

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

V. Bremsversuche an einem einphasigen Nebenschlußmotor

[urn:nbn:de:bsz:31-285100](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-285100)

V. Bremsversuche an einem einphasigen Nebenschlußmotor.

1. Beschreibung des Motors von Arnold und La Cour. — 2. Stromdiagramm. —
3. Der Motor bei Leerlauf. — 4. Belastungskurven. — 5. Verluste.

1. Beschreibung des Motors von Arnold und La Cour.

Der Motor, der von Brown, Boveri & Co. gebaut ist, ist für eine Dauerleistung von 8 PS bei 200 Volt und 50 Perioden bestimmt. Er ist mit einer Einrichtung zur Tourenregulierung versehen (s. Kap. VI und VII), hier möge zunächst sein normaler Lauf betrachtet werden. Er ist vierpolig und macht normal 1500 Umdrehungen.

Die Hauptdimensionen sind:

Stator: Außendurchmesser . . .	380 mm
Bohrung	250 „
Rotor: Außendurchmesser . . .	248,5 „
Bohrung	115 „
Eisenlänge	160 „

Der Rotor hat eine Reihenwicklung in 48 Nuten, der Kommutator hat 143 Lamellen.

Der Stator hat 44 Nuten, die Statorwicklung liegt in 32 Nuten und ist als Spulenwicklung ausgeführt.

Die Schaltung der Bürsten ist die Dreibürstenschaltung nach dem Patent 163 295, bei der der Erregerstrom der Kurzschlußverbindung zwischen zwei Arbeitsbürsten zugeführt wird und nur eine besondere Erregerbürste vorhanden ist. Die Arbeitsbürsten sind verdoppelt, so daß im ganzen fünf Bürstenstifte vorhanden sind.

Jede Bürste bedeckt ein wenig mehr als zwei Lamellen. Widerstandsverbindungen zwischen Wicklung und Kommutator sind nicht vorgesehen.

Der Winkel, den die Arbeitsbürsten miteinander einschließen, ist 135° el., so daß der Arbeitsstromkreis des Rotors nahezu denselben Polbogen bedeckt wie die Statorwicklung.

Die Erregung für den Rotor wird nicht von einem besonderen Transformator geliefert, sondern ist an einigen Windungen *T* des Stators *S* abgenommen, wie das Schema Fig. 21 zeigt. Jeder Windung entsprechen rund 2 Volt.

Es mag bemerkt sein, daß der Motor sich

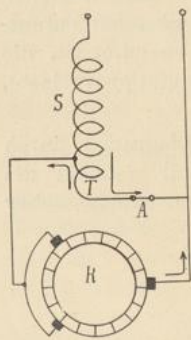


Fig. 21.

hierbei etwas anders verhält, als bei Verwendung eines besonderen Transformators. In den Statorwindungen T , die die Erregerspannung liefern, fließt die Differenz des Erregerstromes und des Statorstromes. Bei Leerlauf ist der Erregerstrom größer als der Statorstrom, und es besteht ein Spannungsabfall in Richtung des Erregerstromes. Mit zunehmender Belastung wächst der Statorstrom, und da er nahezu in Phase mit dem Erregerstrom ist, hebt er dessen Spannungsabfall auf. In der Tat konnte eine geringe Zunahme der Spannung an diesen Windungen bei Belastung beobachtet werden.

Hierdurch entsteht eine geringe Compoundierung beim Motor, dagegen eine kleine Untercompoundierung beim Generator.

Beim Anlauf wird ein Ausschalter A in Fig. 21 geöffnet, so daß der Motor als Hauptstrommotor anläuft. Sobald er auf volle Geschwindigkeit gekommen ist, was man am besten an einem Voltmeter erkennt, das parallel zum Schalter A liegt, wird dieser geschlossen.

2. Stromdiagramm.

Zur Erläuterung des in Kap. IV abgeleiteten Diagrammes ist in Fig. 22 das experimentell aufgenommene Diagramm dieses Motors

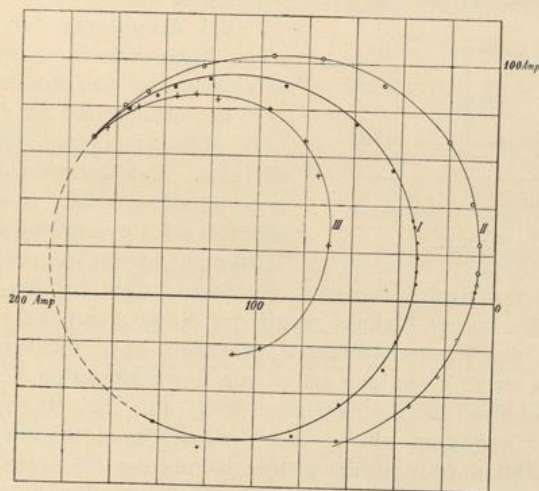


Fig. 22.

für beide Drehrichtungen aufgetragen, und es bestätigt das dort erhaltene.

Dieser Motor hat bei kurzgeschlossenen Erregerbürsten wieder einen Arbeitskreis I , dessen Mittelpunkt über der Abszissenachse

liegt, und daher ist auch in der Schaltung als Nebenschlußmaschine die Leistung beim Motor größer als beim Generator.

Freilich liegen hier die beiden Äste *II* und *III* nicht so symmetrisch um den Kreis, wie es das abgeleitete Diagramm verlangt, was aber auch bei den großen Kommutationsverlusten, die bei umgekehrter Drehrichtung entstehen, erklärlich ist.

3. Leerlauf.

Um den Einfluß der Größe der dem Rotor zugeführten Erregerspannung auf den Leerlaufstrom und den Leerlaufverlust zu zeigen, ist in Fig. 23 die wattlose Komponente des ganzen Leerlaufstromes der Maschine

$$J_{0wl} = J_0 \sin \varphi_0,$$

der Leerlaufverlust W_0 und der Erregerstrom des Rotors J_r als Funktion der zugeführten Erregerspannung aufgetragen, und zwar konnten, da einer Windung rund 2 Volt entsprechen, die Spannungen 0 (Kurzschluß), 2, 4,1 und 6,2 Volt hergestellt werden.

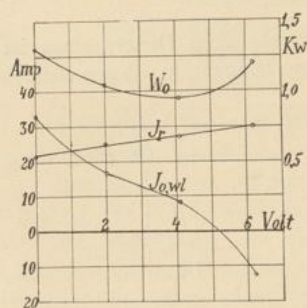


Fig. 23.

Bei 4 Volt war der Motor noch nicht kompensiert, während er bei 6 Volt schon überkompensiert war.

Bemerkenswert ist die Abnahme und Wiederzunahme der Leerlaufverluste. Bei kurzgeschlossenen Erregerbürsten sind besonders die Kupferverluste sehr hoch, der Leerlaufstrom ist 33 Amp. Mit ihm werden

die Stromwärmeverluste im Stator und in den Arbeitswindungen des Rotors kleiner, wenn der Motor kompensiert wird. Die Verluste des Erregerstromes J_r wachsen aber nicht in demselben Maße, da er viel weniger steigt, als der Statorstrom abnimmt. Dagegen nehmen die Eisenverluste etwas zu. Bei Überkompensation wachsen besonders wieder die Verluste im Arbeitsstromkreis des Rotors, weil der Strom hier größer ist als der Statorstrom. Für den Wirkungsgrad erscheint daher eine Kompensation bei Leerlauf am günstigsten.

Der Leerlaufstrom ist bei kurzgeschlossenen Erregerbürsten dreimal so groß wie der Magnetisierungsstrom des Stators. Dies rührt, wie in Kap. III gezeigt ist, von Verschiedenheiten der Widerstände im Arbeitsstromkreis und Erregerkreis her. Bei der Drei-

bürstenschaltung, insbesondere hier, wo die Arbeitsbürsten verdoppelt sind, ist der Widerstand im Arbeitsstromkreis kleiner als im Erregerkreis.

Wurde der Bürstenkranz um 90° el. gedreht, so daß Arbeits- und Erregerstromkreis ihre Rolle vertauschten, so war der Leerlaufstrom des kurzgeschlossenen Motors nur noch 20 Amp., während er zuvor 33 Amp. betrug, die Tourenzahl änderte sich nicht.

Bei den verschiedenen Spannungen am Erregerkreis wurden mittels Schlüpfungszählers folgende Schlüpfungen bei Leerlauf festgestellt:

Spannung	Schlüpfung	} übersynchron.
0 Volt	-0,93 %	
2 „	-0,9 „	
4,1 „	-0,65 „	
6,2 „	-0,23 „	

Die geringe Abnahme der Geschwindigkeit bei stärkerer Erregung erklärt sich in erster Linie durch die Zunahme der Eisenverluste, die nicht vom Rotor dem Netz entnommen werden, sondern zum größten Teil mechanisch gedeckt werden.

4. Belastungskurven.

Fig. 24 stellt die durch Belastung mittels Wirbelstrombremse erhaltenen Bremskurven, Strom J , Wirkungsgrad η und Leistungs-

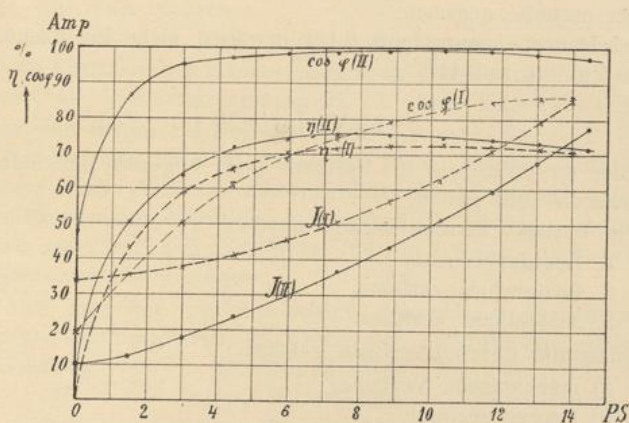


Fig. 24.

faktor $\cos \varphi$ als Funktion der Bremsleistung in PS dar, und zwar beziehen sich die gestrichelten Kurven I auf den Induktions-

motor, die ausgezogenen Kurven II auf den Nebenschlußmotor bei 4 Volt Erregerspannung.

Der höchste Wirkungsgrad wurde bei II bei ca. 8 PS zu 75,6 % gefunden, während er bei I bei 10,5 PS liegt und 72,7 % beträgt.

Der Unterschied rührt, wie aus den Strömen und Leistungsfaktoren ersichtlich ist, hauptsächlich von den Stromwärmeverlusten her.

Fig. 25 zeigt die Schlüpfungen als Funktion des Bremsmomentes in mkg. Der Tourenabfall ist beim Nebenschlußmotor etwas kleiner als beim Induktionsmotor. Bis zum normalen Drehmoment 3,9 mkg. (entspr. 8 PS bei 1475 Umdr.) ist er

bei I 2,6 % bei II 2,3 %
bis 7 mkg „ I 4,8 „ „ II 4,2 „

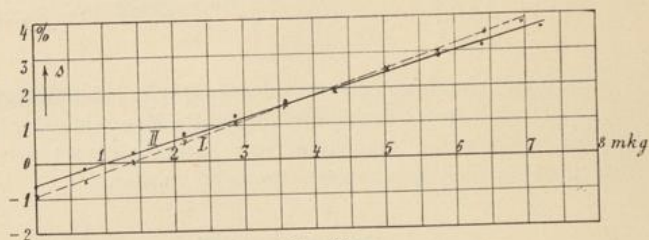


Fig. 25.

Der Verlauf der Kurven zeigt, daß die Belastungsgrenze hierbei noch nicht erreicht war, diese Grenze war durch die verfügbare Stromquelle gegeben.

Bei Dauerbelastung mit 8 PS erwärmt sich der Kommutator nach 6 Stunden um 41° C.

5. Verluste.

Über die Ursachen der Verluste kann folgende Überlegung ein angenähertes Bild geben.

Die Verluste können zerlegt werden in

1. Leeraufverluste,
2. Stromwärmeverluste,
3. zusätzliche Verluste.

Unter die Leerlaufverluste gehören

- a) mechanische Verluste,
- b) Erregerverluste.
 - a) Eisenverluste,
 - β) Verluste der Erregerströme.

Bei richtiger Kompensation können die Verluste des Statorstromes bei Leerlauf vernachlässigt werden. Sie betragen bei der

durch Fig. 24 II dargestellten Bremsung, mit dem Gleichstromwiderstand berechnet, 13 Watt, also nur 1,35% von 960 Watt gesamten Leerlaufverlusten.

Die Leerlaufverluste nehmen bei Belastung ein wenig ab.

Zu den Stromwärmeverlusten gehören die Verluste des Stator- und Rotorarbeitsstromes, die bei Belastung hinzutreten und die bei Stillstand, bzw. langsamer Drehung im Kurzschluß gemessen werden.

Zu den zusätzlichen Verlusten gehören in erster Linie die Kommutierungsverluste des Arbeitsstromes, dann die Wirbelstromverluste in den Zahnköpfen durch die Streufelder.

Die Kommutierungsverluste durch die Erregerströme und eventuelle Verluste in den kurzgeschlossenen Spulen durch die Hauptfelder sowie Pulsationsverluste sind in 1b) enthalten.

Diese Superposition ergibt nur dann richtige Werte, wenn der Leerlaufstrom in den Arbeitswindungen klein, d. h. der Motor kompensiert ist, dann ist der Strom, der bei Belastung hinzutritt, als Wattstrom nahezu um 90° in der Phase dagegen verschoben, und die Verluste können addiert werden.

1. Von den Leerlaufverlusten können nur die mechanischen Verluste von den übrigen durch Antrieb mittels Hilfsmotor getrennt werden. Eine Trennung der Erregerverluste in Eisenverluste und Verluste der Erregerströme ist nicht möglich, da in ihnen auch Kommutierungsverluste enthalten sind. Es ergaben sich die mechanischen Verluste zu 580 Watt, so daß für die übrigen Leerlaufverluste 380 Watt bleiben.

2. Bei Stillstand (bzw. langsamer Drehung) wurden die in Fig. 26 als Funktion des Stromes aufgetragenen Verluste W_k , Kurve II gemessen, die Klemmenspannung P_k ist durch Kurve I dargestellt.

Für den Strom bei Vollast, 8 PS, der nach Kurve I (Fig. 24) 39,5 Amp. beträgt, ist z. B. $W_k = 640$ Watt: hiervon entfallen auf den Stator (mit dem Gleichstromwiderstand berechnet) 210 Watt, auf den Rotor somit 430 Watt, wovon auf die Wicklung (berechnet) 230 Watt entfallen und 200 Watt für die Bürsten- und eventuell Wirbelstromverluste bleiben.

Würde man den bei Kurzschluß gemessenen Verlust zu den Leerlaufverlusten addieren, so ergäbe sich bei 8 PS eine aufgenommene Leistung von

$$\begin{array}{r} 8 \times 736 \cong 5900 \\ + W_o = 960 \\ + W_k = 640 \\ \hline 7500 \text{ Watt,} \end{array}$$

mithin ein um 3% höherer Wirkungsgrad als gemessen. Dieser Unterschied ist auf zusätzliche Verluste zurückzuführen.

3. Die zusätzlichen Verluste lassen sich angenähert messen, wenn man den Rotor im Kurzschluß bei geöffnetem Erregerkreis mit voller Geschwindigkeit antreibt. Es genügt aber nicht, die dem Stator elektrisch zugeführte Leistung zu messen. Denn die zusätzlichen Ströme in den von den Arbeitsbürsten kurzgeschlossenen Spulen können motorisch oder generatorisch wirken, je nachdem Über- oder Unterkommutierung stattfindet. Es muß daher auch die dem Rotor mechanisch zugeführte Leistung gemessen werden, ausschließlich der Reibungsverluste. Dies geschah hier in folgender Weise.

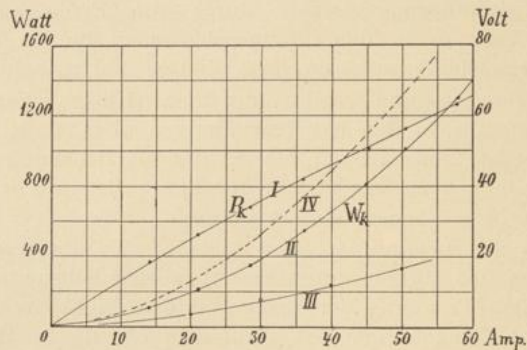


Fig. 26.

Auf der Welle des Motors war die Wirbelstrombremse und eine Riemenscheibe befestigt, mittels derer der Motor von einem Hilfsmotor angetrieben wurde.

Es wurde dann die Leistung des Hilfsmotors und die vom Stator des im Kurzschluß laufenden Motors aufgenommene Leistung gemessen. Nach Unterbrechung des Statorstromes wurde die Wirbelstrombremse so weit belastet, bis der Hilfsmotor bei gleicher Spannung, Erregung und Tourenzahl denselben Strom aufnahm, wie zuvor. Unter der Annahme, daß die Reibungsverluste sich hierbei nicht geändert haben, ist die gebremste Leistung dieselbe, die dem im Kurzschluß laufenden Rotor zugeführt wurde.

Fig. 27 zeigt eine solche Messung bei konstantem Strom $J=40$ Amp. *I* stellt die dem Stator elektrisch zugeführte Leistung als Funktion der Geschwindigkeit, *II* die dem Rotor mechanisch zugeführte Leistung, *III* die Summe dar.

Die Ordinatenabschnitte zwischen *III* und der Horizontalen durch den Punkt, der die Verluste bei Stillstand darstellt, sind die zusätzlichen Verluste.

Aus einer Reihe solcher Messungen ergibt sich für verschiedene Ströme eine Kurvenschar, welche die zusätzlichen Verluste als Funktion des Stromes bei einer bestimmten Geschwindigkeit darstellt. Eine solche Kurve, und zwar für die normale Tourenzahl 1500, ist in Fig. 26 als Kurve III eingetragen, die Summe von II und III ist die Kurve IV, welche den gesamten Verlust des Belastungsstromes darstellt.

Bei 8 PS ergibt sich hieraus der zusätzliche Verlust zu 240 Watt, d. h. 37,5% von den gesamten bei Stillstand gemessenen Verlusten und 114% von den Verlusten des Statorstromes allein.

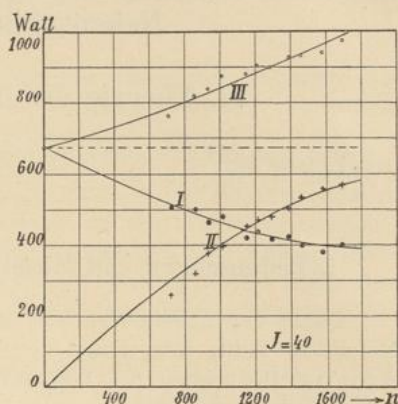


Fig. 27.

Hiermit wird die aufgenommene Leistung bei Vollast 7740 Watt der Wirkungsgrad 76,3%, also noch 0,7% höher als aus der Bremsung erhalten ist. Ähnlich berechnet sich bei

10 PS	$\eta = 75,9\%$	η gemessen	75,2%
6 „	$\eta = 74,8$ „	η „	74,7 „
4 „	$\eta = 70,0$ „	η „	70,0 „

Als Resultat dieser Versuche zeigt sich:

Gegenüber einem gewöhnlichen einphasigen Induktionsmotor ist der Wirkungsgrad des kompensierten Nebenschlußmotors gering.

Die Leerlaufverluste werden vergrößert durch Bürstenreibung und Bürstenverluste, die Verluste des Belastungsstromes durch Bürstenübergangs- und Kommutationsverluste.

Dem gegenüber ist die Verminderung des Stromwärmeverlustes durch den besseren Leistungsfaktor geringfügig.

Obwohl die Verluste bei dem hier untersuchten Motor ziemlich hoch sind, und insbesondere die Reibungsverluste kleiner gemacht werden können, würden dennoch die Vorteile des Nebenschlußmotors, nämlich der einfache Anlauf als Hauptstrommotor, die große Überlastungsfähigkeit und der gute Leistungsfaktor, den geringen Wirkungsgrad, den der Kommutator in sich schließt, nicht aufwiegen, und er würde keinen Fortschritt gegenüber dem Induktionsmotor darstellen, wenn nicht die Möglichkeit der Tourenregulierung gegeben wäre, der wir uns nun zuwenden.