

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

**Die Kaskadenschaltung von dreiphasigen
Induktionsmotoren und Kommutatormotoren**

Rajz, Alexius

1911

IV. Der Drehfeld-Nebenschlußmotor in mechanisch gekuppelter
Kaskadenschaltung

[urn:nbn:de:bsz:31-275799](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-275799)

motor gelingt es erst, eine gute Kompensation zu erzielen, wie die Bremsung eines 5 PS Hauptmotors mittels des 5 PS-Kommutatormotors in Fig. 20 zeigt.

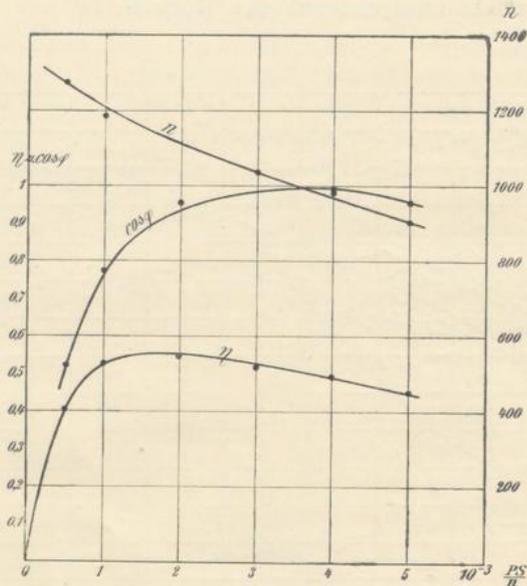


Fig. 20. Arbeitskurven der mechanisch getrennten Kaskadenschaltung eines Induktionsmotors mit einem gleich großen Seriomotor.

IV. Der Drehfeld-Nebenschlußmotor in mechanisch gekuppelter Kaskadenschaltung.

13. Die Industrie verlangt meistens Motoren mit Nebenschlußcharakteristik, d. h. Motoren, die bei jeder Belastung mit annähernd konstanter Tourenzahl laufen. Dabei soll diese konstante Tourenzahl regelbar, d. h. für Leerlauf beliebig einstellbar sein.

Die Induktionsmotoren haben zwar eine Nebenschlußcharakteristik, aber nur in der Nähe ihrer synchronen Geschwindigkeit; bei Leerlauf kann man nicht mittels Rotorwiderstände verschiedene Tourenzahlen herstellen. Für Betriebe, wie z. B. Gruben-Ventilatorantriebe, deren Wettermenge und damit die Tourenzahl nur in großen Zeitintervallen zu verändern ist, ist es von großer Wichtigkeit, eine konstante, jedoch beliebig einstellbare Tourenzahl zu haben. Diese Art von Regelung wird durch die Kaskadenschaltung eines Induktionsmotors mit einem dreiphasigen Nebenschlußmotor sehr vorteilhaft erreicht.

Fig. 21 veranschaulicht die Schaltung der Anlage. Der Stator des Nebenschlußmotors *NM* ist wie der eines gewöhnlichen Induktionsmotors gewickelt, der Rotor besitzt normale Gleichstromwicklung und einen Kommutator.

Als Gegenspannung wird dem Rotor die transformierte Spannung der Schleifringe zugeführt, statt des Transformators *T* kann auch die angezapfte Statorwicklung die Spannung transformieren. Durch entsprechende Einstellung der Gegenspannung des Rotors erreicht man bei irgendeiner Tourenzahl *n*, daß die induzierte EMK im Rotor des Hauptmotors durch die Gegen-EMK des Kommutatormotors aufgehoben wird, das Aggregat läuft dann bei dieser Tourenzahl stabil. Gegenüber der Kaskadenschaltung zweier Induktionsmaschinen besteht, außer der feineren Abstufung der Tourenzahl, der Vorteil einer guten Phasenkompensation.

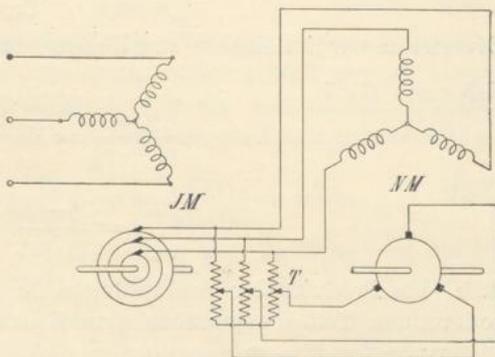


Fig. 21. Schaltungsschema der mechanisch gekuppelten Kaskadenschaltung eines Induktionsmotors mit einem Drehfeld-Nebenschlußmotor.

14. Die Transformator-Übersetzung. Die Größe der Gegenspannung des Rotors des Nebenschlußmotors berechnet man, wie folgt: Bezeichnet *N* die synchrone Tourenzahl der Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren, die nach Gl. 7

$$N = \frac{60 c_1}{p_1 + p_2} = \frac{n_1 p_1}{p_1 + p_2} \dots \dots \dots (7')$$

ist. Bei einer Tourenzahl *n* ist die im Rotor des Kommutatormotors induzierte EMK

$$E_{2r} = \frac{w_{2r} f_{2r}}{w_{2s} f_{2s}} \cdot s_2 E_{2s} = \frac{w_{2r} f_{2r}}{w_{2s} f_{2s}} \cdot s_2 s_1 E_{1s}' \dots \dots (18)$$

Den Ausdruck für $s_2 s_1$ können wir schreiben

$$s_1 s_2 = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot \frac{n_2 - n}{n_2} = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot \frac{\frac{p_1}{p_2} (n_1 - n) - n}{\frac{p_1}{p_2} (n_1 - n)}$$

Vereinfacht und geordnet

$$s_1 s_2 = \frac{n_1 \frac{p_1}{p_2} - n \frac{p_1 + p_2}{p_2}}{n_1 \frac{p_1}{p_2}} \dots \dots \dots (19)$$

Dividieren wir im Zähler und Nenner durch $\frac{p_1 + p_2}{p_2}$ und beachten, daß nach Gl. 7

$$\frac{p_1 n_1}{p_1 + p_2} = N,$$

so ist

$$s_1 s_2 = \frac{N - n}{N} \dots \dots \dots (20)$$

d. h. das Produkt der Schlüpfungen ist gleich der Schlüpfung des rotierenden Teiles gegenüber dem Kaskadensynchronismus.

Die bei einer Tourenzahl n anzuwendende Gegenspannung ist

$$P_{2r} \simeq \frac{w_{2r} f_{2r}}{w_{2s} f_{2s}} \cdot \frac{N - n}{N} \cdot P_{1r} \dots \dots \dots (21)$$

unabhängig vom Verhältnis der Polzahlen, abhängig nur von ihrer Summe.

Die Übersetzung des Reguliertransformators für die gewünschte Schlüpfung s_1 ist

$$u_t = \frac{P_{2r}}{P_{2s}} \simeq \frac{s_1 s_2 E'_{1s}}{s_1 E'_{1s}} \cdot \frac{w_{2r} f_{2r}}{w_{2s} f_{2s}} = s_2 \cdot \frac{w_{2r} f_{2r}}{w_{2s} f_{2s}} \dots \dots (22)$$

d. h. wie bei dem einfachen Drehfeld-Nebenschlußmotor zahlenmäßig gleich der Schlüpfung des Motors, reduziert auf die Statorwindungszahl. Drücken wir die Übersetzung mit der verlangten Tourenzahl n aus, so ist

$$u_t = \frac{N - n}{n_1 - n} \cdot \frac{p_1 + p_2}{p_1} \cdot \frac{w_{2r} f_{2r}}{w_{2s} f_{2s}} \dots \dots \dots (23)$$

Aus der letzten Gleichung geht hervor, daß bei gleichen Windungszahlen für Stillstand $u_t = 1$ und für Synchronismus des Hauptmotors $u_t = \infty$ sein müßte. Der Synchronismus des Hauptmotors begrenzt also die Tourenzahl nach oben, falls man das Aggregat nicht künstlich darüber hinweghilft.

15. Vektordiagramm der Spannungen und der Ströme. Der Verlauf der Ströme in beiden Motoren wird im wesentlichen durch den Nebenschlußmotor bestimmt, weil dieser der Sitz der Gegen-EMK ist. Das Charakteristische eines Motors mit Nebenschlußcharakteristik ist der konstante Kraftfluß. Bei Motoren, die

Es ist noch auf einen anderen Unterschied von Unter- und Übersynchronismus hinzuweisen. Fig. 22a und 22b sind für die gleiche Übersetzung des Transformators, also für gleiche sekundäre Leerlaufschlüpfung gezeichnet. Im Über- und Untersynchronismus entsprechen jedoch der gleichen Schlüpfung ganz verschiedene Tourenbereiche des Aggregates. Man ersieht dies am besten aus Fig. 5. Wenn z. B. der Induktionsmotor drei und der Nebenschlußmotor zwei Polpaare besitzt, so entspricht bei 50 Perioden der Schlüpfung $s_1 = 0$ die Tourenzahl $n_1 = 1000$, und der Kaskadensynchronismus ist bei

$$N = \frac{60 \cdot 50}{3 + 2} = 600.$$

Für dieselben Schlüpfungen, z. B. für $s_2 = \pm 0,5$, entspricht dem untersynchronen Wert die primäre Schlüpfung $s_1 = 0,575$ oder $n = 425$, dem übersynchronen Wert aber $s_1 = 0,3$ oder $n = 700$, also nach unten ein Tourenunterschied von 175 Touren, nach oben 100 Touren.

Diese Beziehung ist für die Kommutation sehr wichtig, denn die Drehfeld-Kommutatormotoren können über einer gewissen Grenze der Schlüpfung nicht funkenfrei kommutieren, weil die Transformator-EMK in den kurzgeschlossenen Spulen zu groß wird. Als Grenzen ohne künstliche Kommutation sind etwa die Werte $s_2 = 0,5$ bis $s_2 = -1,5$ zu setzen. Bei den angegebenen Polzahlen ist also nur eine Regelung von 400 bis 800 Touren, oder 1:2 zulässig. Hierbei ist die Wirkung der Stromwendespannung noch außer acht gelassen, die aber mit höherer Geschwindigkeit abnimmt, weil der Kommutatormotor weniger Strom erhält.

16. Stromdiagramm. Zur Ableitung des Diagramms gehen wir aus dem Rotorstrom des Nebenschlußmotors aus. Dieser wird erzeugt durch das Zusammenwirken einerseits der aufgedrückten Transformatorspannung P_{2r} , andererseits der vom Drehfeld induzierten EMK E_{2r} (s. Fig. 22a und 22b). Die Vektorsumme der beiden nennen wir \overline{OZ} , so ist vektoriell geschrieben

$$\mathfrak{Z}_{2r} = \frac{\overline{OZ}}{\mathfrak{Z}_{2r}} \dots \dots \dots (26)$$

\mathfrak{Z}_{2r} ist die Impedanz der Rotorwicklung bei der betrachteten Geschwindigkeit.

Den Strom J_{2r} muß der Statorstrom J_{2s} kompensieren, die geometrische Summe beider ergibt den Magnetisierungsstrom J_{an} der Maschine:

$$\mathfrak{Z}_{2s} = \mathfrak{Z}_{an} + \mathfrak{Z}'_{2r} \dots \dots \dots (27)$$

Die Spannung an den Schleifringen des Induktionsmotors ist

$$\mathfrak{P}_{2s} = \mathfrak{C}_{2s} + \mathfrak{Z}_{2s} \mathfrak{I}_{2s} \dots \dots \dots (28)$$

und an den Bürsten

$$u \mathfrak{P}_{2s} \cdot e^{je} = s_2 \mathfrak{C}'_{2s} - \mathfrak{Z}_{2r} \mathfrak{I}_{2r} \dots \dots \dots (29)$$

wobei e^{je} die Drehung des Vektors durch die Bürstenstellung bedeutet. Aus Gl. 28 und 29 ist

$$\mathfrak{C}'_{2s} = \frac{u e^{je} \mathfrak{P}_{2s} + \mathfrak{Z}_{2r} \mathfrak{I}_{2r}}{s_2} = \frac{\mathfrak{P}_{2s} - \mathfrak{Z}_{2s} \mathfrak{I}_{2s}}{\mathfrak{C}} \dots \dots \dots (30)$$

somit ist

$$\mathfrak{I}'_{2r} = \frac{\mathfrak{P}_{2s} - \mathfrak{C} \cdot u e^{je} \frac{\mathfrak{P}_{2s}}{s_2}}{\mathfrak{Z}_{2s} - \mathfrak{C} \frac{\mathfrak{Z}'_{2r}}{s_2}} \dots \dots \dots (31)$$

\mathfrak{C} ist dabei das Verhältnis der EMK zur Klemmenspannung¹⁾. Wir machen eine Vereinfachung, indem wir uns den ganzen Spannungsabfall im Rotor des Hauptmotors als nur von dem Statorstrom herrührend denken, was gleichviel bedeutet, daß wir unter \mathfrak{Z}_{2s} die Impedanz $\mathfrak{Z}_{1r} + \mathfrak{Z}_{2s}$ verstehen wollen. Somit wird

$$\mathfrak{I}'_{2r} = \frac{s_1 E'_{1s} - \mathfrak{C} u e^{je} \frac{s_1}{s_2} E'_{1s}}{\mathfrak{Z}_{2s} - \mathfrak{C} \frac{\mathfrak{Z}'_{2r}}{s_2}} \dots \dots \dots (32)$$

und der ganze Strom im Rotor des Hauptmotors

$$\mathfrak{I}_2 = \mathfrak{I}_{an} + \mathfrak{I}'_{2r} \left(\frac{1}{\mathfrak{C}} - \frac{1}{u} \cdot e^{-je} \right) \dots \dots \dots (33)$$

Das letzte Glied der Gleichung bedeutet den transformierten Rotorstrom, der nur in bezug auf die Statorwicklung um ϱ nach-eilt. Durch Division des Bruches in der Gl. 32 mit s_1 bzw. $\frac{s_1}{s_2}$ bekommen wir die konstante Netzspannung E'_{1s} , abgesehen vom Spannungsabfall im Stator des Induktionsmotors; so daß wir dadurch das Diagramm auf die primäre Wicklung reduziert haben.

Der bequemeren Darstellung wegen teilen wir den Rotorstrom in der Gl. 32 in zwei Teile:

$$\mathfrak{I}_{2r}^{(1)} = \frac{E'_{1s}}{\frac{\mathfrak{Z}_{2s}}{s_1} - \mathfrak{C} \frac{\mathfrak{Z}'_{2r}}{s_1 s_2}} \dots \dots \dots (34)$$

¹⁾ Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. I.

und
$$\mathfrak{Z}_{2r}^{(2)} = \mathfrak{C} \cdot u \cdot e^{je} \frac{E'_{1s}}{s_2 \mathfrak{Z}_{2s} - \mathfrak{C} \frac{\mathfrak{Z}_{2r}}{s_1}} \dots \dots (35)$$

Der erste Teil stellt den Strom dar, der bei kurzgeschlossenen Kollektorbürsten fließt. Das Aggregat läuft, wie zwei in Kaskade geschaltete Induktionsmotoren in der Nähe der Tourenzahl N . Hierfür ist das Stromdiagramm bekannt¹⁾. Es ist eine Doppelschleife, entsprechend dem doppeltem Arbeitsbereich des Aggregates in der Nähe des Kaskadensynchronismus und bei dem Synchronismus des Vordermotors. Der Unterschied besteht nur darin, daß die Rotorreaktanz x_{2r} aus einem der Periodenzahl $s_1 c_1$ und einem der Schlüpfungsperiodenzahl $s_1 s_2 c_1$ proportionalen Betrag besteht:

$$x_{2r} = s_1 x_{2r0} + s_1 s_2 x_{2rv} \dots \dots (36)$$

Diese Reaktanz kann experimentell aufgenommen werden, wenn man dem Rotor bei verschiedenen Geschwindigkeiten und bei kurzgeschlossenem Stator Strom zuführt. Fig. 23 stellt die Reaktanz als Funktion der Schlüpfung dar. In der Nähe des Synchronismus wird das Bild durch die höheren Harmonischen verzerrt, was man durch Durchziehen einer Geraden eliminieren kann²⁾.

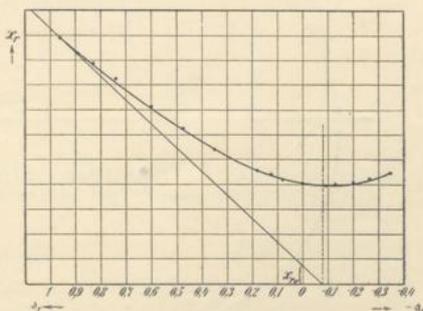


Fig. 23. Die Rotorreaktanz des Nebenschlußmotors.

Die Impedanz $\mathfrak{C} \frac{\mathfrak{Z}'_{2r}}{s_1 s_2}$ wird durch eine schräge Gerade dargestellt, die geometrische Addition mit der ebenfalls geradlinigen Impedanzlinie $\frac{\mathfrak{Z}_{2s}}{s_1}$ ergibt eine hyperbolische Kurve, als Impedanzlinie. Nach der Inversion erhält man das Diagramm der sekundären Ströme $J_{2r}^{(1)}$. Dieses ist ähnlich dem der gewöhnlichen Kaskadenschaltung (Kurve I in Fig. 24).

Schließt man den Stator kurz und führt den Bürsten die Spannung $u \cdot E'_{1s}$ zu, so entsteht der Strom $J_{2r}^{(2)}$; er wird durch die Kurve II in Fig. 24 dargestellt, die durch Inversion der punktweise konstruierten parabolischen Impedanzlinie

¹⁾ Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, 1.

²⁾ Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, 2.

$$\frac{s_2}{s_1} \cdot \mathfrak{B}_{2r} - \mathfrak{C} \frac{\mathfrak{B}_{2r}}{s_1}$$

erhalten wurde.

Die Lage und Größe der Kurve II gibt dem Motor den Nebenschlußcharakter. Die Übersetzung u bestimmt in der Hauptsache die Leerlauf-tourenzahl, die Bürstenstellung ϱ die Kompensation.

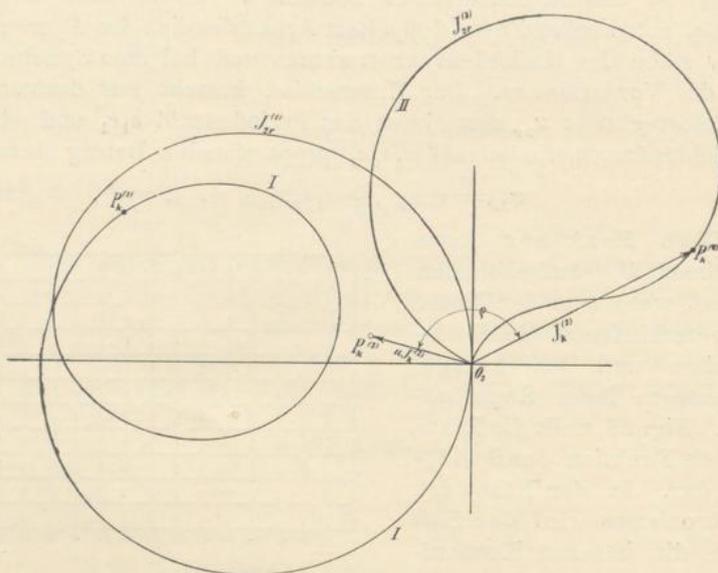


Fig. 24. Diagramm der Ströme eines Nebenschlußmotors in der Kaskadenschaltung mit einem Induktionsmotor.

Die Vektoren der Kurven I und II werden geometrisch addiert. Dazu kommt noch der Leerlaufstrom J_{an} des Kommutatormotors und der im Verhältnis der Transformatorübersetzung verkleinerte Rotorstrom J_{2r} . Addieren wir den primären Magnetisierungsstrom und (nach einer Inversion) den Spannungsabfall des Hauptmotors, so erhalten wir das in Fig. 25 dargestellte Stromdiagramm. Dieses Stromdiagramm ist eine Schleife, ähnlich der der gewöhnlichen Kaskadenschaltung. Der Charakter des Kommutatormotors ist durch die Kurve II ausgeprägt, die Schleife kann durch entsprechende Wahl von u und ϱ in weiten Grenzen verändert werden. Es gibt hier, wie bei der gewöhnlichen Kaskadenschaltung, zwei motorische und zwei generatorische Arbeitsbereiche, die motorischen liegen oberhalb der Abszissenachse (positive Wattströme), die generatorischen unterhalb derselben (negative Wattströme).

Die in der Fig. 25 eingezeichneten Punkte sind experimentell aufgenommen. Das Aggregat war überkompensiert.

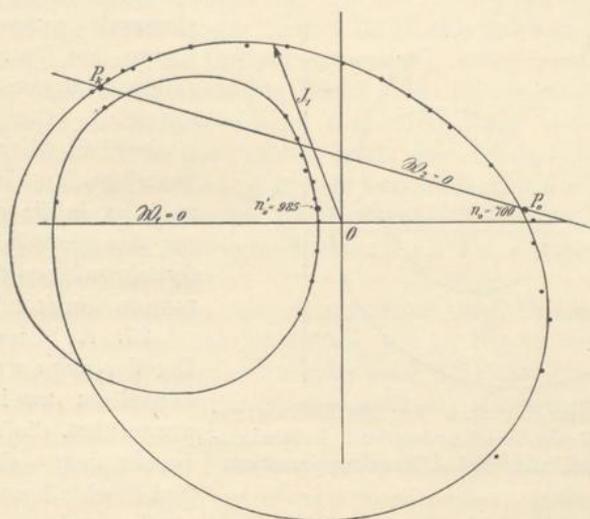


Fig. 25. Stromdiagramm der mechanisch gekuppelten Kaskadenschaltung von Induktions- und Nebenschlußmotor bei Überkompensationen.

Da das Stromdiagramm kein Kreis ist, so gibt es keine Leistungs- und Verlustgeraden. Der praktisch wichtigste Teil der Kurve, in der Nähe der eingestellten Leerlaufdrehzahl, ähnelt jedoch einem Kreise, wie es aus dem Kreisdiagramm des Drehfeld-Nebenschlußmotors¹⁾ gefolgert werden kann. Unter Vernachlässigung der Ohmschen Spannungsabfälle sind nämlich alle EMKe der Schlüpfung s_1 proportional. Durch Division durch s_1 könnte also das vereinfachte Diagramm des Nebenschlußmotors auf die primäre Periodenzahl reduziert und mit dem Kreis des Induktionsmotors zu einer Schleife geometrisch zusammengesetzt werden. Obwohl die Widerstände in der Gleichung in der Form $\frac{r}{s_1}$ und $\frac{r}{s_1^2}$ vorkommen und das Bild verzerren, dürfen wir dennoch die Abstände der Punkte des Diagramms von der Linie $P_k - P_0$ als Maß für die Nutzleistung betrachten. Die zugeführte Leistung und Phasenverschiebung können direkt abgelesen werden.

Den wichtigen Einfluß der aufgedrückten Rotorspannung auf die Überlastbarkeit des Aggregates ersieht man aus Fig. 24. Je größer $P_{2r}(u)$ ist, desto größer die Kurve II und desto größer das Arbeits-

¹⁾ Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, 2.

diagramm in dem uns hauptsächlich interessierenden Gebiet: in der Nähe der eingestellten Leerlauf-tourenzah.

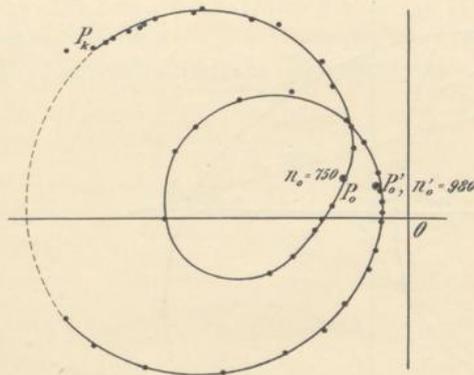


Fig. 26. Stromdiagramm der mechanisch gekuppelten Kaskadenschaltung von Induktions- und Nebenschlußmotor bei Unterkompensation.

zwar Anzapfungen in der Statorwicklung, doch wurde der feineren Regulierung halber ein dreiphasiger Autotransformator vorgezogen, der zwischen Stator- und Rotorwicklung geschaltet wurde (Fig. 21).

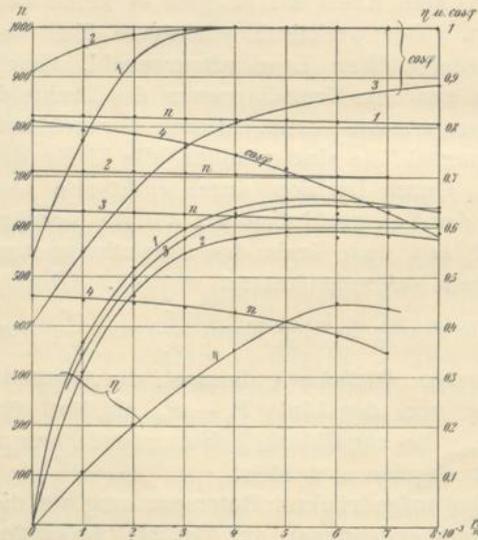


Fig. 27. Arbeitskurven eines mechanisch gekuppelten Kaskadenaggregates bestehend aus Induktions- und Nebenschlußmotor.

Fig. 26 zeigt eine experimentell aufgenommene Kurve bei Unterkompensation und starkem Tourenabfall. Der generatorische Teil über der eingestellten Leerlauf-tourenzah ist labil; der Motor hat das Bestreben, in den Synchronismus des Hauptmotors hineinzulaufen.

17. Arbeitskurven. Die Versuche wurden mit denselben zwei Motoren ausgeführt, die auf S. 15 beschrieben sind. Der Nebenschlußmotor besitzt

zwar Anzapfungen in der Statorwicklung, doch wurde der feineren Regulierung halber ein dreiphasiger Autotransformator vorgezogen, der zwischen Stator- und Rotorwicklung geschaltet wurde (Fig. 21). Fig. 27 zeigt die Bremskurven des Aggregates in verschiedenen Tourenbereichen, für die Leerlauf-tourenzahen 820, 710, 630 und 460. Die Tourenzahen wurden mittels des Transformators eingestellt und die Bürsten so weit verschoben, bis ein guter Wirkungsgrad erreicht war. Die Tourenkurven (n) zeigen überall den Nebenschlußcharakter des Aggregates, sie fallen von Leerlauf bis Vollast nur einige Prozente. Der Tourenabfall ist bei den niedrigeren Leerlauf-tourenzahen, besonders unterhalb Kaskadensynchronismus

stärker, als bei denen, wo der Nebenschlußmotor noch übersynchron läuft. Der Grund dieser Erscheinung hängt einerseits mit der Eigenschaft der Nebenschluß-Kommutatormotoren zusammen, bei denen sich bekanntlich die Leistung des Rotors im Übersynchronismus zu der des Stators addiert, im Untersynchronismus diese vermindert; im ersten Teil also einen kleineren Strom und Tourenabfall erfordert als im zweiten. Andererseits liegt dies in der Natur der Kaskadenschaltung, nämlich in der Abhängigkeit der Schlüpfungen beider Maschinen. Aus Fig. 5 ersieht man, daß eine Änderung der Schlüpfung s_2 des Kommutatormotors im übersynchronen Lauf viel weniger Tourenabfall (s_1) vom Aggregat erfordert, als bei ebensoviel Untersynchronismus.

Die Leistungsfaktoren zeigen für Über- und Untersynchronismus auch ein verschiedenes Verhalten, wie es bereits auf S. 30 erläutert wurde. Im Übersynchronismus wird die Phasenverschiebung mit wachsendem Strome kleiner, weil sich der Rotorstrom im Sinne der Voreilung mit dem Statorstrom zusammensetzt (Fig. 22 b). Im Untersynchronismus (Fig. 22 a) vergrößert dagegen dieser Strom den Phasenwinkel. Bei den zwei oberen Tourenzahlen gelang es, das Aggregat vollständig zu kompensieren.

Der etwas niedrige Wirkungsgrad erklärt sich aus dem an und für sich schlechten Wirkungsgrad des Kommutatormotors, der im Maximum 71% war. Der Wirkungsgrad ist natürlich am besten, wenn der größte Teil der Leistung vom Induktionsmotor selbst abgegeben wird (Kurve I). Es ist aber bei mäßigem Übersynchronismus der Wirkungsgrad besser, als in der Nähe des Kaskadensynchronismus, was man dem geringeren wattlosen Strom zuschreiben muß. Bei untersynchronem Lauf des Nebenschlußmotors sind die Kommutations- und Eisenverluste stark vergrößert, außerdem führt der Rotor des Nebenschlußmotors einen großen wattlosen Strom, der in der Wicklung und unter den Bürsten große Verluste hervorruft.

Die Kurven zweier Bremsungen in Fig. 28 dienen zum Vergleich der gewöhnlichen Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren mit der Kaskadenschaltung von Induktions- und Nebenschlußmotor. Als zweiter Induktionsmotor diente im ersten Fall der Kommutatormotor mit kurzgeschlossenen Bürsten. Der Unterschied ist selbst in der Nähe des Kaskadensynchronismus, wo der Nebenschlußcharakter am schwächsten ist, sehr deutlich zu sehen. Mit dem Nebenschlußmotor bringt man den Leistungsfaktor für alle Belastungen gleich der Einheit, während er bei den Induktionsmotoren nur allmählich verbessert wird. Der Tourenabfall ist bei der Schaltung mit Kommutatormotor geringer.

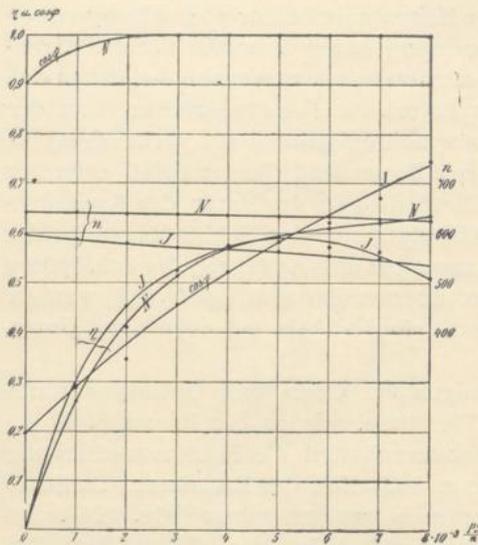


Fig. 28. Vergleich der Arbeitskurven der Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren (J) mit denen der Kaskadenschaltung von Induktions- und Nebenschlußmotor (N).

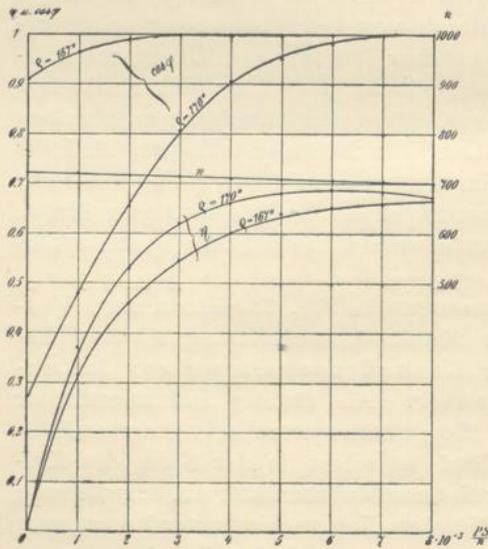


Fig. 29. Einfluß einer fehlerhaften Bürstenstellung auf die Arbeitsweise der Kaskadenschaltung von Induktions- und Nebenschlußmotor.

Der Wirkungsgrad ist anfangs bei der Schaltung mit Induktionsmotor größer, weil aber der Nebenschlußmotor die Überlastbarkeit des Aggregates vergrößert, so wird auch der Wirkungsgrad besser.

Die Phasenkompensation wurde bei allen Versuchen durch Verstellung der Bürsten am Kommutator geregelt. Diese Methode eignet sich für die Praxis nicht, weil die Nebenschlußmotoren gegen fehlerhafte Einstellung des Bürstenwinkels sehr empfindlich sind. In Fig. 29 sind zwei Arbeitskurven aufgenommen, die eine für die richtige Einstellung der Bürsten auf $\varphi = 167^\circ$ (elektrisch), die andere für $\varphi = 170^\circ$, also für einen Fehler von drei elektrischen Graden, was bei dem vierpoligen Kommutatormotor einem geometrischen Winkel von nur $1\frac{1}{2}^\circ$ entspricht. Die großen Abweichungen in der Kompensation und in dem Wirkungsgrad sind auffallend, auf die Tourenzahl hat es keinen erheblichen Einfluß.

In der Praxis ersetzt man die Bürstenverstellung durch die Verschiebung der zeitlichen Phase des Rotorstromes, was dasselbe Resultat ergibt

Der

(s. Mécanisme régulateur pour

die men sind Kna über ist Tra Ind

des für sein

nicht klein Sch sch spre

einfa Wid Netz Übe perie

wob

ist u

die befefe ist 3 werd

(s. Fig. 22a und 22b). Die Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, Belfort, gebraucht zu diesem Zwecke einen Induktionsregulator, die A. E.-G. eine schiefe Verlegung des Potential-Nullpunktes der Statorwicklung¹⁾.

Als eine störende Erscheinung machte sich bei den Versuchen die Fähigkeit des Nebenschlußmotors, sich selbst zu erregen, bemerkbar. Die Umstände, unter denen diese Erscheinung auftritt, sind zurzeit noch nicht genügend geklärt; es erfolgt mit heftigem Knallen und Funken, sobald der Rotor des Nebenschlußmotors stark übererregt wird. Die Periodenzahl des generierten Wechselstromes ist gering, schließt sich also leicht über die Wicklungen und den Transformator und verursacht große Verluste. Gewöhnlich wird der Induktionsmotor stark überlastet, bis das Aggregat stehen bleibt.

18. Übersynchroner Betrieb. Für den Betrieb oberhalb des Synchronismus des Induktionsmotors gilt dieselbe Regel wie für den Untersynchronismus: der Kommutatormotor darf sich von seinem eigenen Synchronismus

$$n = \frac{60 c_1}{p_1 - p_2}$$

nicht sehr entfernen. Doch ist hier die Regelbarkeit nach unten kleiner, weil — wie man aus Fig. 11 ersieht — die sekundäre Schlüpfung und die mit ihr wachsenden Kommutationsverluste schneller zunehmen. Diesem Umstande kann man durch entsprechende Wahl der Polzahlen Rechnung tragen.

Der Anlauf auf die übersynchrone Tourenzahl geschieht am einfachsten dadurch, daß man zunächst den Induktionsmotor mittels Widerständen anläßt, dann den Nebenschlußmotor direkt mit dem Netz verbindet. Dem Reguliertransformator gibt man dabei eine Übersetzung, die die gewünschte Leerlauf-tourenzahl bei der Netz-periodenzahl ergibt:

$$u_1 = s_2 = \frac{n - n_2'}{n_2'} \dots \dots \dots (37)$$

wobei

$$n_2' = \frac{60 c_1}{p_2}$$

ist und gleiche Windungszahl vorausgesetzt ist.

Der zu den Versuchen benutzte Induktionsmotor hat 6 Pole, die Rotorwicklung ist also bei 50 Perioden nur für 1000 Touren befestigt. Die synchrone Tourenzahl bei den Polzahlen 3 und 2 ist 3000, so daß keine zufriedenstellende Bremsung vorgenommen werden konnte. Bei 1400 Touren ($s_2 = -1,33$) konnte das Aggregat

¹⁾ ETZ 1910, S. 751.

nur mit 1,5 kg (30% des normalen Drehmomentes) belastet werden. Der Wirkungsgrad war 44%, der Leistungsfaktor 0,83.

19. Wahl der Polzahl, Kommutation¹⁾. Die Kurven der Fig. 27 zeigen, daß der Wirkungsgrad und Leistungsfaktor bei mäßigem Übersynchronismus des Kommutatormotors am günstigsten sind, etwa bei $s_2 = -1$. Die Kommutation eines Drehfeld-Kommutatormotors ist dagegen beim Synchronismus am günstigsten, weil hierbei die in den kurzgeschlossenen Spulen induzierte Transformator-EMK gleich Null ist. Bei Übererregung, wegen guter Kompensation, wird der Rotor des Kommutatormotors mit dem wattenlosen Strom überlastet. Die EMK der Stromwendung veranlaßt dann die Bürsten zum Funken.

Man verteilt die Polzahlen in der Weise, daß das Aggregat bei der normalen Tourenzahl etwas über dem Synchronismus des Hilfsmotors läuft. Die Polzahl des Hauptmotors soll so gewählt sein, daß bei der höchsten Tourenzahl $s_2 = -1,5$ nicht überschritten wird, bei $\frac{p_1}{p_2} = \frac{2}{3}$ entspricht beispielsweise dieser Schlüpfung 20% Tourenabfall (s. Fig. 5). Über dieser Geschwindigkeit empfiehlt sich eine Regelung des Hauptmotors mittels Rotorwiderständen besser.

V. Der Drehfeld-Nebenschlußmotor in mechanisch getrennter Kaskadenschaltung.

20. Bei der festen Kupplung wird die gewünschte Leerlauf-tourenzahl mittels des Nebenschlußmotors entsprechend Gl. 23 eingestellt, und der Induktionsmotor wird mechanisch gezwungen, bei dieser Tourenzahl zu laufen. Bei der mechanisch unabhängigen Anordnung läuft dagegen der Nebenschlußmotor mit einer konstanten, nur von der Polzahl des mit ihm gekuppelten Dreiphasengenerators und von der Netzperiodenzahl abhängigen Tourenzahl und bringt den Hauptmotor rein elektrisch, d. h. mit Hilfe seiner Gegen-EMK, auf die verlangte Geschwindigkeit. Schon hieraus geht hervor, daß das Anlassen der getrennten Anlage mehr Sorgfalt erfordert, als das der gekuppelten Schaltung. Sobald die Gegen-EMK des Kommutatormotors der im Rotor des Hauptmotors induzierten EMK nicht entgegengesetzt gleich ist, wird der Lauf des Hauptmotors labil, er läuft dann in seinen Synchronismus hinauf; der Kommutatormotor wird spannungslos und wird nun von dem Induktionsgenerator als Motor angetrieben.

¹⁾ Dr. S. Fleischmann, ETZ 1910, S. 191.