

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Experimentelle Untersuchung der Kommutation mit besonderer Berücksichtigung der Änderung der Übergangsspannung und der Verteilung des Energieverlustes zwischen Kommutator und Bürste**

**Jordan, Friedrich**

**Berlin, 1909**

3. Die pulsierenden Ströme im äußeren Stromkreis

[urn:nbn:de:bsz:31-274862](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274862)

die Funkenbildung in diesem Fall auch noch schädlicher ist, wird man stets bestrebt sein müssen, Unterkommulation zu vermeiden.

Man sieht weiter, daß es wenig Wert hat, Mittelwerte oder Effektivwerte der Reaktanzspannung zu errechnen, da es allein auf Höchstwerte ankommt. Man wird sich aber gleichwohl damit begnügen müssen, weil man die genaue Größe und Verlauf des Eigenfeldes kennen müßte, wollte man den Höchstwert selbst berechnen. Dazu müßten aber die Kurzschlußstromkurven und die Kraftlinienwege des Kraftflusses der kommutierenden Spulen bekannt sein, was nicht der Fall ist.

### 3. Die pulsierenden Ströme im äußeren Stromkreis.

Erregt man bei sorgfältig entmagnetisierten Hauptpolen die Wendepole allein, so kann man, obgleich die Wendepole in bezug auf den äußeren Kreis keine Wirkung haben, zwischen den Hauptbürsten Spannungen feststellen. Die Form der Spannungskurve erkennt man aus Fig. 44.

Man hat es mit einer Wellenspannung zu tun, deren Periodenzahl gleich der Periodenzahl der Kommutation ist. Diese Span-

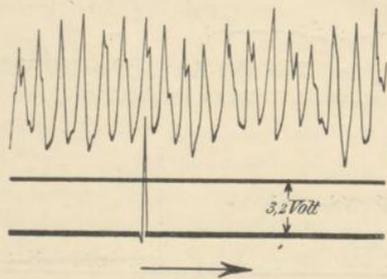


Fig. 44. Klemmenspannung.  $J = 0$ ,  $i_c = 0$ ,  $n = 1000$ ,  $i_{ew} = 50$  Amp.,  $w_w = 36$ . Eine Bürste. Funkenfrei.

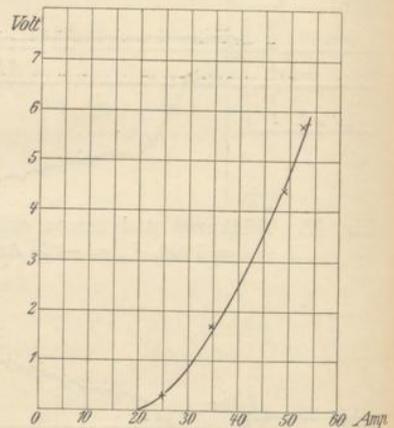


Fig. 45. Klemmenspannung in Abhängigkeit von der Erregung der Wendepole; Hauptpole entmagnetisiert.

nung ist in der folgenden Fig. 45 in Abhängigkeit von der Wendepolerregung innerhalb der Funkengrenze dargestellt. Wie in diesem Zustand die Maschine arbeitet, sei durch die nachstehenden Oszillogramme erläutert.

Fig. 46 gibt zunächst die Feldkurve der Wendepole bei abgehobenen Bürsten. Legt man nun nur die Bürsten eines Stiftes

auf, so entstehen in den von ihnen kurzgeschlossenen Spulen Ströme, die ein pulsierendes Feld hervorrufen.

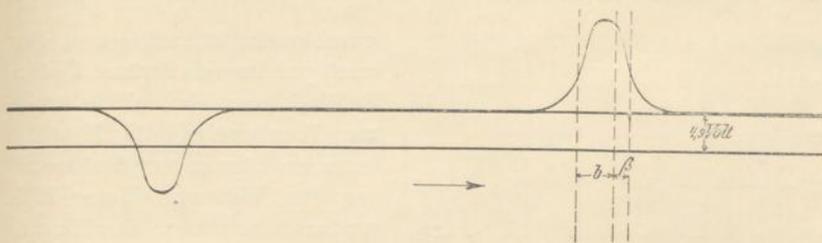


Fig. 46. Feld der Wendepole; Hauptpole entmagnetisiert; Bürsten abgehoben.  
 $i_{ew} = 50 \text{ Amp.}, n = 1000.$

Aus der Fig. 47 sieht man, daß sich ein Teil des Kraftflusses innerhalb der Pollücke durch Luft und Wendepol schließt, und daß ein anderer Teil den Weg durch den Ring nimmt.

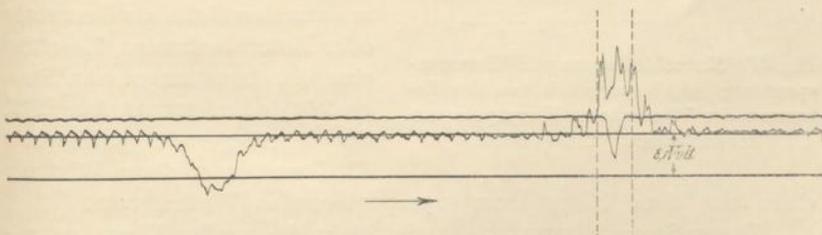


Fig. 47. Feldkurve und Strom einer Spule. Nur die negative Bürste liegt auf.  
(Die Achsen der Kurven sind verschoben.)  $i_{ew} = 50 \text{ Amp.}, n = 1000.$

Legt man auch die Bürsten der anderen Polarität auf (Fig. 48), so entsteht auf jeder Seite ein Feld, das in bezug auf den Ring entgegengesetzt gerichtet ist. Die pulsierenden Kraftflüsse der von den Bürsten kurzgeschlossenen Spulen müssen sich also durch Luft und Wendepole und zum Teil durch die Hauptpole schließen.

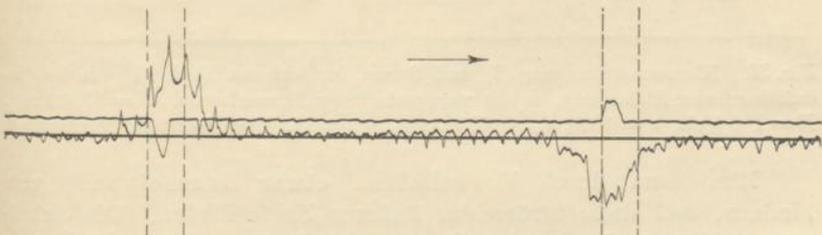


Fig. 48. Feldkurve und Strom einer Ankerspule.  $i_{ew} = 50 \text{ Amp.}, n = 1000.$   
Eine Bürste auf jeden Stift.

Durch Rotation des Ankers in diesem pulsierenden Feld entsteht also die EMK von der Periodenzahl  $\frac{K \cdot n}{60}$ . Wenn der äußere Kreis

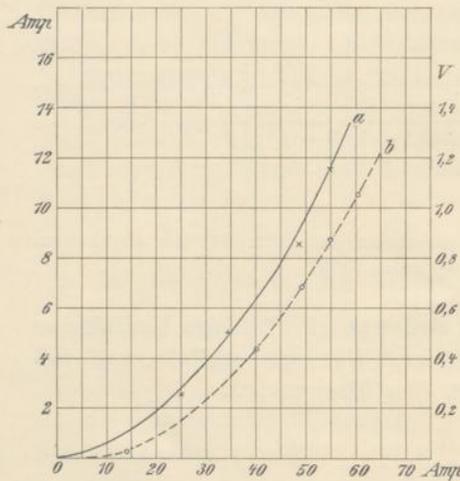


Fig. 49. Kurzschlußstrom und Klemmenspannung in Abhängigkeit von der Erregung der Wendepole. Hauptpole entmagnetisiert. Eine Bürste.

geschlossen ist, müssen in ihm auch pulsierende Ströme fließen. Schließt man bei allein erregten Wendepolen die Maschine kurz, so können nur Ströme unter der Wirkung dieser EMK zustande kommen. Der Zusammenhang der Klemmenspannung und des pulsierenden Stromes mit der Wendepolerregung, ebenfalls innerhalb der Funkengrenze, ist in Fig. 49 gegeben.

Ebenso erhält man bei der in normaler Weise als Generator oder Motor laufenden Maschine eine der konstanten vom Erregerfeld induzierten Anker EMK sich überlagernde pulsierende EMK und unter deren Wirkung

einen sich dem Hauptstrom superponierenden Wellenstrom.

Dieser Strom nimmt nun meist nicht die großen Werte an wie in dem oben beschriebenen Fall. Innerhalb der Funkengrenze und bei sehr guter Stromwendung ist er kaum nachweisbar (Fig. 50a, dazu Fig. 23).

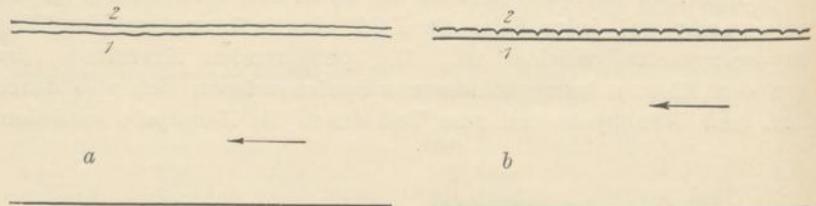


Fig. 50. Klemmenspannung (2) und Strom im äußeren Kreis (1). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule.  $J = 60,8$  Amp.,  $E = 100$  Volt,  $n = 1000$ ,  $i_{cr} = 60,8$  Amp.,  $w_w = 18$ . Zwei Bürsten. Funkenfrei.

Man kann durch Vorschalten einer Drosselspule verhindern, daß diese Ströme im äußeren Kreis fließen. Die Schaltung nach dem Schema der Fig. 51 ermöglicht es durch Öffnen des Schalters  $S_1$  und gleichzeitiges Schließen von  $S_2$  die Drosselspule

einzuschalten, ohne den effektiven Strom zu ändern. Der äußere Kreis ist dann für die pulsierenden Ströme gleichsam geöffnet. Man hat dann eine leerlaufende 2K-polige Wechselstrommaschine.

Bei konstanter Erregung, wie es hier der Fall ist, da die relativ kleinen pulsierenden Ströme die Stromverteilung über die Bürste und die kurzgeschlossenen Spulen nur unwesentlich ändern, muß also die Klemmenspannung stark steigen. Daß das der Fall ist, zeigen die folgenden Fig. 50 b, 52—54, 56.

Die Periodenzahl dieser Ströme ist nicht immer  $c_k = \frac{K \cdot n}{60}$ . Hat man eine ungerade Lamellenzahl, so treten die Spulen der einen Bürste eine halbe Lamellenteilung später in und aus dem Kurzschluß als die der anderen Bürste. Man wird also  $c_k = \frac{2 \cdot K \cdot n}{60}$  bekommen.

Bei breiten Bürsten kann aber auch die eigentliche Stromwendung unabhängig von der Zeit des geometrischen Eintritts einer Spule in den Kurzschluß erfolgen, so daß bei gerader Lamellenzahl die doppelte Periodenzahl und bei ungerader Lamellenzahl die einfach der Zahl der Lamellen entsprechende Periodenzahl der Kommutierung erhalten werden kann.

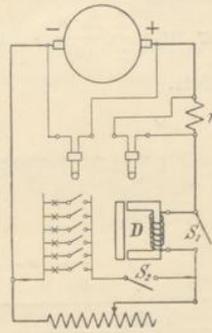


Fig. 51. Schaltung zur Änderung der Belastungsart bei konstantem Strom.  $r_1$  Widerstand zur Aufnahme der Stromkurve.  $S_1, S_2$  Schalter.  $D$  Drosselspule.

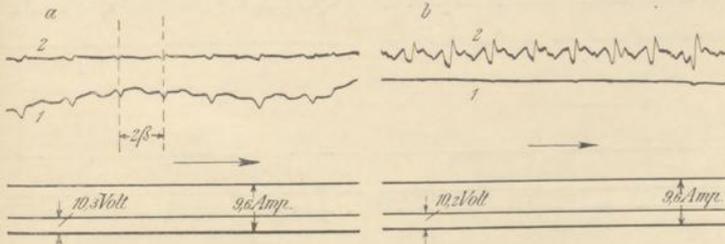


Fig. 52. Strom im äußeren Kreis (1) und Klemmenspannung (2). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. Maschine als Generator mit gegen die Drehrichtung verschobenen Bürsten.  $J = 60,8$  Amp.,  $E = 112$  Volt,  $n = 855$ . Funken.

Nutenanker machen von diesen Verhältnissen keine Ausnahme. Auch bei ihnen treten diese Schwankungen ebenso auf, wie bei glatten Ankern. Das zeigen die drei Fig. 52, 53, 54, die jedesmal den äußeren Strom mit und ohne vorgeschaltete Drosselspule darstellen.

Die Maschine war ein zweipoliger 11 KW-Generator mit 48 Nuten und 48 Lamellen für 110 Volt und 855 Umdrehungen in der Minute.

Im Fall der Fig. 52 lief die Maschine mit gegen die Drehrichtung verstellten Bürsten als Generator. Die Periodenzahl ist hier nur  $\frac{1}{2} \frac{K \cdot n}{60}$ , da zwei Spulen gleichzeitig aus dem Kurzschluß traten.

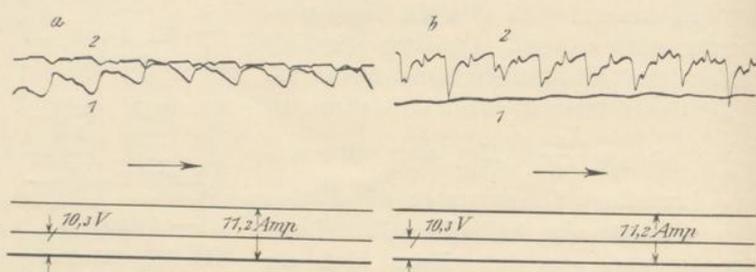


Fig. 53. Strom im äußeren Kreis (1) und Klemmenspannung (2). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. Maschine als Motor; Bürsten gegen die Drehrichtung verstellt.  $J = 36$  Amp.,  $E = 105$  Volt,  $n = 855$ . Funken.

Dieselbe Periodenzahl hat man auch in der Fig. 53, wobei die Maschine als Motor mit gegen die Drehrichtung verstellten Bürsten lief. Die Schwankungen sind hierbei sehr bedeutend, die Funkenbildung war allerdings sehr stark.

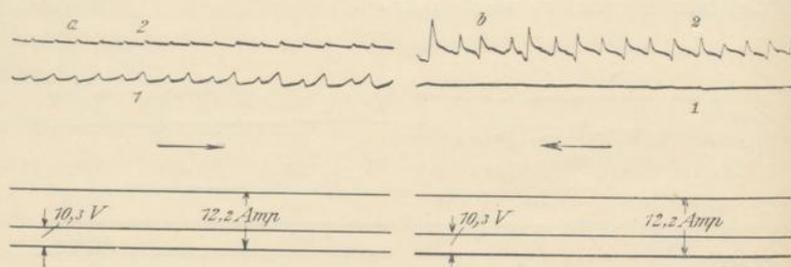


Fig. 54. Strom im äußeren Kreis (1) und Klemmenspannung (2). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. Maschine als Motor laufend. Bürsten in der Drehrichtung verschoben.  $J = 36$  Amp.,  $E = 106,5$  Volt,  $n = 855$ . Funken.

Man kann aber auch unter Umständen die Periodenzahl  $\frac{K \cdot n}{60}$  erhalten, wie das Oszillogramm Fig. 54 zeigt. Die Bürsten der als Motor arbeitenden Maschine waren in der Drehrichtung verschoben.

Unsymmetrische Anordnung der Bürsten kann ebenfalls auf die Periodenzahlen Einfluß haben, doch ist es nicht unbedingt nötig, daß sich geringe Unsymmetrien deutlich zeigen.

Welche von den möglichen Periodenzahlen der pulsierenden Ströme und Spannungen sich einstellt, läßt sich von vornherein nicht sagen. Das hängt wesentlich vom Zustand des Kommutators und der Bürsten ab. Es ist sogar möglich, daß die Periodenzahlen sich innerhalb einer Umdrehung ändern.

Im ganzen sind diese pulsierenden Ströme für die Wirkungsweise der Maschine und für die Funkenbildung von geringer Bedeutung. Sie sind innerhalb und an der Funkengrenze zu schwach, um eine wesentliche Änderung der Lamellenstromkurve oder eine Erhöhung der Werte der durchlaufende Potentialkurve bewirken zu können. Wie gering die Änderungen in dieser Hinsicht sind, kann man aus der Fig. 55 sehen. Der äußere Strom und die Klemmenspannung sind in der Fig. 56 dargestellt. Die Funkenbildung war in diesem Fall schon recht stark.

Auch wenn die Versuchsmaschine sehr dicht an der Funkengrenze lief, konnte sie durch Einschalten der Drosselspule nicht

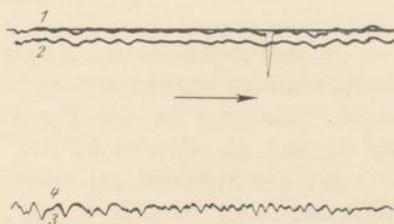


Fig. 55. Lamellenstrom (1) und durchlaufende Potentialkurve (2) für induktionsfreie Belastung. Desgl. (3) und (4) bei vorgeschalteter Drosselspule. *a* für die negative Bürste. *b* für die positive Bürste.

$J = 41$  Amp.,  $E = 76$  Volt,  $n = 1000$ . Eine Bürste;  $40,5^\circ$  in der Drehrichtung verschoben. Starke Funken an den ablaufenden Kanten. Kurve 3 fällt mit der Nulllinie zu 1 u. 2 zusammen.

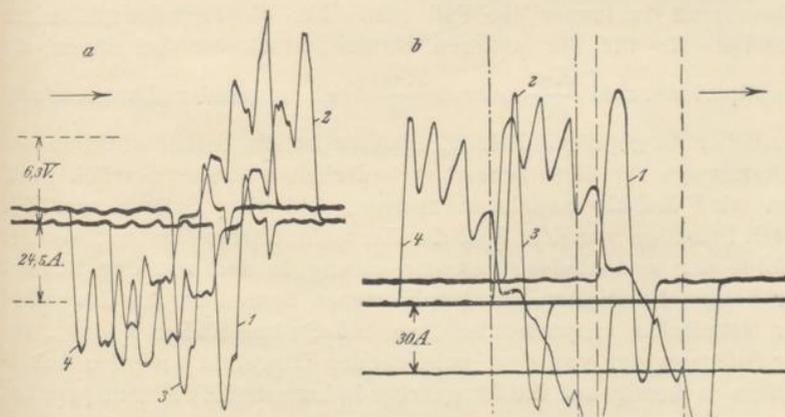


Fig. 56. Strom im äußeren Kreis (1 u. 3) und Klemmenspannung (2 u. 4) zu Fig. 55.

zum Funken gebracht werden. Einige andere Maschinen, die noch darauf hin untersucht wurden, verhielten sich ganz ebenso.

Wichtiger als die eventuelle mögliche Einwirkung auf die Funkengrenze ist die Vergrößerung der Verluste in den Zähnen und in den Polschuhen, die diese pulsierenden Felder im Gefolge haben müssen.

#### 4. Die inneren Ströme.

In der geschlossenen Ankerwicklung fließen bei minder guter Stromwendung innere Ströme von der Periodenzahl der Kommutation. Sie sind in den Fig. 41—43, 47, 48 und in den Fig. 15 bis 18 und 43, 49 und 51 der Arbeit von Arnold zu erkennen.

Mit den Strömen, die in den äußeren Kreis abfließen, sind sie in Phase. Daß es sich wirklich um innere Ströme handelt, kann man daraus erkennen, daß sie auch bei Leerlauf (s. Fig. 48) vorhanden sind, und daß in den Fig. 18 und 49 der Arbeit von Arnold die Spitzen dieser Ströme ihre Richtung auch dann beibehalten, wenn sich der Nutzstrom einer Spule umkehrt. Auch durch Vorschalten einer Drosselspule läßt sich das beweisen, wie die Fig. 57 und 58 zeigen.

Die inneren Ströme entstehen nach Arnold dadurch, daß zu den kurzgeschlossenen Spulen die Ankerwicklung und bei Verwendung von Äquipotentialverbindungen ein Teil der Ankerwicklung parallel geschaltet ist.<sup>1)</sup> Sie können nur fließen, wenn die zusätzlichen EMKe in den von den verschiedenen Bürsten kurzgeschlossenen Spulen verschiedene Funktionen der Zeit sind. Wie wir gesehen haben, muß das immer der Fall sein. Für die Periodenzahlen gilt dasselbe wie für die äußeren Ströme, doch ist bei ihnen die Grundperiodenzahl  $\frac{K \cdot n}{60}$  oder  $2 \frac{K \cdot n}{60}$  (bei ungerader Lamellenzahl)

deutlicher ausgeprägt. Beim Ringanker ist die Selbstinduktion der Ankerzweige für diese schnell veränderlichen Ströme ziemlich groß. Man wird deshalb annehmen müssen, daß diese Ströme zum Teil durch Pulsation von dem Feld der Kurzschlußströme erzeugt werden. Infolge der verschiedenen Stromwendung in den von den Bürsten der beiden Polaritäten kurzgeschlossenen Spulen ist das Längsfeld zur Mittelachse unsymmetrisch, so daß Ströme fließen können, die der Differenz der von dem pulsierenden Längsfeld und den Ankerhälften in bezug auf die Längsachse induzierten EMKe entsprechen.

<sup>1)</sup> Arnold, „Die Gleichstrommaschine“, Bd. I, S. 166 ff.