motors in % beim mittleren Drehmoment = mittlerer Schlupf.

erfüllt sein. Gilt das Gleichheitszeichen, so ist der Ungleichförmigkeitsgrad der Leistungsaufnahme nur noch $1/10$ desjenigen des Drehmomentes.

Auch in den Fällen, wo man nur vorübergehende einzelne Belastungsschwankungen durch ein Schwungrad ausgleichen will, ist es stets wichtig, gleichzeitig den Schlupf zu vergrössern, um eine möglichst grosse kinetische Energie für den Ausgleich wirksam zu machen.

Drehzahlregulierung.

Die für Drehstrom bekannten Lösungen sind in der Tabelle II zusammengestellt. Dabei ist unterschieden, ob die Regulierung mit Verlusten behaftet oder verlustlos sei, ob sie in grober Stufung, feiner Stufung oder stetig erfolgt, und welche Art der Drehzahlcharakteristik erhalten wird. Man versteht darunter die Abhängigkeit der Drehzahl vom Drehmoment und unterscheidet in Anlehnung an die beim Gleichstrommotor vorhandenen Möglichkeiten die 3 typischen Fälle (Fig. 3 a):

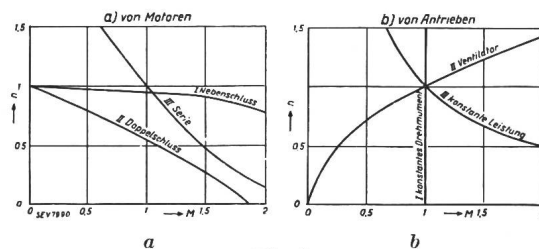


Fig. 3. Typische Drehzahlcharakteristiken.

- I. Nebenschlusscharakteristik,
- II. Doppelschlusscharakteristik und
- III. Seriecharakteristik.

Bei I und II hat man eine bestimmte Leerlaufdrehzahl. Beträgt der Abfall bis zur Vollast nur wenige % dieser Leerlaufdrehzahl, so spricht man von Nebenschluss-, im andern Fall von Doppelschlussverhalten. Beim Serieverhalten III ist die Neigung der Charakteristik in der Nähe der Vollast ähnlich wie bei II. Es besteht aber keine bestimmte Leerlaufdrehzahl; bei völliger Entlastung erreicht der Motor eine sehr hohe, meistens unzulässige Drehzahl. An dieser Stelle wird es angebracht sein, auch auf die wichtigsten Drehzahlcharakteristiken der Arbeitsmaschinen kurz einzugehen. Auch hier können 3 typische Fälle unterschieden werden, denen die meisten Antriebe mehr oder weniger nahe kommen (Fig. 3 b). Der häu-

Drehzahlregulierung bei Drehstrom. Uebersicht.

Tabelle II.

		Drehzahlcharakteristik		
		Nebenschluss	Doppelschluss	Serie
Regulierung in groben Stufen	mit Verlusten	—	Statorregulierung mit Widerstand oder Stufentransformator	—
	praktisch verlustlos	Polumschaltung Kaskadenschaltung Doppelmotor Frequenzregulierung	—	—
in feinen Stufen oder stetig	mit Verlusten	—	Statorregulierung mit Widerstand Schlupfregulierung	—
	praktisch verlustlos	Drehstrom-Nebenschluss-Kommutator-Motor	—	Drehstrom-Serie-Kommutator-motor

figste Fall ist I, konstantes Drehmoment bei allen Drehzahlen. Dieser ist bei der überwiegenden Zahl aller Arbeitsmaschinen mehr oder weniger genau verwirklicht (die meisten Werkzeugmaschinen, walzende und knetende Arbeitsmaschinen, z. B. Kalanders für Papier, Gummi, Textilwaren, Druckereipressen, Drehöfen, Aufzüge, Transportbänder).

Mit der Drehzahl stark zunehmendes Drehmoment gibt besonders die Ventilatorcharakteristik II, bei der das Drehmoment dem Quadrat der Drehzahl proportional ist. Sie tritt auf bei allen Kreiselmotoren, also Ventilatoren, Kreiselpumpen und Kreiselpöblen.

Bei einzelnen Antrieben z. B. Drehbänken (nicht immer), Fournierschälmaschinen, Aufrollmaschinen und Umroller für Papier hat man praktisch gleichbleibende Leistung, also mit wachsender Drehzahl fallendes Drehmoment (III).

Kennt man die Drehzahlcharakteristik des Motors und die der Arbeitsmaschine und zeichnet sie im gleichen Kurvenblatt ein, so gibt der Schnittpunkt den Arbeitspunkt. Bei Arbeitsmaschinen mit fallendem Drehmoment, also z. B. konstanter Leistung ist nur bei Nebenschlusscharakteristik des Motors ein einwandfreier Betrieb gewährleistet. Bei Ventilatorcharakteristik hingegen erhält man stets mit jeder Motorcharakteristik sicheren stabilen Betrieb.

Als einfachstes, aber unvollkommenstes Mittel zur Drehzahländerung steht die sogenannte Statorregulierung des Käfigankermotors zur Verfügung. Sie besteht in einer Herabsetzung der Spannung an den Motorklemmen, entweder durch Einschalten von Widerstand, oder, etwas vollkommener,

mit Hilfe eines Spartransformators. Sie wird besonders bei kleinen Ventilator-Antrieben viel benutzt.

Für etwas grössere Leistungen besteht dann die Wahl zwischen der Schlupfregulierung durch Widerstände im Rotorkreis und der Polumschaltung. Die Schlupfregulierung erfordert den Schleifringanker. Die Verluste im Sekundärkreis sind wie bei allen Asynchronmotoren gleich dem Produkt aus Drehmoment und Schlupf. Der grösste Teil dieser Verluste entfällt allerdings auf den äusseren Widerstand, ist also für die Bemessung des Motors ohne Einfluss, wohl aber natürlich auf den Energieverbrauch. In Fig. 4 sind die Leistung, die sekundären

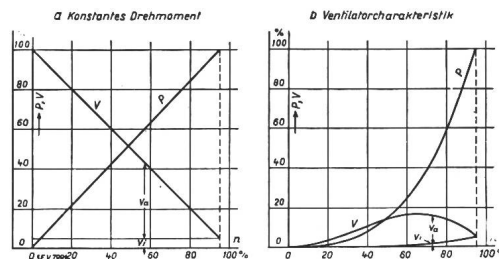


Fig. 4.

Drehstrom-Schleifringankermotor mit Schlupfregulierung. P abgegebene Leistung, V_1 Verlust in der Rotorwicklung, V_s Verlust im Regulierwiderstand, $V = V_s + V_1$ Gesamtverlust im Sekundärkreis.

Kupferverluste und der auf die Rotorwicklung selbst entfallende Anteil in Abhängigkeit von der Drehzahl zusammengestellt und zwar für die beiden wichtigsten vorkommenden Fälle:

- a) Konstantes Drehmoment bei allen Drehzahlen,
- b) Ventilatorcharakteristik.

Man erkennt, dass der Gesamtverlust in beiden Fällen beträchtliche Werte erreicht, besonders aber im Fall a). Der Wirkungsgrad ist in beiden Fällen gleich, nämlich einfach $1-s$ (wenn die Statorkupferverluste und die Leerlaufverluste vernachlässigt werden). Die Rotorverluste selbst bleiben im Falle a) konstant. Da aber die Wärmeabfuhr bei tiefen Drehzahlen geringer ist, muss der Motor um so grösser gewählt werden, je weiter herunter er reguliert werden soll. Im Fall b) nehmen die Verluste im Rotor selbst rasch ab und bei der Bemessung des Motors braucht daher auf den Regulierbereich keine Rücksicht genommen zu werden. Läuft ein Motor häufig mit stark verringerter Drehzahl, so ist die Schlupfregulierung besonders bei konstantem Drehmoment wegen der grossen verlorenen Energie unwirtschaftlich. Bei kürzerer Betriebszeit mit reduzierten Drehzahlen und besonders bei Ventilatorcharakteristik kann der Schleifringankermotor aber wirtschaftlich sein. Auskunft, wann dies im einzelnen Fall eintritt, kann nur eine Vergleichsrechnung mit einem Kommutatormotor ergeben, wobei die gesamten Jahresverluste des Schleifringankermotors noch etwas über denen des Kommutatormotors liegen dürfen und zwar so viel, dass der kapitalisierte Betrag der Energiekosten der Differenz den Preisunterschied zwischen dem Kommutatormotor und dem Schleifringankermotor nicht überschreitet. Gegenüber der Polumschaltung hat die Schlupfregulierung den Vorteil, dass sie bei

geeigneter Ausführung des Widerstandes beliebig feinstufig, oder z. B. mit Flüssigkeits-Widerständen sogar stetig sein kann.

Die Regulierung durch *Polumschaltung* andererseits hat dafür den Vorteil, auf allen Stufen guten Wirkungsgrad und reine Nebenschlusscharakteristik zu geben. Allerdings ist man praktisch auf einige wenige Stufen beschränkt. Normal werden 2, 3 oder 4 Stufen ausgeführt. Höhere Stufenzahl ist zwar möglich, wird aber selten angewandt. Die Polumschaltung wird am häufigsten in Verbindung mit Käfiganker und Doppelkäfigankern angewandt, da man dabei nur im Stator umzuschalten braucht, während der Rotor unverändert bleibt. Die MFO hat für polumschaltbare Motoren eine besondere Ausführungsform des Doppelkäfigankers entwickelt, die bei zwei weit auseinanderliegenden Polzahlen die Drehmomentkurven beinahe unabhängig voneinander zu wählen gestattet. Fig. 5 zeigt die

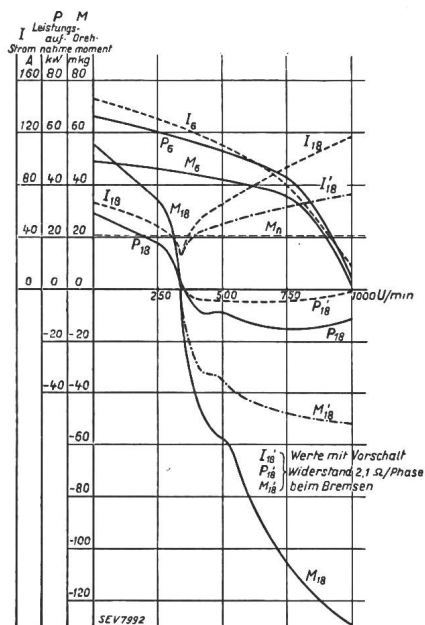


Fig. 5.
Doppelkäfiganker-
stufenmotor
19,6,25 kW,
900/300 U/min,
380 V, 50 Hz.

Kurven eines solchen Motors bei 6 und 18 Polen. Solche Motoren mit einem Polzahlverhältnis 1 : 3 oder 1 : 4 werden besonders für Aufzüge verwendet, wobei die hohe Polzahl die Feineinstellungsgeschwindigkeit ergibt. Gleichzeitig dient sie, wie früher ausgeführt, zum übersynchronen Bremsen am Ende jeder Fahrt. In Fig. 5 ist zu sehen, dass man beim Bremsen ein sehr hohes Drehmoment (5- bis 6faches Nennmoment) erhält, das eine zu scharfe Verzögerung ergäbe. Es wird deshalb durch einen Vorschaltwiderstand auf den gewünschten Betrag (2- bis 2,5faches Nennmoment) herabgesetzt. Dafür gilt die strichpunktierte Kurve in Fig. 5.

Die Polumschaltung erfolgt entweder so, dass für jede einzelne Polzahl getrennt eine normale Wicklung vorhanden ist, oder dass eine einzige Wicklung derartig unterteilt ist, dass sie für verschiedene Polzahlen umgeschaltet werden kann. Die erste Ausführungsform hat den Vorteil, dass man ohne weiteres beliebige Polzahlverhältnisse erhalten kann und für jede Wicklung nur 3 Klemmen und einen einfachen 3poligen Schalter erhält.

Die Schalter der einzelnen Wicklungen müssen allerdings gegeneinander verriegelt sein, um das gleichzeitige Einschalten zweier Wicklungen zu verunmöglichen. Da alle Wicklungen in den gleichen Nuten liegen, bleibt für jede einzelne nur ein Teil des Nutzraums. Die Leistung wird daher auch nur ein entsprechender Teil der Leistung, die dieselbe Motorgröße bei nur einer Polzahl geben könnte.

Bei einer einzigen für verschiedene Polzahlen umschaltbaren Wicklung wird die Ausnutzung besser. Am häufigsten werden die umschaltbaren Wicklungen für das Polzahlverhältnis 1 : 2 ausgeführt, besonders, weil man dabei auch nur 6 Klemmen benötigt, also nicht mehr als sich auch bei getrennten Wicklungen ergäbe. Die Umschaltung Doppelstern/Stern kommt hauptsächlich für konstantes Drehmoment, die Umschaltung Doppelstern/Dreieck für konstante Leistung in Betracht. Die Wicklung selbst kann als Zweischichtschrittwicklung, als Einschichtschrittwicklung oder auch als normale Spulwicklung für die höhere Polzahl ausgeführt werden. Die zuletzt erwähnte Möglichkeit ist unter dem Namen Dahlander-Schaltung bekannt. Je nach Wicklungsart ist die Ausnutzung und das Verhältnis der Leistungen bei beiden Polzahlen verschieden.

Bei Ausführung der Wicklung als Zweischichtschrittwicklung lassen sich mit derselben Wicklung beliebige Polzahlverhältnisse und auch mehr als 2 verschiedene Polzahlen durch Umschaltung erzielen. Es sind dann aber eine beträchtliche Anzahl Verbindungen (meistens 6 für jede Polzahl) herauszuführen und die Schaltgeräte für die Umschaltung werden entsprechend kompliziert.

Eine weitere Möglichkeit, 3 oder 4 Polzahlen zu erhalten, bietet die Kaskadenschaltung zweier Asynchronmotoren. Bei hochpoligem Hintermotor erhält man aber für die Kaskade einen sehr schlechten Leistungsfaktor. Dies ist einer der Hauptgründe, warum man diese Methode nur noch selten anwendet.

Eine andere Lösung, die seinerzeit von der Maschinenfabrik Oerlikon vorgeschlagen wurde, und die eine grosse Stufenzahl ermöglicht, ist der Doppelmotor. Ein normaler Käfiganker läuft in einem Stator, der selbst drehbar gelagert ist, und der an seiner äusseren Eisenoberfläche einen zweiten Käfiganker trägt. Er ist von einem weiteren feststehenden Stator umgeben. Die Motorwelle dreht sich mit der Summe oder Differenz der Drehzahlen des innern und äusseren Motors, je nachdem die beiden Drehfelder im gleichen oder entgegengesetzten Sinn rotieren. Bei einer Ausführung für 220 kW hatte der äussere Stator z. B. eine polumschaltbare Wicklung für 12, 16, 24 und 32 Pole, der innere Stator eine solche für 2 und 4 Pole. Damit ergeben sich die 18 Stufen (Leerlaufdrehzahlen) 1000, 1125, 1250, 1318, 1500, 1682, 1750, 1875, 2000, 2500, 2625, 2750, 2818, 3000, 3182, 3250, 3375, 3500 U/min. Für 1500 und 3000 U/min wird der innere Stator festgebremst. Abgesehen von der grossen Stufenzahl hat diese Anordnung gegenüber

der Kaskadenschaltung den Vorteil, dass der hochpolige Stator parallel, nicht in Reihe zum niederpoligen Stator liegt, was einen wesentlich bessern Gesamt-Leistungsfaktor zur Folge hat. Die teure Spezialkonstruktion hat allerdings trotzdem die häufigere Anwendung dieser Lösung verhindert. Von anderer Seite wurde diese Ausführungsform mehrfach nicht zur Drehzahlregulierung, sondern nur zur Erzielung einer über 3000 liegenden Drehzahl (4500 oder 6000 U/min) verwendet.

Eine weitere Form der verlustlosen Regulierung in Stufen ist die Speisung normaler Asynchronmotoren mit verschiedenen Frequenzen. Das Problem der Drehzahlregulierung ist damit allerdings einfach vom Motor selbst auf den Frequenzumformer zur Erzeugung der variablen Frequenz verschoben. Es bietet daher kein Interesse, solange einzelne Motoren zu regeln sind, wohl aber dann, wenn eine grössere Zahl von Motoren gleichzeitig geregelt werden sollen. Verwendet man einen

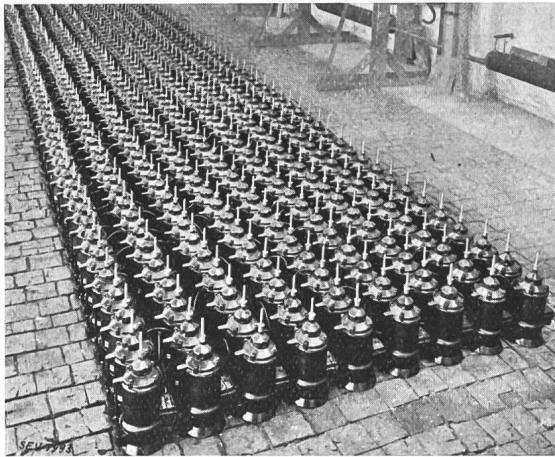


Fig. 6.
Spinnzentrifugen-Motoren.

asynchronen Frequenzumformer, wobei der Umformer aus einem Schleifringankermotor besteht, der von einem Käfigankermotor angetrieben wird, so kann man beispielsweise bei 4poligen Umformern und 2- und 4-poligem Motor die Frequenzen 100 und 150 Per./s erhalten, dazu aus dem Netz direkt noch 50 Per./s, wodurch man 3 Stufen im Verhältnis 1 : 2 : 3 erhält. Diese Art der Regulierung wird z. B. bei den Kunstseidenzentrifugen angewandt (Fig. 6).

Die vollkommenste Art der Drehzahlregulierung ist die durch Drehstromkommutatormotoren. Diese sind heute neben der Polumschaltung das meistangewandte Mittel der Drehzahlregulierung bei Drehstrom.

Es sind dabei grundsätzlich 3 verschiedene Motorarten zu unterscheiden, nämlich der Drehstromseriekommutatormotor, der ständergespeiste und der läufergespeiste Drehstrom-Nebenschlusskommutatormotor. Der Drehstrom-Serie-Kommutatormotor ist der älteste von ihnen. Er wurde schon 1891 von Görges angegeben und wird nun seit über 30 Jahren gebaut. Die MFO nahm ihn 1909 in ihr Fabrikationsprogramm auf.

Fig. 7 zeigt seinen prinzipiellen Aufbau. In einem normalen Drehstromstator läuft ein Gleichstromanker. Auf dem Kommutator befinden sich 3 Bürstenbolzen pro Polpaar, die über einen Transformator mit dem Stator in Serie geschaltet sind. Der Transformator ist für die Wirkungsweise des Motors nebensächlich. Er hat nur den Zweck, die Netzspannung auf den für die Bemessung des Kommutators geeigneten Wert herunter zu transformieren. Stehen die Bürsten in der Nulllage, d. h. in der Achse der zugehörigen Statorphasen, so halten sich die vom Stator aus im Rotor induzierte Spannung und die über den Transformator ihm von aussen aufgedrückte Spannung das Gleichgewicht. Der Motor nimmt daher in dieser Stellung nur den Magnetisierungstrom auf und entwickelt kein Drehmoment. Werden die Bürsten aus dieser Lage verdreht, so sind die induzierte Spannung und die von aussen aufgedrückte nicht mehr in Phase. Der Motor nimmt daher einen

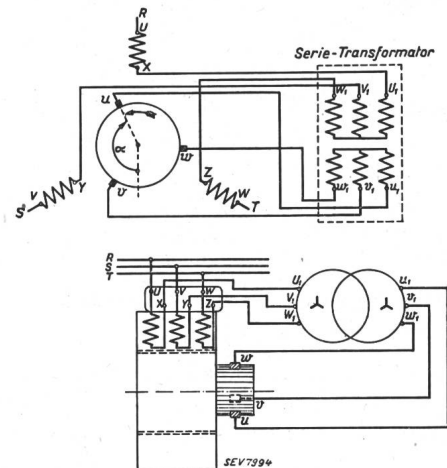


Fig. 7.
Drehstrom-Serie-Kommutatormotor (Prinzipschema).

wachsenden Strom auf und entwickelt ein Drehmoment, das ständig wächst, bis es nahe der gegenüberliegenden Kurzschlußstellung ein Maximum erreicht und dann rasch wieder auf Null absinkt.

Fig. 8 zeigt die charakteristischen Kurven eines solchen Motors, nämlich die Drehzahlcharakteristiken für verschiedene Bürstenstellungen und die zugehörigen Kurven für Wirkungsgrad und Leistungsfaktor. Die Drehzahlcharakteristiken zeigen das typische Serieverhalten. Bei den tiefsten Drehzahlen und Teillasten werden die Kurven fast senkrecht. Dort beginnt die Stabilität auch bei Antrieben mit konstantem Drehmoment mangelhaft zu werden. Immerhin ist die tiefste Drehzahl noch bei 60 % des Volllastmomentes einstellbar, allerdings nur bei gut konstanter Spannung. Wird ein noch grösserer Regulierbereich als 1 : 4 erforderlich, so geht man zu einer etwas geänderten Schaltung über, wobei pro Polpaar 3 feststehende und 3 bewegliche Bürstenbolzen verwendet werden. Einen Motor dieser Schaltung für 45 kW und einen Regulierbereich 1 : 6, nämlich von 900 bis 150 U/min, zeigt Fig. 9. Wegen der tief liegenden kleinsten Drehzahl ist der Motor wie meistens für so

grosse Regulierbereiche mit Fremdventilation durch einen aufgebauten Ventilator versehen. Er dient dem Antrieb einer grossen Mercerisiermaschine.

Der ständergespeiste Drehstrom-Nebenschlussmotor wurde 1910 durch Winter-Eichberg vorgeschlagen. Sein Stator liegt ebenfalls direkt am Netz. Der Rotor, im Aufbau ebenfalls einfach ein Gleich-

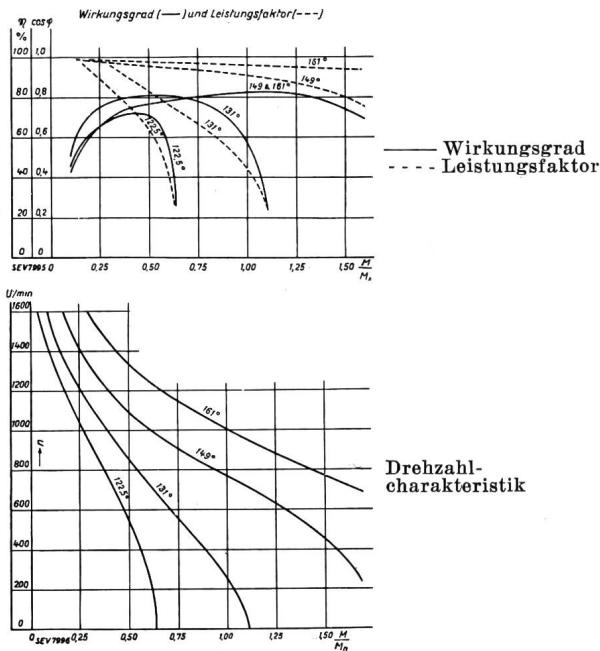


Fig. 8.
Drehstrom-Serie-Kommutatormotor.
5,5/22 kW, 250...1000 U/min.

stromanker mit 3 Bürstenbolzen/Polpaar, wird über einen Stufentransformator oder bei den neueren Ausführungsformen meistens durch einen Induktionsregler direkt aus dem Netz gespeisen. Die Einstellung der Drehzahl erfolgt durch Regulierung

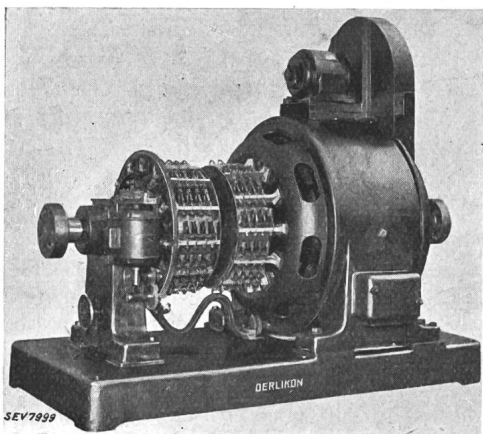


Fig. 9.
Drehstrom-Serie-Kommutatormotor.
45 kW, 900...150 U/min.

der Spannung, die dem Kommutator zugeführt wird. Seine Betriebseigenschaften sind ähnlichen denen des läufergespeisten Drehstrom-Nebenschlussmotors, der ihn immer mehr verdrängt. Dieser wurde 1914 durch Schrage bekannt gemacht. Er war bis in die letzten Jahre durch Patente der

ASEA, Siemens-Schuckert und General Electric Co. resp. Thomson-Houston Co. geschützt. Seit dem Erlöschen dieser Patente führte er sich immer mehr ein. Die MFO baut heute den läufergespeisten Drehstrom-Nebenschlussmotor und daneben weiter den Drehstrom-Serie-Kollektor-Motor, da dieser für bestimmte Antriebe Vorteile hat.

Im Prinzip ist der läufergespeiste Drehstrom-Nebenschlussmotor ein Asynchronmotor, dessen Sekundärteil jedoch nicht kurzgeschlossen ist, sondern eine Spannung von aussen zugeführt erhält. Diese Spannung muss jedoch Schlupffrequenz haben und kann daher nicht direkt, sondern nur über einen

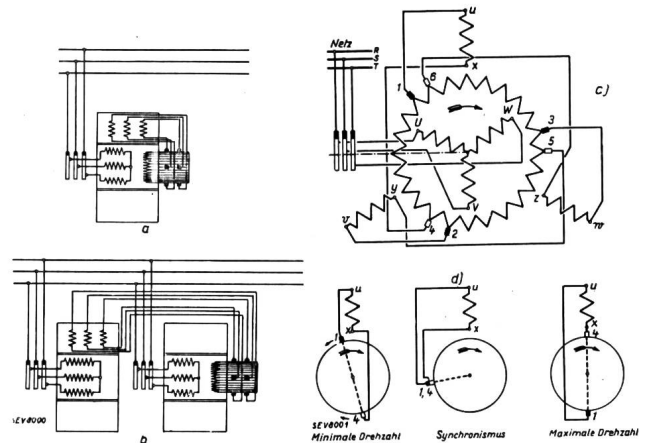


Fig. 10.

- a Drehstromnebenschluss-Kommutatormotor.
- b Kaskade eines Asynchronmotors mit einem Frequenzwandler.
- c 2poliges Prinzipschema des Drehstromnebenschluss-Kollektormotors.
- d Charakteristische Lagen der Bürsten.

Frequenzumformer dem Netz entnommen werden. In Fig. 10 b ist eine solche Einrichtung schematisch dargestellt. Dabei ist der Asynchronmotor gerade umgekehrt gezeichnet wie gewöhnlich. Der Rotor ist über die Schleifringe an das Netz angeschlossen und der Stator trägt die Sekundärwicklung. Nimmt man nun die Wicklung des Frequenzumformers noch in den gleichen Rotor hinein, der bereits die primäre Wicklung trägt, so erhält man den läufergespeisten Drehstrom-Nebenschlussmotor (Fig. 10a). Sein Rotor trägt also die Schleifringwicklung und in denselben Nuten eine zweite Wicklung, die mit dem Kommutator verbunden ist. Auf dem Kommutator bewegen sich zwei Bürstensätze, von denen jeder 3 Bolzen/Polpaar hat und die so miteinander gekuppelt sind, dass sich der eine im Uhrzeigersinn dreht, wenn der andere im Gegenuhrzeigersinn verdreht wird. Jede Phase der Statorwicklung ist je mit einem Bolzen des einen Satzes und einem Bolzen des andern Satzes verbunden (Fig. 10 c). Fig. 10 d zeigt der Uebersichtlichkeit halber eine einzelne Phase des Sekundärkreises. In der Mitte befinden sich die beiden zusammengehörigen Bürsten 1 und 4 auf der gleichen Lamelle und schliessen den Stator kurz. Daher läuft der Motor wie ein normaler Asynchronmotor bei Leerlauf angenähert synchron und bei Belastung mit einem wachsenden Schlupf von einigen %. Bewegt man die Bürsten auseinander, so greifen sie dazwischen eine Span-

nung ab, die mit der Entfernung der Bürsten wächst, bis sie bei sich gegenüberstehenden Bürsten den grössten möglichen Wert erreicht hat. Im Leerlauf entwickelt der Motor kein Drehmoment und kann daher auch keinen Sekundärstrom haben. Daher muss der Motor seine Drehzahl so stark ändern bis die dadurch im Stator induzierte Spannung der am Kommutator abgegriffenen das Gleichgewicht hält. Verschiebt man die Bürsten aus der Mittellage in die andere Richtung, so erhält man ebenfalls eine Spannung zwischen ihnen, aber von entgegengesetzter Phasenlage; daher ändert sich die Drehzahl jetzt in der umgekehrten Richtung von der synchronen Drehzahl aus. In Fig. 10 d ist links die Lage für die tiefste Drehzahl, rechts die-

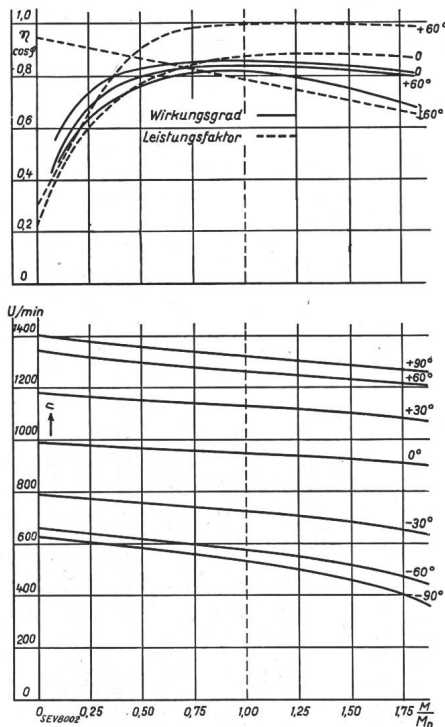


Fig. 11.
Drehstrom-Nebenschlussmotor.
53 kW, 1200...600 U/min, 380 V, 50 Hz.

jenige für die höchste Drehzahl gezeichnet. Man bemerkt dabei noch, dass in der Stellung links die Bürstenachse nicht mit der Statorachse zusammenfällt. Die kleine Winkelabweichung hat eine Phasenabweichung der Spannungen in der Statorwicklung und am Kommutator zur Folge. Die Differenzspannung treibt einen magnetisierenden Blindstrom durch die Sekundärwicklung, der die Primärwicklung von Magnetisierungsstrom entlastet und damit den Leistungsfaktor verbessert. Diese Entlastung ist nur im untersynchronen Bereich erforderlich, da im übersynchronen Bereich der sekundäre Belastungsstrom infolge der Wirkung der Streuung ohnehin eine magnetisierende Komponente erhält. Die charakteristischen Kurven eines Drehstrom-Nebenschlussmotors sind in Fig. 11 zusammengestellt, unten die Drehzahlcharakteristiken, oben Wirkungsgrad und Leistungsfaktor bei verschiedenen Bürstenstellungen.

Die Kurven zeigen den günstigen Verlauf der Charakteristiken des Drehstrom-Nebenschlussmotors. Der Drehzahlabfall von Leerlauf bis Vollast beträgt in der Nähe des Synchronismus etwa 4 %, bei der höchsten Drehzahl 5,5 % und nur bei den untersten Drehzahlen wird er grösser und steigt bis auf etwa 12 %, je auf die betreffende Leerlauf-Drehzahl bezogen. Der Wirkungsgrad und Leistungsfaktor ändern sich nur wenig von Halb- bis 50 % Ueberlast und auch im ganzen Drehzahlbereich. Bei Nennmoment variiert z. B. der Wirkungsgrad von 600 ... 1200 U/min nur zwischen 82 und 86 % und der Leistungsfaktor zwischen 0,8 und 1,0. Für grossen Regulierbereich wird allerdings der Drehzahlabfall grösser und erreicht z. B. bei Regulierung 1 : 6 schon im übersynchronen Teil 10 %, bei der tiefsten Drehzahl sogar 35 %. Diese nähert sich also schon mehr einer Doppelschluss-Charakteristik. Der Wirkungsgrad und Leistungsfaktor sinken bei der tiefsten Drehzahl bis auf etwa 60 %. Das Anzugsmoment ist beim Drehstrom-Nebenschlussmotor von Natur aus sehr kräftig und beträgt in der Anlaufstellung, d. h. in der Stellung für tiefste Drehzahl je nach Motorgrösse und Regulierbereich das 2- ... 3fache des Nennmoments. In den Fällen, wo dieses hohe Anzugsmoment einen

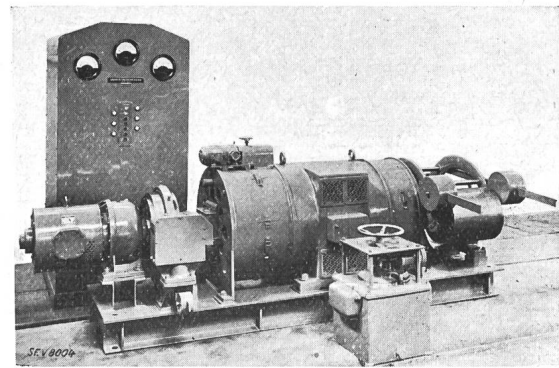


Fig. 12.
Drehstrom-Nebenschluss-Kommutatormotor.
53 kW, 1200...600 U/min mit Einzieh-Getriebemotor für 100 U/min und automatischem Anlasser, zum Antrieb eines Papierkalenders.

zu scharfen Anlauf ergäbe, wird ein Anlasser vorgesehen, wie bei Schleifringankermotoren bekannt, mit dem es sich beliebig herabsetzen lässt. Fig. 12 zeigt einen Drehstrom-Nebenschlussmotor für Papierkalenderantrieb. Links aussen befindet sich ein besonderer Einziehmotor, der über ein Getriebe und eine Ueberholungskupplung die kleine Geschwindigkeit für das Einziehen des Papiers gibt. Der im Vordergrund befindliche automatische Anlasser ermöglicht stossfreien Uebergang von der Einziehggeschwindigkeit zur niedersten Arbeitsgeschwindigkeit des Hauptmotors. Auf dem Hauptmotor aufgebaut ist der Servomotor mit Getriebe und Endausschalter.

Wie schon erwähnt, gibt es Anwendungsgebiete, bei denen trotz der günstigen Eigenschaften des Drehstrom-Nebenschlussmotors der Drehstrom-Seriemotor als vollwertiger Konkurrent in Wettbewerb tritt. Die wichtigsten dieser Anwendungsgebiete

sind alle Antriebe mit Ventilatorcharakteristik und die Antriebe von Zeitungsrotationsmaschinen. Ich habe schon früher gezeigt, dass bei Ventilatorcharakteristik auch mit Seriecharakteristik des Motors gute Stabilität erreicht wird und daher fällt dieses Bedenken gegen den Seriomotor hier fort. Der Wirkungsgrad ist beim Seriomotor bei den höheren Drehzahlen eher besser, bei den tiefern

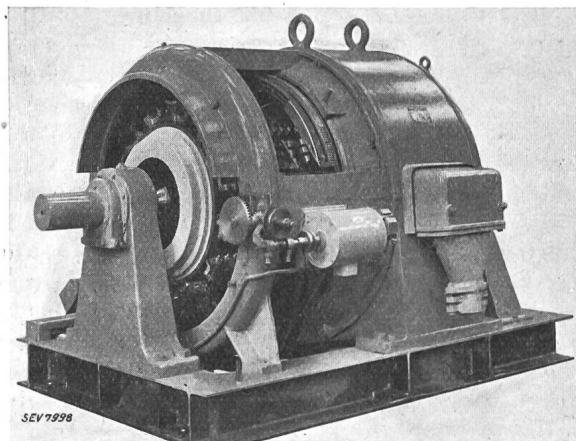


Fig. 13.

Drehstrom-Serie-Kommutatormotor.

130 kW, 725...435 U/min, zum Antrieb eines Unterwindgebläses.

dagegen schlechter als beim Nebenschlussmotor. Arbeitet man vorwiegend in der Nähe der vollen Leistung, so ist der Seriomotor vorteilhafter, um so mehr weil er im Anschaffungspreis ebenfalls etwas billiger ist als der Nebenschlussmotor. Fig. 13 zeigt einen Drehstromseriomotor von 130 kW bei 725 U/min für ein Unterwindgebläse. Arbeitet man jedoch vorwiegend bei kleinen Leistungen, so kann

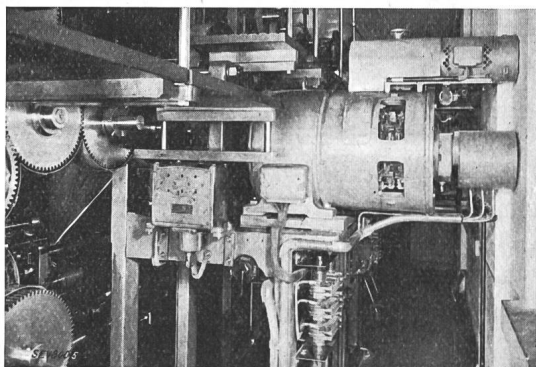


Fig. 14.

Doppelrotationspresse.

2·16 Seiten, angetrieben durch zwei Drehstrom-Nebenschluss-Kommutatormotoren von je 18,4 kW, 1500...300 U/min.

auch bei einem solchen Antrieb ein Drehstrom-Nebenschlussmotor vorgezogen werden.

Bei Zeitungsrotationsmaschinen sind es zwei andere Gesichtspunkte, welche in gewissen Fällen den Seriomotor günstiger erscheinen lassen. Das Zeitungspapier reisst sehr leicht und erträgt daher keinen zu raschen Anlauf. Beim Drehstrom-Seriomotor erfolgt das Anlassen stets mit stetig von Null ansteigendem Drehmoment. Die Maschine setzt sich in Bewegung, sobald der für die Ueberwindung der

Reibung der Ruhe nötige Betrag erreicht ist, also ohne jeden Ruck. Daher lässt sich auf Maschinen mit Antrieb durch Seriomotoren auch das unsolideste Papier ohne Störungen verarbeiten. Beim Antrieb durch Drehstrom-Nebenschlussmotor muss man das Anzugsmoment durch einen Anlasswiderstand auf den geeigneten Wert herabsetzen. Da die Maschinen aber nicht immer gleichviel benötigen (z. B. abkuppeln einzelner Teile bei kleinerer Seitenzahl), kann damit nur eine mehr oder weniger gute Anpassung erzielt werden und bei einigemassen heiklem Papier sind Risse während des Anfahrens häufig. Grössere Zeitungsrotationsmaschinen bestehen überdies in der Regel aus mehreren Teilen, die für bestimmte Druckarbeiten zusammen, für andere getrennt arbeiten sollen, weshalb meistens jeder Teil für sich durch einen Motor angetrieben wird. Beim Zusammenarbeiten sind die verschiedenen Motoren über die Maschine miteinander gekuppelt und laufen zwangsläufig gleich schnell. Es muss dann dafür gesorgt werden, dass sich die Last gleichmässig auf die einzelnen Motoren verteilt. Beim Drehstrom-Seriekollektormotor braucht man dazu keinerlei besondere Massnahmen, da sich bei der Seriecharakteristik bei gleicher Drehzahl von selbst keine wesentlichen Ungleichheiten der Drehmomente ergeben können. Dem-

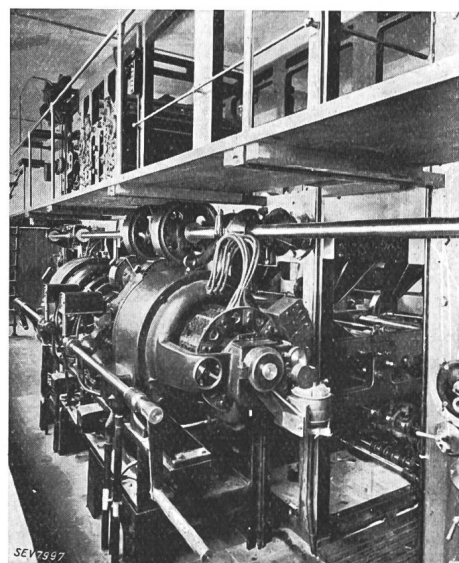


Fig. 15.

Doppel-Rotationspresse.

2·40 Seiten, angetrieben durch zwei Drehstrom-Serie-Kommutatormotoren von je 33 kW, 950...280 U/min.

gegenüber sind die Drehstromnebenschlussmotoren in dieser Hinsicht sehr empfindlich. Die MFO synchronisiert daher bei Mehrmotorenantrieb mit Drehstrom-Nebenschlussmotoren die Bürstenbrücken der beteiligten Motoren, so dass sie sich stets genau miteinander bewegen müssen. Die dazu nötigen Schleifringankerservomotoren sind zwar bedeutend grösser als die üblicherweise verwendeten Käfigankerservomotoren. Dieser Nachteil wird aber dadurch aufgewogen, dass die zu diesem System er-

forderlichen Apparate einfach sind und wenig zu Störungen neigen. Fig. 14 zeigt einen Zweimotorenantrieb einer Zeitungsmaschine mit Drehstrom-Nebenschluss-Motoren. Unter den Motoren erkennt man den Anlasswiderstand und das Schütz, das ihn nach erfolgtem Anlauf kurz schliesst. Alles dieses zusätzliche Material ist beim Antrieb mit Drehstrom-Seriemotoren entbehrlich und vergrössert daher noch den ohnehin vorhandenen Preisunterschied zugunsten des Seriemotors. Fig. 15 zeigt demgegenüber einen sehr bewährten Mehrmotorenantrieb mit Seriemotoren.

(Fortsetzung des Berichtes folgt.)

Aluminium für Freileitungen, insbesondere für den Ortsnetzbau.

Im Bull. SEV 1941, Nr. 3, S. 54, wird darauf hingewiesen, dass, im Hinblick auf die Schwierigkeiten in der Beschaffung von Kupfer, für Freileitungen kein Kupfer mehr, sondern nur noch Aluminium verwendet werden sollte. Freileitungen aus Reinaluminium (99,5 %) oder aus der Al-Mg-Si-Legierung «Aldrey» sind schon seit Jahren im Betrieb, ohne dass Störungen beobachtet wurden, die auf die Verwendung dieser Materialien an Stelle von Kupfer hätten zurückgeführt werden können.

Allgemeines.

Für widerstandsgleiche Leiter dienen folgende Werte zum Vergleich:

	Kupfer	Rein-Al 99,5 %	Aldrey
Querschnitt . . .	1	1,6	1,83
Durchmesser . . .	1	1,27	1,35
Gewicht	1	0,53	0,60
Zerreissfestigkeit . .	1	ca. 0,7	1,5

Nach Art. 78 der «Verordnung über Starkstromanlagen» dürfen für Freileitungen aus Aluminium oder Aldrey keine Drähte, sondern lediglich Drahtseile verwendet werden. Die einzelnen Leiter von Niederspannungsleitungen müssen mindestens 350 kg, diejenigen von Hochspannungsleitungen mindestens 560 kg Zerreissfestigkeit aufweisen. Der Seilquerschnitt muss dabei bei Niederspannungsleitungen mindestens 18,4 mm² für Rein-Al- bzw. 11,7 mm² für Aldrey-Leitungen und bei Hochspannungsleitungen mindestens 29,5 mm² für Rein-Al- bzw. 18,7 mm² für Aldrey-Leitungen betragen (Art. 80 und Tab. 2).

Für die Berechnungen und Verlegung von Al- und Aldrey-Leitungen dienen folgende Orientierungswerte:

Eigenschaften von Seilen	Einheit	Rein-Al 99,5 %	Aldrey
Zerreissfestigkeit . .	kg/mm ²	17...18	30
Nach Vorschriften für Berechnungen massgebend:			
Rein-Al-Seile			
aus 7...19 Drähten . .	kg/mm ²	19	—
„ mehr als 19 Drähten	kg/mm ²	18	—
Aldrey-Seile	kg/mm ²	—	30
Maximal zulässige spez. Beanspruchung:			
nach Vorschriften . .	kg/mm ²	{ 12 (bei Stahl- Al-Seil 13) }	18
empfohlen	kg/mm ²	8	14
Spez. Gewicht	kg/cm ³	2,7 · 10 ⁻³	2,7 · 10 ⁻³
Elastizitätsmodul . . .	kg/mm ²	5500	6000
Elektr. Leitfähigkeit bei 20 °C (mittel)	m/Ω · mm ²	35	31
Temp. Koeffizient des elektr. Widerstandes bei 20 °C	—	0,004	0,0036
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient bei 20...100 °C	—	0,000024	0,000023

Diskussion.

H. Wildhaber, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, weist darauf hin, dass die Brown Boveri regulierbare Drehstrom-Nebenschlussmotoren schon seit Jahren z. B. für die Textil- und Papierindustrie baut, und zwar für Leistungen bis 220 kW. Zur Frage der Bremsung von Motoren ersucht er die Anwesenden, an der Landesausstellung das im Elektrizitätspavillon vorgeführte Modell eines Motors mit Gleichstrombremsung zu besichtigen. Er berichtet sodann über eine für ein Gummiwerk ausgeführte Anlage, für die verlangt wurde, dass der Antriebsmotor von 440 kW bei 600 U/min derart abgebremst werden kann, dass er längstens nach 5 Umdrehungen des Rotors zum Stillstand kommt. Der Motor arbeitet bei Betätigung des Notschalters generatorisch auf Widerstände.

Chemische und Wetter-Beständigkeit.

Reinaluminium 99,5 % und Aldrey besitzen eine sehr grosse chemische und Wetter-Beständigkeit, da sie sich an der Luft sofort mit einer dünnen, aber sehr dichten Schutzschicht aus Aluminiumoxyd überdecken. Spezielle Schutzmassnahmen sind somit nicht notwendig.

In direktem Kontakt mit einem andern Metall bildet sich bei Vorhandensein von Wasser oder Feuchtigkeit ein galvanisches Element, wobei das Aluminium angegriffen wird. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die Aluminiumseile keinerlei Verunreinigungen von Kupfer aufweisen. Einzig Zink macht eine Ausnahme, weshalb verzinkte Armaturen zulässig sind.

Bei der Herstellung von Aluminium/Kupfer- oder Aluminium/Bronze-Verbindungen im Freien oder an feuchten Orten muss entweder die Berührungsstelle beider Metalle gegen Eindringen der Feuchtigkeit abgedichtet oder es muss eine solche Anordnung gewählt werden, dass die Kontakt-Korrosion nur an Stellen mit Materialüberschuss, wo kein Stromübergang notwendig ist, auftreten kann.

Verlegen der Leiter.

Aluminium- und Aldrey-Leiter erfordern bei ihrer Verlegung infolge ihrer grösseren Verletzbarkeit mehr Sorgfalt als die Kupferleiter. Das Ausziehen und Spannen der Leitungen soll «schleiffrei» und «bodenfrei» ausgeführt werden, insbesondere wenn steinigtes und felsiges Gelände, Mauern, Drahtgehege und mit Kunstdünger frisch bestreute Aecker und Wiesen vorliegen. Das Schleifen über die Mastträger und über andere Leitungen muss unbedingt vermieden werden. Die Seile sind daher von der entsprechenden gelagerten, eventuell abgebremsten Seiltrommel abzuziehen und über Montagerollen zu führen, die am Mastgestänge befestigt werden. Die Montagerollen sollen aus Holz oder Aluminium bestehen (auf keinen Fall aus Bronze), leicht drehbar gelagert sein, einen genügend grossen Durchmesser und eine genügend tiefe und steile Rille mit glatter Oberfläche aufweisen.

Um sich gegen «Nachlängen» des Aluminiums zu schützen, sollen entweder die Leiter vor dem Einregulieren mit der zulässigen Höchstspannung (8 kg/mm² bei Aluminium und 14 kg/mm² bei Aldrey) vorgereckt werden oder, was besser ist, es soll von vornherein ein um 5 % geringerer Durchhang eingestellt werden. Die Einregulierung kann nach den üblichen Methoden (Durchhangmessung, Dynamometer oder Pendelsystem) ausgeführt werden; sie muss aber nach genauen Montagetafeln, unter Verwendung eines Thermometers, erfolgen. Die zum Spannen der Leiter benützten Hilfsklemmen müssen so ausgebildet sein, dass scharfe Knickungen und tiefgehende Oberflächenverletzungen der Seile vermieden werden; ferner sollen deren Backen aus Hartholz oder Aluminium bestehen.

Nach Möglichkeit sollen auf gleichem Gestänge keine Leiter aus verschiedenen Metallen montiert werden. Ist dies unumgänglich, dann sind die Aluminiumleiter immer oberhalb der Kupfer- oder Bronzeleiter zu verlegen. Abfließen des Wasser darf grundsätzlich nur in der Richtung von Al zu Cu fliessen, da das über das Kupfer rieselnde Wasser kleine Mengen Kupfer-Salze lösen könnte, welche auf dem Aluminium Korrosionserscheinungen hervorrufen könnten.