

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

VIII. Rückwirkung der Kurschlußströme auf die Maschine

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

VIII. Rückwirkung der Kurzschlußströme auf die Maschine.

1. Einwirkung auf die Potentialkurve.

In den Oszillogrammen der vorigen Abschnitte, die die Momentanwerte der Spannung einer Lamelle gegen die Bürsten (die durchlaufende Potentialkurve) geben, fallen die Zacken dieser Kurven

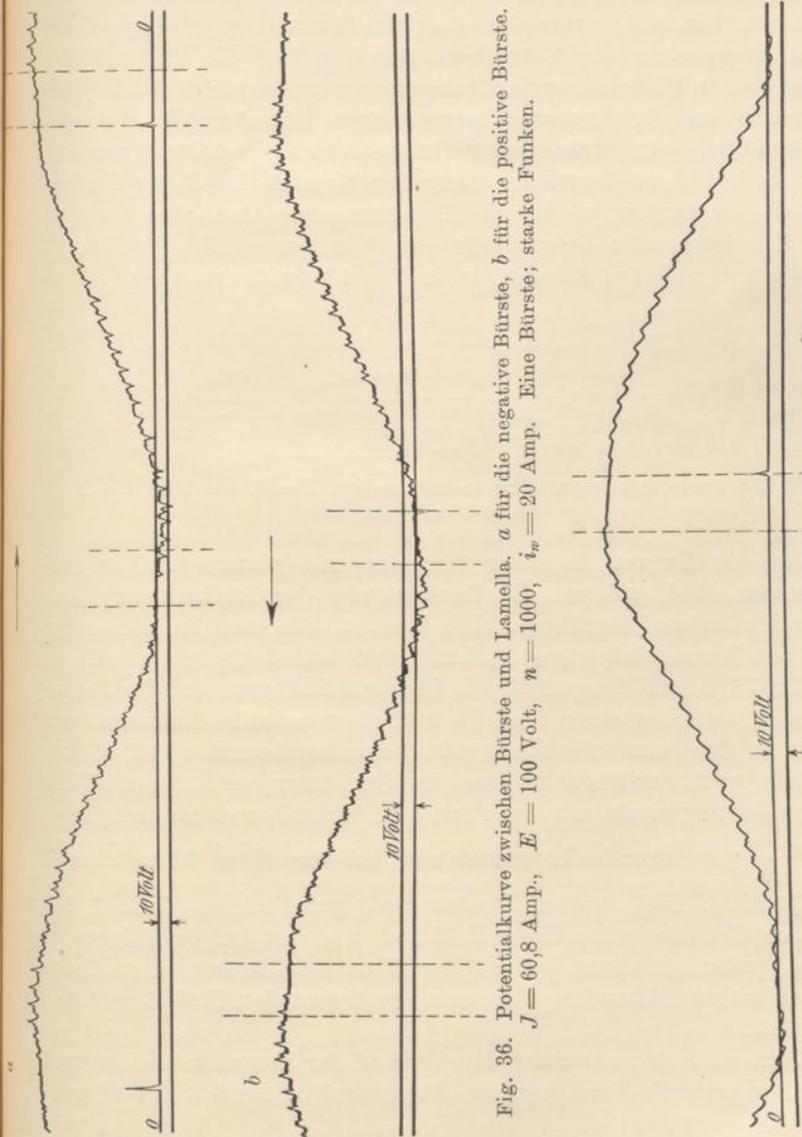


Fig. 36. Potentialkurve zwischen Bürste und Lamelle. *a* für die negative Bürste, *b* für die positive Bürste. $J = 60,8$ Amp., $E = 100$ Volt, $n = 1000$, $i_w = 20$ Amp. Eine Bürste; starke Funken.

Fig. 37. Potentialkurve zwischen der positiven Bürste und einer Lamelle. $J = 60,8$ Amp., $i_w = 102$ Amp. Zwei Bürsten. Funkenfrei.

besonders auf, um so mehr als es sich hier um einen glatten Anker handelt. Man findet, daß vor und nach dem Teil, der wesentlich von den übergehenden Strömen bestimmt ist, die Kurve Spitzen aufweist, die um die Zeit des Fortschreitens um eine Lamellenteilung voneinander abstehen (vgl. Fig. 11, 13, 21, 24 usw.).

Da es sich bisher nur um die Ausschnitte aus der durchlaufenden Potentialkurve gehandelt hat, so seien zunächst einmal einige ganze Kurven, und zwar zwischen einer Lamelle und der negativen (Fig. 36a) sowie der positiven Bürste (Fig. 36b) gegeben. Ihnen entsprechen die Ausschnitte der Fig. 24. Sie sind mit der beschriebenen Meßschaltung aufgenommen worden, wobei die Doppelbürsten b_1 und b_2 kurzgeschlossen waren. Es handelt sich um Kurven, die bei beträchtlicher Funkenbildung erhalten wurden. Aber auch bei funkenfreiem Gang der Maschine sind die Zacken deutlich ausgeprägt, wie die Oszillogramme der Abschnitte 2 und 3, Kap. V zeigen. Ein Beispiel für die volle Kurve gibt Fig. 37, zu der die vergrößerten Ausschnitte in Fig. 12 zu finden sind.

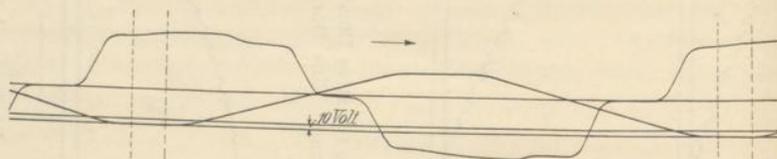


Fig. 38. Feldkurve und Potentialkurve bei Leerlauf. $J=0$, $n=1000$, $i_e=2,15$. Ohne Wendepole.

Da die Kurven in einer Maschine mit glattem Anker aufgenommen sind, müssen die Zacken von der Rückwirkung der Kurzschlußströme herrühren. Die Kurven, die man bei Abwesenheit von Kurzschlußströmen erhält, sind vollständig glatt, wie es die Fig. 38 zeigt. Sie enthält die Leerlaufsfeldkurve und die Potentialkurve zwischen einer Lamelle und einer anstelle der negativen Bürste in der geometrisch neutralen Zone angebrachten Prüfbürste.

Die veränderlichen Ströme in den kurzgeschlossenen Windungen erzeugen ein mit der Periodenzahl der Lamellendurchgänge $c_k = \frac{K \cdot n}{60}$ schwingendes Längsfeld und bei verstellten Bürsten auch ein Querfeld. Bei breiten Bürsten und geradlinigem Verlauf der Kurzschlußströme wäre dieses Feld Null und hat bei beliebigem in allen Spulen gleichem Verlauf der Kurzschlußströme einen konstanten magnetisierenden oder entmagnetisierenden Einfluß auf das Hauptfeld.

Nun wird, je schlechter der Verlauf der Kommutation ist und je weiter man die Funkengrenze überschreitet, die Zeit der eigent-

lichen Stromwendung immer kürzer, ohne daß eine größere Ausbildung zusätzlicher Ströme damit verbunden ist. Die größere Wirkung des schwingenden Feldes wird also nicht durch Vergrößerung des veränderlichen Stromvolumens, sondern durch Verkürzung der Zeit der Änderung erreicht.

Noch vor Erreichung der Funkengrenze wird sich also unter allen Umständen ein mit der Periodenzahl der Kommutation veränderlicher Kraftfluß ausbilden, der als der Träger sämtlicher Selbst- und gegenseitigen Induktionen anzusehen ist.

Er wird in den massiven Eisenteilen des Feldmagnetgestelles durch Induktion von Wirbelströmen einen erheblichen Widerstand erfahren, so daß er gezwungen ist, zum größten Teil durch die Polschuhe und die Luft zu verlaufen. Im Joch selbst wird nur ein sehr kleiner Teil des Kraftflusses fließen.

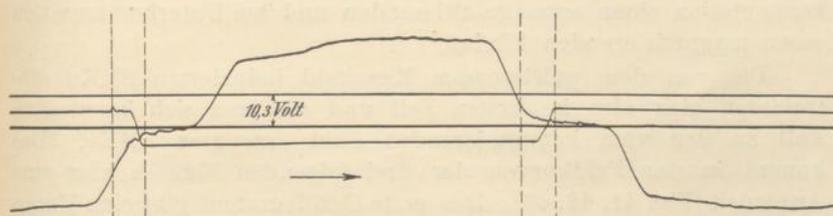


Fig. 39. Feldkurve und Strom einer Ankerspule. $J = 20,5$ Amp., $E = 100$ Volt, $n = 1000$. Bürsten 14° gegen die Drehrichtung verstellt. Eine Bürste. Leichte Funken.

Auch von der Sättigung der Maschine, insbesondere des Ankers, hängt viel für die Möglichkeit der Ausbildung des Eigenfeldes der Kurzschlußströme ab. So zeigt z. B. Fig. 39 die Feldkurve und den Strom einer Spule. Man bemerkt in der Feldkurve nur sehr kleine Zacken von der Periodenzahl $c_k = \frac{K \cdot n}{60}$. Der pulsierende Kraftfluß der kommutierenden Spulen ist also nur sehr klein. Schaltet man nun die Felderregung ab und erregt nur vom Anker her, so daß man nun mit Hilfe der Prüfspule den Verlauf des Ankerfeldes erhält, so sieht man (Fig. 40), daß bei fast gleichem Verlauf der

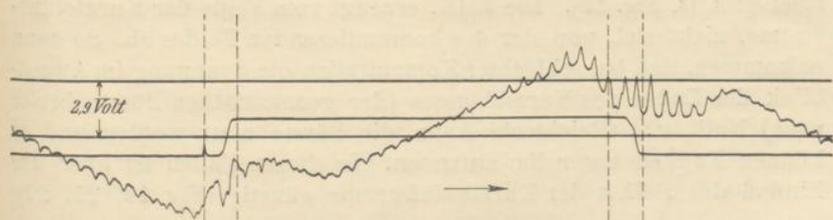


Fig. 40. Ankerfeldkurve und Strom einer Ankerspule. $J = 20,5$ Amp., $i_e = 0$, $n = 1000$. Ohne Funken.

Kurzschlußströme das Eigenfeld bedeutend schärfer ausgeprägt ist. Von diesem pulsierenden Längsfeld sind auch die Spitzen der durchlaufenden Potentialkurven erzeugt, von denen man zunächst annehmen möchte, daß sie vom Ausschalten des betreffenden Stromes herrühren (s. Fig. 13, 20, 23).

2. Die Beeinflussung der Funkengrenze.

Wie wir gesehen haben, ist nur die an den Bürstchenkanten erreichte Spannung für die Funkenbildung maßgebend. Da sich die in einer Spule induzierten EMKe aus der vom kommutierenden Feld und der vom Eigenfeld induzierten zusammensetzen, ist es klar, daß die letzteren die Funkengrenze direkt beeinflussen können.

Nun hat das Feld der Kurzschlußströme im Mittel bei Überkommuation einen entmagnetisierenden und bei Unterkommuation einen magnetisierenden Einfluß.¹⁾

Die von dem pulsierenden Eigenfeld induzierten EMKe subtrahieren sich also im ersten Fall und addieren sich im zweiten Fall zu den vom kommutierenden Feld erzeugten EMKe. Das kommt in den Feldkurven der drei folgenden Figuren klar zum Ausdruck (Fig. 41, 42, 43). Das erste Oszillogramm gibt eine Unterkommuation bei in der neutralen Zone stehenden Bürsten ohne Anwendung von Wendepolen und leichter Funkenbildung. Die Spitzen setzen sich einfach auf die Feldkurve, soweit sie vom Erregerfeld und Ankerfeld herrührt, auf. Ebenso verhält es sich beim nächsten Oszillogramm, das bei schwach erregten Wendepolen und starker Funkenbildung aufgenommen ist. Hier fällt die Spitze mit dem Austreten der Spule aus dem Kurzschluß zusammen. Man vergleiche dazu das Oszillogramm der Fig. 24. In diesen Oszillogrammen ist der Verlauf der Potentialkurve, soweit er von dem kommutierenden Feld herrührt, ziemlich gut zu erkennen, und man sieht, daß das pulsierende Feld am meisten zur Funkenbildung beiträgt.

Umgekehrt ist es bei Überkommuation, wofür Fig. 43 ein Beispiel gibt (s. Fig. 12). Die EMK, erzeugt vom Felde der Kurzschlußströme, zieht sich von der des kommutierenden Feldes ab. So kann es kommen, daß bei schlechter Kommutation die Spannung im Augenblick des Endes des Kurzschlusses (der geometrischen Bürstenbreite nach) Null ist. Gleichwohl kann die Bürste matt werden und es können Funken unter ihr auftreten. In diesen Fällen ist aber der Einfluß des Feldes der Kurzschlußströme günstig (Fig. 12, 25, 26),

¹⁾ R. Pohl, Sammlung elektrotechn. Vorträge, VI. Bd., 10. Heft.

wenn dieser Einfluß auch meist nicht so ausgeprägt ist, wie bei Unterkommulation. Bei Überkommulation kann also die Feldkurve

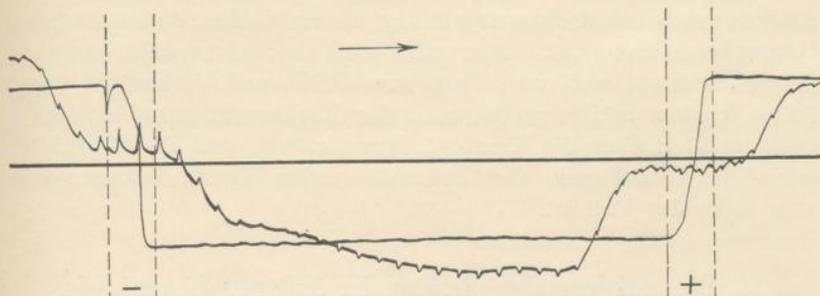


Fig. 41. Feldkurve und Strom einer Ankerspule. $J = 67$ Amp., $E = 100$ Volt, $n = 1000$. Eine Bürste in der geometrisch neutralen Zone. Leichte Funken.

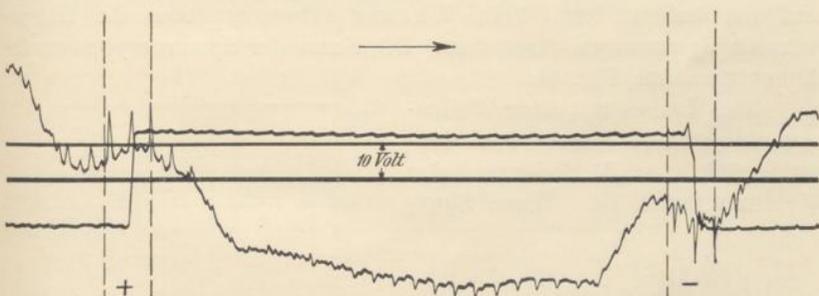


Fig. 42. Feldkurve und Strom einer Spule. $J = 60,8$ Amp., $E = 100$ Volt, $n = 1000$, $i_{ev} = -20$ Amp., $w_n = 36$. Starke Funken.

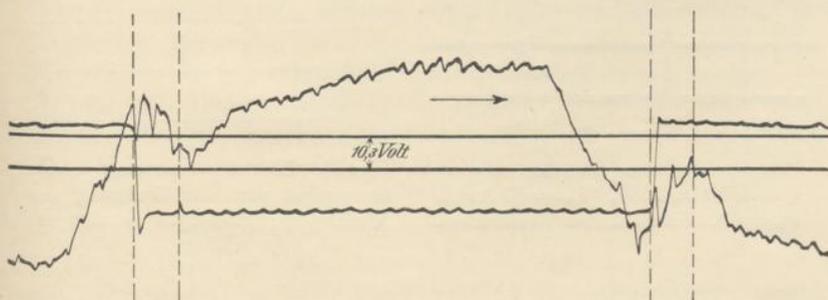


Fig. 43. Feldkurve und Strom einer Spule. $J = 60,8$ Amp., $E = 100$ Volt, $n = 1000$, $i_{ev} = 102$ Amp., $w_n = 36$. Zwei Bürsten; ohne Funken.

steiler verlaufen und es erklärt sich damit auch die Tatsache, auf die im Kap. VII hingewiesen wurde, daß nämlich die Maschine gegen Unterkommulation empfindlicher ist. Da nach Kap. VI Abschn. 4

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-

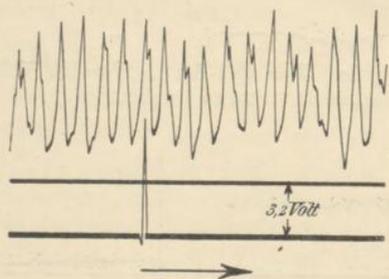


Fig. 44. Klemmenspannung. $J = 0$, $i_c = 0$, $n = 1000$, $i_{ew} = 50$ Amp., $w_w = 36$. Eine Bürste. Funkenfrei.

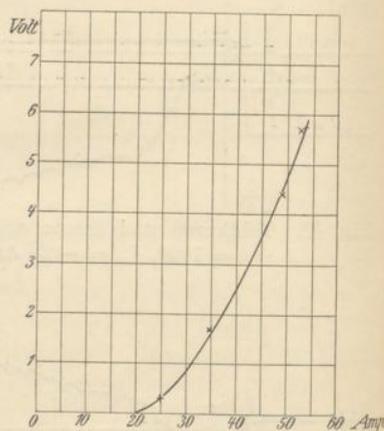


Fig. 45. Klemmenspannung in Abhängigkeit von der Erregung der Wendepole; Hauptpole entmagnetisiert.

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.

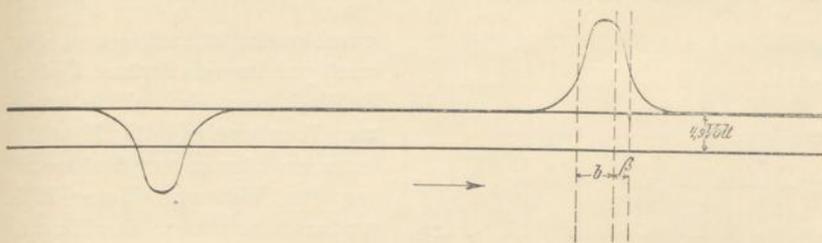


Fig. 46. Feld der Wendepole; Hauptpole entmagnetisiert; Bürsten abgehoben.
 $i_{ew} = 50 \text{ Amp.}, n = 1000.$

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.

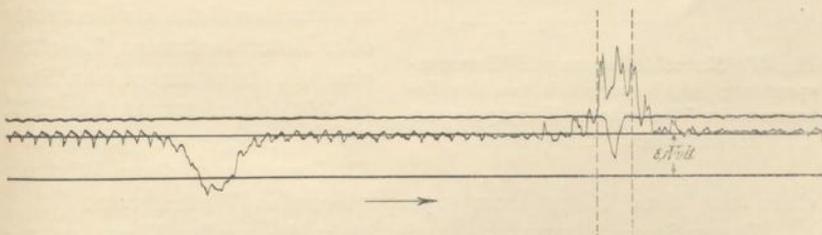


Fig. 47. Feldkurve und Strom einer Spule. Nur die negative Bürste liegt auf.
(Die Achsen der Kurven sind verschoben.) $i_{ew} = 50 \text{ Amp.}, n = 1000.$

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.

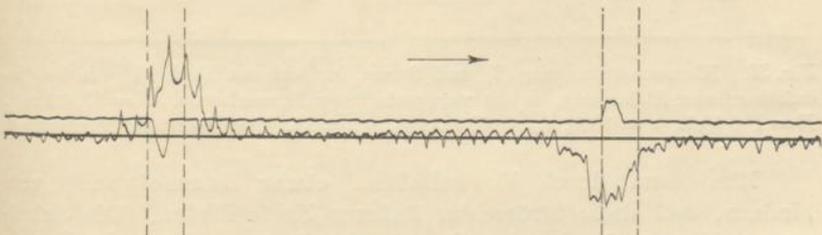


Fig. 48. Feldkurve und Strom einer Ankerspule. $i_{ew} = 50 \text{ Amp.}, n = 1000.$
Eine Bürste auf jeden Stift.

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

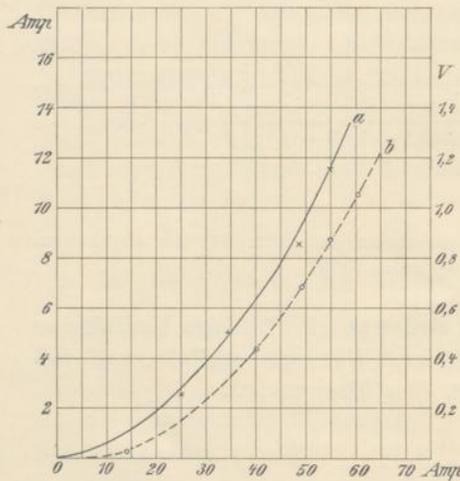


Fig. 49. Kurzschlußstrom und Klemmenspannung in Abhängigkeit von der Erregung der Wendepole. Hauptpole entmagnetisiert. Eine Bürste.

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).

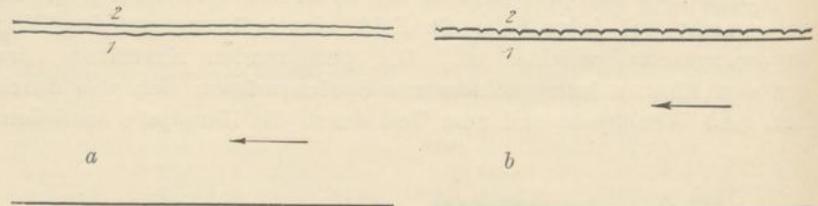


Fig. 50. Klemmenspannung (2) und Strom im äußeren Kreis (1). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. $J = 60,8$ Amp., $E = 100$ Volt, $n = 1000$, $i_{cr} = 60,8$ Amp., $w_p = 18$. Zwei Bürsten. Funkenfrei.

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.

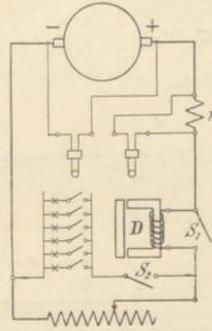


Fig. 51. Schaltung zur Änderung der Belastungsart bei konstantem Strom. r_1 Widerstand zur Aufnahme der Stromkurve. S_1, S_2 Schalter. D Drosselspule.

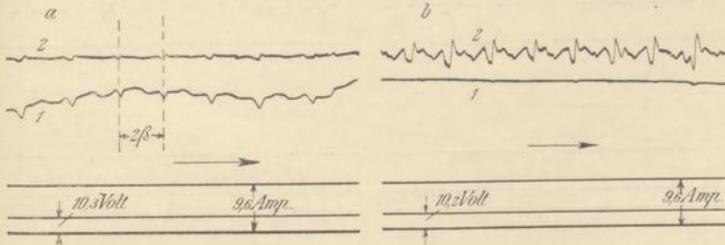


Fig. 52. Strom im äußeren Kreis (1) und Klemmenspannung (2). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. Maschine als Generator mit gegen die Drehrichtung verschobenen Bürsten. $J = 60,8$ Amp., $E = 112$ Volt, $n = 855$. Funken.

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.

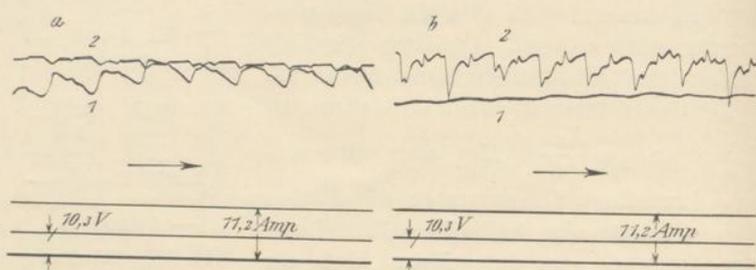


Fig. 53. Strom im äußeren Kreis (1) und Klemmenspannung (2). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. Maschine als Motor; Bürsten gegen die Drehrichtung verstellt. $J = 36$ Amp., $E = 105$ Volt, $n = 855$. Funken.

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.

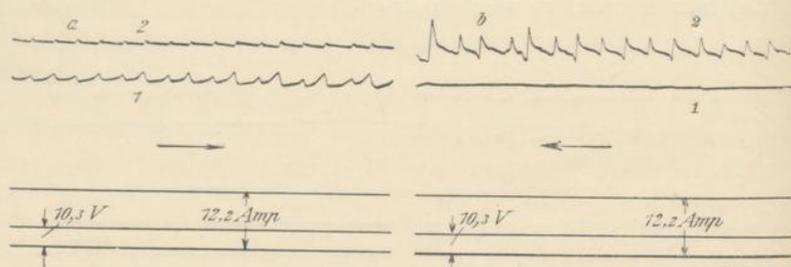


Fig. 54. Strom im äußeren Kreis (1) und Klemmenspannung (2). *a* bei induktionsfreier Belastung. *b* mit vorgeschalteter Drosselspule. Maschine als Motor laufend. Bürsten in der Drehrichtung verschoben. $J = 36$ Amp., $E = 106,5$ Volt, $n = 855$. Funken.

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

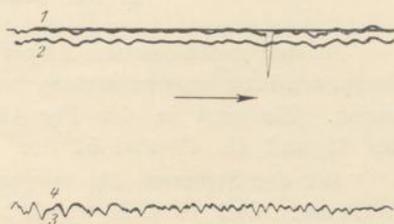


Fig. 55. Lamellenstrom (1) und durchlaufende Potentialkurve (2) für induktionsfreie Belastung. Desgl. (3) und (4) bei vorgeschalteter Drosselspule. *a* für die negative Bürste. *b* für die positive Bürste.

$J = 41$ 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.

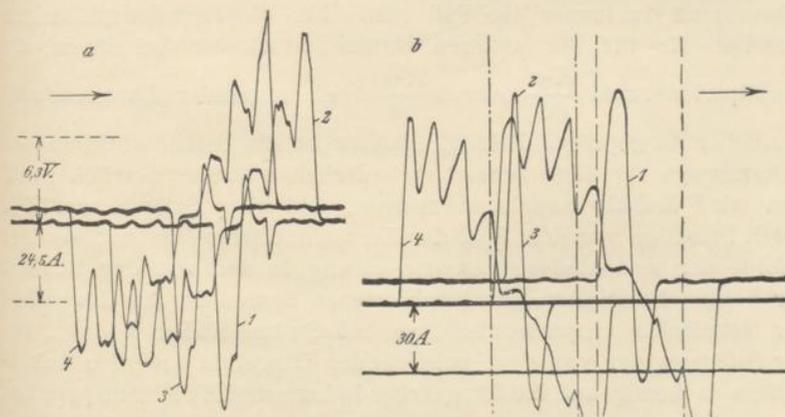


Fig. 56. Strom im äußeren Kreis (1 u. 3) und Klemmenspannung (2 u. 4) zu Fig. 55.

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.¹⁾ 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.

¹⁾ Arnold, „Die Gleichstrommaschine“, Bd. I, S. 166 ff.

Bei Nutenankern kann eine derartige Unsymmetrie nicht stattfinden, da die Windungen einer Spule den ganzen Anker umschlingen. Dafür ist die Kommutation unter den verschiedenen Bürsten nicht wie beim Ringanker unabhängig voneinander. Weicht

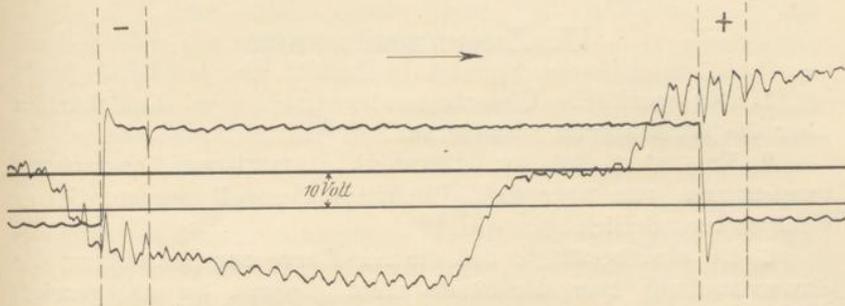


Fig. 57. Feldkurve und Strom einer Ankerspule bei induktionsfreier Belastung. $J = 41$ Amp., $E = 76$ Volt, $n = 1000$. Eine Bürste; $40,5^\circ$ in der Drehrichtung verschoben. Starke Funken.

also die Stromwendung an der Bürste einer Polarität von der geraden Linie etwa infolge schlechten Zustandes der Berührungsfläche ab, so kann auch die Kommutation an der andern Bürste nicht mehr geradlinig sein. Das kommutierende Feld müßte dann eine periodische Funktion der Zeit werden.

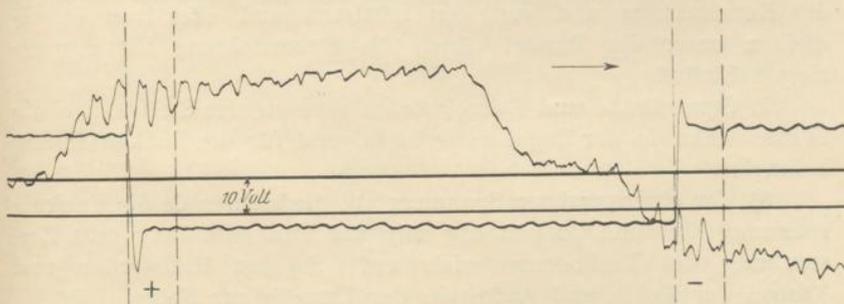


Fig. 58. Feldkurve und Strom einer Ankerspule bei vorgeschalteter Drossel- spule. Wie bei Fig. 55—57.

Beim Nutenanker hebt sich aber das Feld der inneren Ströme für eine Nute jedesmal auf, weil sie in übereinanderliegenden Stäben einer Nute entgegengesetzte Richtung haben. Die Selbst- induktion ist für sie also sehr klein, weil nur die Streuinduktion wirksam ist.

Die inneren Ströme sind also für die Möglichkeit einer funkenfreien Stromwendung von der größten Bedeutung, ohne sie wäre die geschlossene Wicklung ebenso schlecht wie die offenen Ankerwicklungen.

IX. Zusammenfassung.

1. Der spezifische Übergangswiderstand ist bei Kohlebürsten über die Bürstenbreite veränderlich.
2. Er ändert sich am stärksten bei mittleren Kommutator-temperaturen von über 45° . Unterhalb dieser Temperatur ist er weniger veränderlich.
3. Es wird bestätigt, daß die ΔP -Kurve zur Beurteilung der Stromverteilung über die Bürste nicht geeignet ist und gezeigt, daß sie infolge der Schwierigkeiten bei der Aufnahme auch nicht zur Beurteilung des Spannungsverlaufs zwischen Bürste und Kommutator ausreicht.
4. Eine genaue Kenntnis des Verlaufs der Stromwendung kann nur durch Aufnahme der Lamellenstromkurve und der durchlaufenden Potentialkurve erworben werden.
5. Das Auftreten von Funken wird allein von dem Vorhandensein einer entsprechenden Spannung bedingt.
6. Die Funkenspannung wird nur von dem Material der Kohlebürste bestimmt. Sie ist unabhängig von der Temperatur des Kommutators und von den mittleren und effektiven Stromdichten unter der Bürste. Auch die Stromrichtung hat nur geringen Einfluß.
7. Stromdichte und Energiedichte sind an den Stellen, wo die Bürste funkt, in der Regel sehr klein, und für die Funkenbildung belanglos.
- 8) Von einer gewissen Spannung ab, die kleiner als die Funkenspannung ist, und gleichzeitig mit der Funkenbildung tritt Zerstäubung des Kathodenmaterials auf. Sie hat Mattwerden und Färben der Kohle und Anfressen der Lamelle zur Folge.
9. Die wirksame Bürstenbreite wird infolgedessen kleiner und die Zeit der Stromwendung kürzer.
10. Für die Funkengrenze ist der Verlauf der Potentialkurve (Feldkurve) maßgebend. Bei Unterkommutation hat auch die Größe und Form des Feldes der Kurzschlußströme erheblichen Einfluß.
11. Die Kurzschlußströme erzeugen ein pulsierendes Längsfeld, das bei schlechter Kommutierung bedeutende Werte annehmen kann. Infolge der Bewegung des Ankers in dem pulsierenden