

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

**Die Kaskadenschaltung von dreiphasigen
Induktionsmotoren und Kommutatormotoren**

Rajz, Alexius

1911

VI. Die Scherbius-Motoren in der Kaskadenschaltung

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

denen des einfachen Nebenschlußmotors; bei diesem nimmt auch der Rotor im Übersynchronismus Leistung vom Netz auf.

Es bedarf einer besonderen Vorrichtung, den Hauptmotor auf Übersynchronismus zu bringen, etwa durch einen Periodenumformer (Patent Scherbius) oder dadurch, daß der Hauptmotor von der selbsterregten Kommutatormaschine mit höherer Periodenzahl gespeist wird.

Die untersuchten Motoren waren im Übersynchronismus labil und fielen bei Belastung in ihren Synchronismus zurück. Die Ursache hiervon sind die hohen Verluste der Kommutatormaschine, die es verhindern, daß die Hilfsgruppe Leistung dem Hauptmotor abgeben kann.

VI. Die Scherbius-Motoren in der Kaskadenschaltung.

25. Die Drehfeld-Kommutatormotoren haben alle den Nachteil, daß ihre Tourenzahl sich vom Synchronismus nicht zu weit entfernen darf. Für den direkten Netzanschluß bei normalen Regulierbereichen gelingt es noch, die Kurzschlußspannung in den zulässigen Grenzen zu halten. In der Kaskade läuft aber der Hilfsmotor mit 4—5fachem, theoretisch sogar mit unendlichem Übersynchronismus. Ohne künstliche Mittel ist dabei keine befriedigende Kommutation zu erwarten. Bei den Drehfeld-Kommutatormotoren ist die Aufhebung der Kurzschluß-EMKE durch Wendefelder nicht möglich, man müßte dazu das Drehfeld aufheben, wodurch das Drehmoment vernichtet wäre. Es bleiben nur Kommutierungslöcher (Verringern des Flusses an der Kommutierungsstelle) und Widerstandsverbindungen zur Bekämpfung der Kurzschlußströme übrig.

Im Gegensatz zu den Drehfeld-Kommutatormotoren, in denen der Arbeitsstrom teilweise durch Induktion vom Drehfelde übertragen, teilweise dem Rotor direkt zugeführt wird, wird die Leistung bei den Scherbius-Motoren vom Netze dem Rotor zugeführt, wie bei den Gleichstrommotoren.¹⁾ Der Stator dient lediglich zur Erregung des Feldes. Um eine direkte Speisung zu ermöglichen, muß das Rotorfeld durch eine Kompensationswicklung aufgehoben werden.

Die Erregung des Feldes kann, wie bei den Gleichstrommotoren in Serie, in Nebenschluß oder gemischt erfolgen. Die Motoren sind in ihrem Verhalten den Gleichstrommotoren ähnlich.

Die Scherbius-Motoren besitzen drei oder mehrmals drei Pole und abgekürzten Wicklungsschritt (Fig. 35). Durch Kombination

¹⁾ Siehe Scherbius, 'Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen, Jahrg. VIII, Seite 130.

der Erregerwicklung lassen sich verschiedene Phasenverschiebungen zwischen Strom und induzierter EMK des Rotors einstellen. Da bei drei Polen kein eigentliches Drehfeld, sondern ein dreifaches Wechselfeld besteht, ist es möglich, die Kommutation durch Wendepole zu verbessern¹⁾.

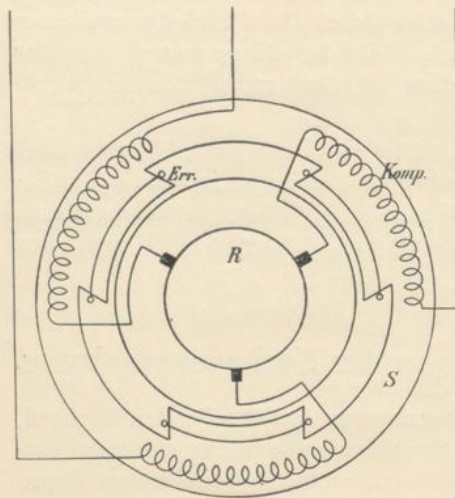


Fig. 35. Der Scherbius-Motor.

Für die Kaskadenschaltung kommt hauptsächlich die Unabhängigkeit der Motoren vom Synchronismus zugute. Die Kommutation hängt nur von der Periodenzahl der Feldpulsation und von der Rotorgeschwindigkeit ab, nicht aber von der Schlüpfung des Rotors gegenüber einem Drehfelde.

a) Seriomotor.

26. Die Wirkungsweise dieses Motors weicht nur insofern von der des Drehfeld-Kommutatormotors ab, als die Statorwicklung keine Arbeit auf den rotierenden Teil überträgt. Im Diagramm (Fig. 36) kommt dies dadurch zum Ausdruck, daß die Statorspannung E_m dem Strome um beinahe 90° voreilt (wegen der Eisenverluste etwas weniger).

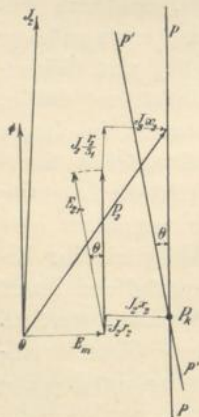


Fig. 36. Vektordiagramm der Kaskadenschaltung eines Induktionsmotors mit einem Scherbius-Seriomotor.

keine Arbeit auf den rotierenden Teil überträgt. In der Kaskadenschaltung ist der Fluß bei derselben Geschwindigkeit ebenso groß wie bei der Netzperiodenzahl, da sekundäre Spannung und Periodenzahl beide der Schlüpfung s_1 proportional sind. Das Vektordiagramm gilt also für primäre Periodenzahl, nur müssen die Ohmschen Spannungsabfälle durch s_1 dividiert werden. Der geometrische Ort der Endpunkte von P_2 ist bei veränderlicher Geschwindigkeit die Gerade $p-p$. Ihre Neigung kann durch Kombination der Erregerphasen um den beliebigen Winkel θ geändert werden (s. Fig. 36). Durch

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

eine
Strö
Span
met
das
beit
Verl
schw
anal
scha
mut

ters
mut
daß
pun
von
zwei
EMK
Bei
im I
EMK
Mitt
und
gek
selb
auc
sich
Leis
theo
We
ze
wir
feld
dur
und
des

gun
wer
ben
zur
die

eine Inversion der Geraden $p-p$ erhalten wir den Kreis der Ströme des Seriennotors. Hierzu werden der Leerlaufstrom und Spannungsabfall in der Statorwicklung des Induktionsmotors geometrisch addiert, man erhält das in Fig. 37 dargestellte Arbeitsdiagramm. Die Leistungs-, Verlust-, Drehmoment- und Geschwindigkeitslinien werden analog, wie bei der Kaskadenschaltung des Drehfeld-Kommutatormotors, konstruiert.

Ein bemerkenswerter Unterschied zum Drehfeld-Kommutatormotor besteht darin, daß die Lage des Kurzschlußpunktes P_k von Θ , das heißt von der Phasenverschiebung zwischen Strom und Gegen-EMK des Rotors nicht abhängt. Bei Stillstand wird nämlich im Rotor des Hilfsmotors keine

EMK induziert. Mit veränderlichem Winkel Θ verschiebt sich der Mittelpunkt des Kreises auf der Mittelsenkrechten zwischen P_0 und P_k . Der Radius des Kreises wächst ungefähr zu $\cos \Theta$ umgekehrt proportional. Im selben Verhältnis wächst auch, wie aus Fig. 37 ersichtlich, die maximale Leistung und könnte theoretisch beliebig hohe Werte erreichen. Die Grenze der Überlastbarkeit wird, wie bei dem Drehfeld-Nebenschlußmotor, durch die Übererregung und durch die Verluste des Rotors gezogen.

Der Einfluß der Sättigung des Seriennotors kann durch eine Korrektur berücksichtigt werden, indem man die Magnetisierungskurve als Vektordiagramm benützt (Fig. 38). OA ist der Magnetisierungsstrom, AR der Wattstrom zur Deckung der Eisen- und Kommutierungsverluste, $AC = E$ ist die EMK, die man auf die betreffende Geschwindigkeit des zu-

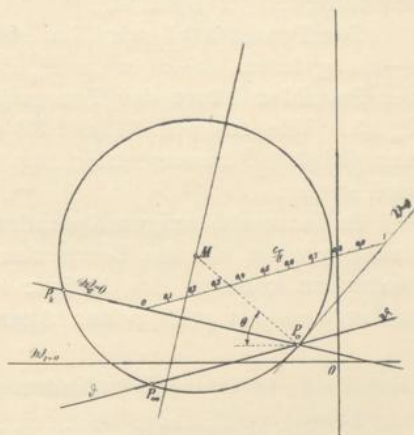


Fig. 37. Stromdiagramm der Kaskadenschaltung eines Induktionsmotors mit einem Scherbius-Seriennotor.

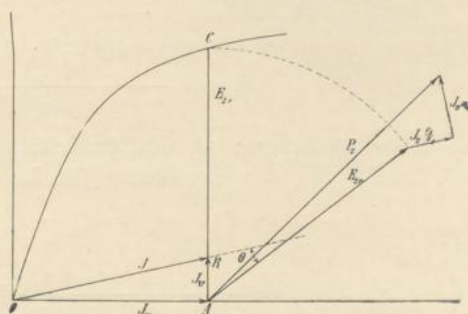


Fig. 38. Korrektur des Diagramms der Kaskadenschaltung von Induktions- und Scherbius-Seriennotor mittels der Magnetisierungskurve.

gehörigen Diagrammpunktes umrechnen muß. Die EMK ist um Θ gegen J verschoben, die Spannungsabfälle werden geometrisch addiert. Aus der abgegriffenen EMK läßt sich der Wert der Geschwindigkeit korrigieren.

Der Tourenabfall wird im Diagramm (Fig. 37) auf der Skala $s-s$ abgelesen. $s-s$ ist zu $P_\infty P_0$ parallel. Außer dem Verhältnis der Polzahlen hängt der Tourenabfall von der Lage des Punktes P_∞ ab. Wie aus Fig. 36 und 37 ersichtlich, liegt P_∞ bei wachsendem Winkel Θ immer näher zum Leerlaufpunkt; der Tourenabfall wird steiler.

In der unabhängigen Kaskadenschaltung muß der Rotor stärker erregt werden, um die Leerlaufströme beider Induktionsmaschinen decken zu können. Im übrigen ist das Verhalten der Schaltung analog dem des gekoppelten Aggregates.

b) Der Nebenschlußmotor.

27. Bei konstanter Spannung besitzt der Scherbius-Nebenschlußmotor konstantes Feld, weshalb die Tourenzahl vom Leerlauf bis Vollast nur wenig fällt. Ähnlich verhält er sich auch in der Kaskadenschaltung, weil sein Feld konstant bleibt:

$$\Phi_n = \frac{E_2}{k c_2 w_n} = \frac{s_1 E'_{1s}}{k s_1 c w_n} = \text{konst.} \dots (40)$$

Die Leerlauf Tourenzahl eines Scherbius-Nebenschlußmotors ist¹⁾

$$n_0 = \frac{P_2 \cos \Theta + P_2 \sin \Theta \cdot \left(\frac{x_2}{r_2}\right)}{k \cdot \Phi_n} \dots (41)$$

die Arbeitsspannung an den Schleifringen ist $P_2 = s P'_{1s}$, demnach mit Einführung der Beziehung für Leerlauf

$$n_{0k} = (1 - s_0) n_1 \dots (42)$$

wird

$$s_0 = \frac{k n_1 \Phi_n}{k n_1 \Phi_n + E'_{1s} \left[\cos \Theta + \sin \Theta \cdot \left(\frac{x_2}{r_2}\right) \right]} \dots (43)$$

Wir setzen die Gegen-EMK des Rotors bei der synchronen Tourenzahl

$$E_n = k n_1 \Phi_n \dots (44)$$

obwohl der Synchronismus keine ausgezeichnete Geschwindigkeit des Scherbius-Motors ist. Somit wird

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

$$n_{0k} = \frac{E'_{1s} \left[\cos \Theta + \sin \Theta \left(\frac{x_2}{r_2} \right) \right]}{k \Phi_n + \frac{E'_{1s}}{n_1} \left[\cos \Theta + \sin \Theta \left(\frac{x_2}{r_2} \right) \right]} \dots (45)$$

z. B. für $\Theta = 0$

$$n_{0k} = \frac{E'_{1s}}{k \Phi_n + \frac{E'_{1s}}{n_1}} \dots (46)$$

Bedeutet \mathfrak{Z}_2 die Summe der Impedanzen der Rotorwicklung des Hauptmotors und der Kompensations- und Rotorwicklung des Nebenschlußmotors, so ist der sekundäre Arbeitsstrom¹⁾

$$\mathfrak{I}_{a2} = \frac{\mathfrak{E}'_{1s}}{\mathfrak{Z}_2} - \frac{E_n e^{j\Theta}}{\mathfrak{Z}_2} \dots (47)$$

Dies gilt nur unter Vernachlässigung des Spannungsabfalles, den der Magnetisierungsstrom des Hilfsmotors im Rotor des Hauptmotors hervorruft; dieser Einfluß ist geringfügig. Der erste Teil des Stromes in der Gl. 47 entsteht, wenn die Hauptpole des Nebenschlußmotors unerreget sind. Das Aggregat liefere dabei als Induktionsmotor mit vermehrter Rotorimpedanz. Der Strom wird durch einen Kreis J_2' dargestellt (siehe Fig. 39).

Der zweite Teil des Stromes ist der Kompensationsstrom, analog zu demjenigen des Drehfeld-Kommutatormotors. Dieser wird auch durch einen Kreis dargestellt, dessen Durchmesser den Winkel

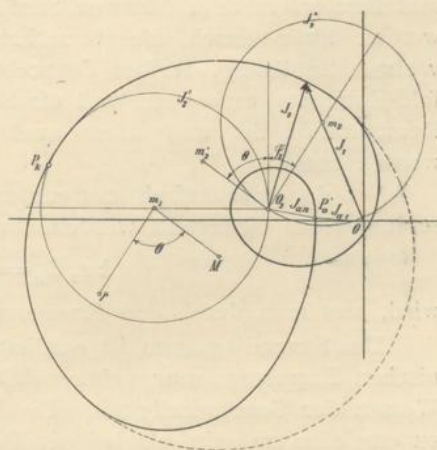


Fig. 39. Stromdiagramm der Kaskadenschaltung von Induktions- und Scherbius-Nebenschlußmotor.

$$\varphi_2 = \text{arc tg} \frac{r_2}{2x_2} \dots (48)$$

mit der Ordinatenachse bildet, wie man das durch Aufzeichnung der Impedanzlinie $\frac{\mathfrak{Z}_2}{1-s_1}$ findet. Dieser Kreis wird durch $\frac{E'_{1s}}{E_n}$

¹⁾ Aus Superposition der Spannung und der Rotations-EMK.

multipliziert und um den Winkel θ gedreht, dann zu dem ersten Kreis geometrisch addiert. Die Addition zweier Kreise ergibt ebenfalls einen Kreis¹⁾, es genügt, die Mittelpunktsvektoren geometrisch zu addieren. Der Kurzschlußpunkt bleibt der des ersten Kreises, weil der Strom J_2'' bei Stillstand Null ist. Hieraus ist der Radius bestimmt (Fig. 39).

Das Kreisdiagramm gilt nur solange, als der Fluß des Kommutatormotors konstant ist. Beim Synchronismus des Hauptmotors ist die sekundäre Spannung Null, deshalb kann auch kein Feld bestehen, falls der Hilfsmotor nicht direkt vom Netz erregt wird, was bei den Scherbius-Motoren möglich ist. Ist dies nicht der Fall, so verhält sich das Aggregat in der Nähe des Synchronismus des Hauptmotors, wie ein Induktionsmotor mit vermehrter Rotorimpedanz. Folglich muß das Aggregat, wie bei der Schaltung mit dem Drehfeld-Nebenschlußmotor, zwei Leerlaufpunkte haben und das Diagramm ist, wie dort auch, eine Schleife.

Für den übersynchronen Betrieb müssen zwei Phasen an den Schleifringen vertauscht werden, damit das Drehmoment des Nebenschlußmotors in dem früheren Sinne wirkt. Die Arbeitsverhältnisse werden zwar durch die vermehrten Eisen- und Kommutationsverluste ungünstig, dürften dennoch besser sein, als bei den Drehfeld-Kommutatormotoren, weil die Schlüpfung ohne Einfluß auf die Kommutation ist und diese auch durch Wendepole verbessert werden kann.

Bei der mechanisch getrennten Anordnung muß das Nebenschlußfeld so eingestellt werden, daß

$$kn_s \Phi_n = s_1 E_{1's} \dots \dots \dots (49)$$

wird, was man durch den Erregerstrom bewerkstelligen kann.

Das Stromdiagramm ist qualitativ dasselbe, wie bei der mechanischen Kupplung, nur gehören die einzelnen Punkte zu anderen Werten der Geschwindigkeit. Die Kompensation scheint einfacher zu erreichen zu sein, als bei den Drehfeld-Kommutatormotoren, indem man verschieden große Widerstände in den Erregerwicklungen der drei Phasen vorschaltet.

c) Der Compoundmotor.

28. Die zwei Erregerwicklungen der Hauptschluß- und Nebenschlußerregung sind auf zwei getrennte Pole, die achsial oder am Umfange nebeneinander angeordnet sind, angebracht. Jedes der Felder induziert in den Rotorwindungen eine der Geschwindigkeit

¹⁾ Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. I.

proportionale EMK, und da das Hauptfeld bis auf die Sättigung dem Arbeitsstrom proportional ist, kann ein Tourenabfall oder Erhöhung bei Belastung erzielt werden, wie bei den Gleichstrom-Kompoundmotoren¹⁾.

Sei E_s die von dem Hauptschlußfelde, E_n die von dem Nebenschlußfelde induzierte EMK; die Zusammensetzung der EMKe ist aus Fig. 40 ohne weiteres ersichtlich. Der Fluß der Seriewicklung ist mit dem Arbeitsstrom ungefähr in Phase, der der Nebenschlußwicklung eilt der Spannung der Schleifringe um 90° nach. Die EMKe sind gegenüber den zusammengehörigen Flüssen um die Winkel θ_1 und θ_2 verschoben.

Bei Belastung nimmt die EMK E_s zu und erfordert eine Erhöhung der Spannung P_2 . Folglich muß die Tourenzahl des Hauptmotors fallen. Die Größe des Tourenabfalles regelt man durch Shuntierung der Hauptschlußwicklung mittels Widerständen oder besser mit Drosselspulen, die die Phase des Feldes nicht verschieben. Die Leerlauf-tourenzahl wird durch Φ_n (Erregerstrom), die Kompensation durch θ_1 (Kombination der Erregerphasen) eingestellt. Die Seriewicklung eignet sich für feine Einstellung des Phasenwinkels nicht.

Das Stromdiagramm der Kaskadenschaltung mit Compoundmotor kann aus Superposition der beiden Fälle (Serie- und Nebenschlußmotor) abgeleitet werden. Der sekundäre Arbeitsstrom ist unter Vernachlässigung des Spannungsabfalles, den der Nebenschluß-Erregerstrom im Rotor des Hauptmotors hervorruft:

$$\mathfrak{S}_{2a} = \frac{s_1 \mathfrak{C}'_{1s} - \mathfrak{C}_s - \mathfrak{C}_n}{\mathfrak{B}_2} \dots \dots \dots (50)$$

Nach Fig. 40 können wir schreiben

$$\mathfrak{S}_{2a} = \frac{s_1 E'_{1s} - k_1 n \cdot \mathfrak{S}_{2a} \mathfrak{B}_s e^{-j\theta_1} - k_2 n \cdot \Phi_n e^{-j\theta_2}}{\mathfrak{B}_2} \dots (51)$$

wobei \mathfrak{B}_s die Erregerreaktanz der Seriewicklung ist. Daraus

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



Fig. 40. Vektordiagramm der Kaskadenschaltung eines Induktionsmotors mit einem Scherbius-Kompoundmotor.

$$\mathfrak{I}_{2a} = \frac{E'_{1s}}{\frac{\mathfrak{Z}_2}{1-s_1} - \frac{1-s_1}{s_1} \mathfrak{Z}_s e^{-j\theta_1}} - \frac{E_n e^{-j\theta_2}}{\frac{\mathfrak{Z}_2}{1-s_1} + \mathfrak{Z}_s e^{-j\theta_1}} \quad (52)$$

Die zwei Glieder der Gl. 52 wollen wir als zwei superponierte Ströme ansehen. Der erste Teil ist derselbe wie bei reiner Serieerregung, der zweite ist analog dem Strome des Nebenschlußmotors, der von der Rotationsspannung erzeugt wird. Die Reaktanz ist um die Erregerreaktanz des Hauptfeldes vergrößert. Beide Teile des Stromes werden durch je einen Kreis dargestellt, da die im Nenner stehenden Impedanzen durch gerade Linien abgebildet werden; für den zweiten gilt dies nur solange, als das Nebenschlußfeld als konstant angesehen werden kann, also bis in die Nähe des Synchronismus n_1 . Hierbei muß der sekundäre Strom durch Null gehen, das Diagramm hat, wie bei dem Nebenschlußmotor, eine Schleife. Das Stromdiagramm ist also dem des Nebenschlußmotors äußerlich ganz ähnlich, im idealen Falle ist es ein Kreis, der bei Überkompensation den Nullpunkt umschließt (siehe Fig. 39).

mil
die
am
die
ich
der
Gra
nisc
Geh
und

We
ma