

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

III. Meßanordnung

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

Die Polschuhe sind abgeschrägt.

Idealer Polbogen $\alpha_i \cong 0,7$.

Wendepole:

Querschnitt 20×160 mm,

Polschuh 35×220 mm,

Windungszahl pro Pol $w_w = 36$.

Die Maschine lief als fremderregter Nebenschlußgenerator.

III. Meßanordnung.

1. Schaltungsschema.

Im Grunde genommen ist die benützte Schaltung die gleiche wie die bei der Arbeit von Arnold.¹⁾ Diese war aber mit Rücksicht auf die Aufnahme der Kurven mit dem Kontaktgeber aufgebaut, während bei der vorliegenden Arbeit ausschließlich der Oszillograph benutzt wurde. Dieses wesentlich anders geartete Meßinstrument machte wieder seinem Charakter entsprechend einen anderen Aufbau der Versuchseinrichtungen nötig, um so mehr als nicht nur eine qualitative Würdigung der zu erhaltenden Oszillogramme, sondern auch quantitative Ausmessung beabsichtigt war. Der Gebrauch der Oszillographen zu solchen Zwecken ist nicht neu, aber doch ziemlich selten. Man wird allerdings auf eine so große Genauigkeit, wie sie direkt zeigende Instrumente besitzen, verzichten müssen, doch ist die erreichbare Genauigkeit immerhin befriedigend und ausreichend. Es wurde ein Oszillograph von Duddell benutzt, dessen schwingendes System eine Eigenschwingungszahl von etwa 10 000 Perioden in der Sekunde hat. Die Aufnahmen wurden auf besonders für solche Zwecke angefertigtes Bromsilberpapier gemacht, das auf eine rotierende Trommel gespannt wurde. Ungenauigkeiten durch Verziehen des Papiers beim Entwickeln und Wässern traten nicht auf. Der Stromverbrauch des Oszillographen ist höchstens 0,08 Amp. für vollen Ausschlag, dabei sind Selbstinduktionen und Kapazität sehr gering.

Den Nullpunkt hält das Instrument recht gut, doch sind die Ausschläge etwas von der Temperatur des zur Dämpfung benutzten Öles abhängig. Da sich diese nicht unter allen Umständen genau gleich halten läßt, so schien es wünschenswert, jedes einzelne Oszillo-

¹⁾ Arbeiten aus dem elektrotechnischen Institut Karlsruhe, 1908—1909, S. 4 ff.

gramm für sich zu eichen. Dann konnte man auch mit Hilfe der Vorschaltwiderstände vor jeder Meßschleife (Strip) die jeweilig größtmöglichen Ausschläge einstellen, was von Vorteil für die Genauigkeit der Messungen ist.

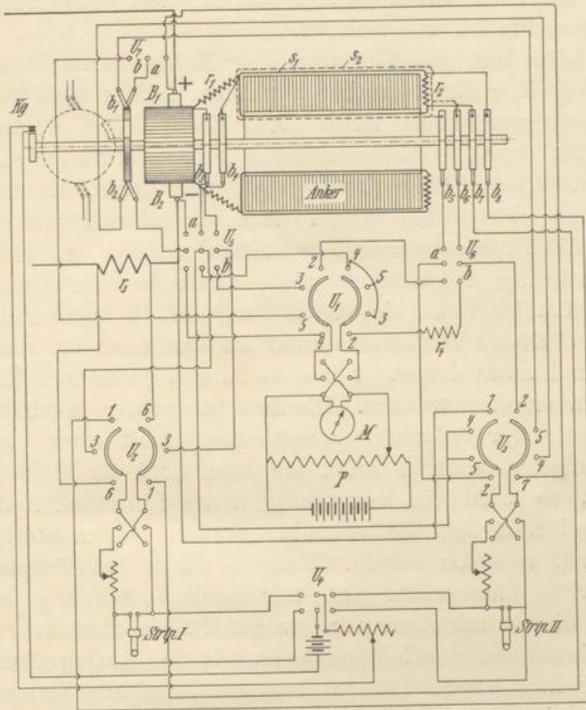


Fig. 2. Meßanordnung zur Untersuchung der Kommutation mit dem Oszillographen.

Mit der Meßanordnung Fig. 2 konnten die Momentanwerte der folgenden Größen in ihrer Abhängigkeit von der Zeit aufgenommen werden:

1. der Strom einer Spule.
2. die Feldkurve.
3. der Strom, der einer Lamelle zufließt, i_L (Lamellenstromkurve).
4. und 5. Spannung zwischen dieser Lamelle und der Bürste, sowohl der positiven als der negativen (ΔP_t -Kurve).
6. Strom im äußeren Kreis.
7. Spannung zwischen den Bürsten (Klemmenspannung).

Weiter konnten durch eine neben der Bürste B_1 angebrachte, hier nicht gezeichnete Prüfbürste, die mit einer Mikrometerschraube verschiebbar war, die Momentanwerte der Übergangsspannung

zwischen Bürste und Kommutator gemessen werden; durch Umschalten auf ein geeignetes Voltmeter auch der Mittel- oder Effektivwert dieser Größe.

Da die positive Bürste auch auf dem Kommutator ein anderes Verhalten zeigt wie die negative, war es nötig, beide Bürsten möglichst gleichzeitig zu untersuchen.

Man hätte nun das Verhalten der Kohle durch Wechseln der Polarität an einer Bürste studieren können, indem man die Polarität der Maschine umgekehrt hätte. Auf diese Weise kommen dann keine Fehler durch etwa verschieden großen Auflagedruck in die Messungen. Dieser Weg erwies sich aber bald als ungangbar. Hat nämlich eine Kohle längere Zeit die eine Polarität gehabt, ohne daß die Funkengrenze überschritten worden ist, so nimmt sie nach Umkehrung des Stromes nicht sofort das Verhalten an, das sie zeigen müßte, wenn sie von Anfang an die neue Polarität gezeigt hätte. Dieses Verhalten nimmt sie erst nach oft recht langer Zeit an, und zwar dauert es um so länger, je höhere Übergangsspannungen erreicht werden. Die Zeit ist auch, je nach dem Sinne des Wechsels der Polarität, verschieden. Sind aber erst einmal Funken aufgetreten, und seien sie auch noch so klein und etwa unsichtbar, so wird ein vollständig neues Einschleifen der Kohle nötig, wobei natürlich die erstrebte größere Genauigkeit völlig in ihr Gegenteil verkehrt würde. Deshalb wurde jede Bürste nur mit einer Polarität untersucht, und nur nach Beendigung einer Versuchsreihe die Stromrichtung in einigen Fällen umgekehrt.

Dem besagten, durch Verschiedenheit des Auflagedruckes verursachten Fehler wurde dadurch begegnet, daß die Federspannung möglichst gleich gemacht und der spez. Auflagedruck höher gewählt wurde als nötig und üblich ist. Nach Band II zweite Auflage der „Gleichstrommaschine“ S. 343, Fig. 306 sieht man, daß von einem gewissen Druck von rund 120 g/cm^2 an der Auflagedruck praktisch keinen Einfluß mehr hat. Bei allen Versuchen betrug hier der spezifische Auflagedruck rund 200 g/cm^2 . Auf diese Weise wurden auch die Erschütterungen möglichst hintangehalten.

Es ist eine Spule s_1 aufgeschnitten und ein Widerstand $r_2 = 0,0074 \Omega$ eingefügt, von dessen Ende Verbindungen zu den Schleifringen mit den Bürsten b_7 und b_8 gehen. Damit hinsichtlich des Ankerwiderstandes die Symmetrie gewahrt bleibt, ist in die um 180° verschobene gegenüberliegende Spule ein Widerstand gleicher Größe eingeschaltet worden.

Der Widerstand der Verbindungen der Wicklung mit den Lamellen war so groß ($r_1 = 0,0114 \Omega$), daß der Spannungsabfall in ihnen zur Messung ausreichte. Alle Verbindungen der Lamellen

mit den Spulen waren gleich, so daß auch durch sie keine Unsymmetrien hervorgerufen wurden. Zwischen der Bürste b_3 und den Hauptbürsten B_1 oder B_2 konnte dann die jeweilige Spannung zwischen der betreffenden Lamelle und der Bürste gemessen werden. Wollte man direkt den Oszillographen zwischen die Bürsten b_3 und B_1 schalten und gleichzeitig zwischen b_3 und b_4 den Lamellenstrom aufnehmen, so würde sowohl zwischen b_4 und B_1 als auch zwischen den beiden Meßschleifen die volle Maschinenspannung auftreten. Da der Ausschlag des Oszillographen begrenzt ist, so würde man nur sehr geringe Ausschläge gerade da erhalten, wo der Verlauf der Kurven am meisten interessiert. Weiter verträgt das Instrument keine höhere Spannung als 50 Volt zwischen den Meßschleifen. Geht man höher, so wird bei dem außerordentlich kleinen Abstand, den das schwingende System des Oszillographen von den Polflächen hat, das isolierende Öl durchschlagen, was mit sofortiger Zerstörung der nur schwer ersetzbaren Meßschleifen verbunden ist. Deshalb wurden auf eine Hartgummischeibe, die mit einem kurzen Kontaktsegment versehen war, zwei Doppelbürsten b_1 und b_2 , deren Einzelteile sorgfältig isoliert waren, aufgelegt und in die Verbindung mit dem Oszillographen eingefügt. Dann können zwischen den Meßschleifen nur geringe Spannungen vorkommen und man erhält die Kurve der Spannung der Lamelle gegen die Bürste, während ihres Durchgangs unter ihr hindurch, die in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen kurz durchlaufende Potentialkurve genannt werde, in großem Maßstabe.

Dabei ist zu beachten, daß der auf- und absteigende Ast der durchlaufenden Potentialkurve, z. B. Fig. 12, 13, 24, 26 usw., dem Aus- und Einschalten durch das Segment entspricht, also für die Kurve selbst keine Bedeutung hat.

Die Feldkurven wurden wie gewöhnlich mit einer um die betreffende Ankerspule gelegten Prüfspule s_2 , aus 20 Windungen dünnen Drahtes bestehend, aufgenommen. Die Ankerspule wurde von ihr ganz bedeckt, so daß der Koeffizient der gegenseitigen Induktion gleich 1 gesetzt werden darf.

Die von den Prüfbürsten zum Oszillographen führenden Leitungen sind an zwei Umschaltern U_3 und U_2 zusammengefaßt, und zwar so, daß mit der Meßschleife II alle höheren Spannungen gemessen werden, bei deren Aufnahme ein Vorschaltwiderstand gebraucht wird, während an der anderen (Meßschleife I) alle kleinen Spannungen liegen. Die den Umschaltern U_1 , U_2 , U_3 beige-schriebenen Zahlen entsprechen der Numerierung der Kurven in diesem Abschnitt.

Bei der Aufnahme von Kurven müssen sich die Schalter U_5 , U_6 , U_7 in den Stellungen a befinden.

Der auf der Maschinenwelle sitzende Kontaktgeber (Kg) dient wieder dazu, einen bestimmten Anfangspunkt für die Oszillogramme festzulegen. Es ist wichtig, ihn, wie gezeichnet, hinter den Vorschaltwiderstand des Instrumentes anzulegen, damit er bei dessen Veränderung stets gleichen Ausschlag bewirkt und keine Ströme aus der Meßanordnung sich durch ihn schließen können.

Er kann mit dem Umschalter U_4 an die eine oder andere Meßschleife gelegt werden. Zum Betrieb genügen 2 bis 4 Volt.

2. Eichung der Oszillogramme.

Soll eine Klemmenspannung gemessen werden, so hat man, wenn

P die zu messende Spannung,
 E die Eichspannung,
 α der Ausschlag, den P ergibt,
 α' der Ausschlag, den E ergibt,

$$P = \frac{\alpha}{\alpha'} \cdot E.$$

Mißt man den Strom in dem bekannten Widerstand r_1 , so ist

$$i_L = \frac{\alpha}{\alpha'} \cdot \frac{E}{r_1}.$$

Bei der Eichung der Feldkurve, wo es sich um die Messung einer induzierten EMK handelt, ist der Widerstand der Spule selbst nicht zu vernachlässigen. Man darf die Eichspannung nicht an die Bürsten b_5 und b_6 legen, sondern muß sie in den Kreis einfügen. Um nicht gezwungen zu sein, bei jeder Eichung die Maschine still zu setzen, wurde die Eichschaltung so getroffen, daß der Widerstand r_4 anstelle der Spule tritt. Er ist gleich dem Spulenwiderstand bei einer mittleren Temperatur. Die durch sie bewirkten Schwankungen, die bei r_4 nicht berücksichtigt werden, sind belanglos gegen den Vorschaltwiderstand des Oszillographen.

Die in der Prüfspule induzierte EMK ist

$$e = 2 \cdot l \cdot w \cdot v \cdot B \cdot 10^{-8} \text{ Volt,}$$

dabei ist

l Ankerlänge in cm,
 v Umfangsgeschwindigkeit in cm/Sek.,
 B Induktion,
 w = Windungszahl der Prüfspule,

$$B = C \cdot \frac{\alpha}{\alpha'} \cdot E,$$

darin ist

$$C = \frac{60 \cdot 10^8}{2\pi \cdot w \cdot l \cdot D \cdot n}$$

Die ganze Schaltung ist so angelegt, daß man alle Eichungen vornehmen kann, ohne daß Störungen durch Isolationsfehler der Batterie und der Maschine vorkommen können, da sie während der Eichung ganz voneinander getrennt sind.

Soll ein Oszillogramm geeicht werden, so müssen die Umschalter U_5, U_6, U_7 in die Stellung b gebracht werden. Dann wird der Schalter U_1 der Nummer der Kurve entsprechend eingestellt und eine mit dem Millivoltmeter zu messende Eichspannung an dem Spannungsteiler abgegriffen. Unter der Wirkung des nun fließenden Stromes erfährt der Spiegel des Oszillographen einen konstanten Ausschlag und zeichnet eine gerade Linie auf das Papier.

3. Einfluß der in die Spulen eingeschalteten Meßwiderstände.

Gegen die im vorigen beschriebene Meßanordnung könnte man den prinzipiellen Einwand machen, daß man den Strom einer Spule, den man aufnimmt, durch den Meßwiderstand geändert hat. Für die Aufnahme mit dem Oszillographen ist es ja erforderlich, einen ziemlich großen Widerstand einzubauen, damit an seinen Enden auch bei nicht allzu großen Strömen eine Spannungsdifferenz entsteht, die groß genug ist, im Instrument einen genügenden Ausschlag hervorzubringen.

In unserem Falle betrug dieser Widerstand $r_3 = 0,0074 \Omega$ gegen $0,00647 \Omega$ einer Spule. Man sollte also erwarten, daß eine derartige Anordnung, und sei sie auch wie hier in bezug auf die Widerstände vollständig symmetrisch, eine Änderung des Kurzschlußstromes in diesen Spulen bedingt.

Hier konnte einmal untersucht werden, inwieweit das der Fall ist. Vorübergehend wurde eine Lamellenverbindung, die zu

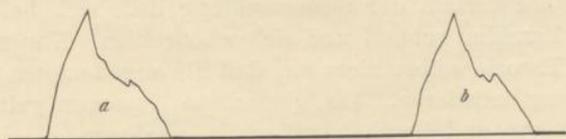


Fig. 3. *a* Lamellenstromkurve der Spule mit eingebauten Meßwiderstand.
b Lamellenstromkurve einer gewöhnlichen Ankerspule.

einer Spule ohne eingebauten Widerstand führte, an die hinteren Schleifringe gelegt und beide Lamellenstromkurven aufgenommen. Wenn der Kommutator in gutem Zustand war, wie es ja die Bedingung dieser Messungen überhaupt ist, konnten nur ganz geringe

Unterschiede zwischen den beiden Kurven bemerkt werden. Eine solche Kurve zeigt Fig. 3. Auch später wurde in den Kurven der Klemmenspannung an den Hauptbürsten oder einer vorgeschalteten Selbstinduktion keine Störung der übrigen Kurven durch diese Widerstände bemerkt. Die eingeschlagene Untersuchungsmethode liefert also einwandfreie Resultate. Gleichzeitig sieht man, welche überragende Bedeutung der Zustand der Bürstenberührungsfläche für das vorliegende Problem hat.

IV. Zusammenhang der für den Verlauf der Kommutation charakteristischen Kurven.

1. Zusammenhang der experimentell aufnehmbaren Kurven.

Es ist bemerkenswert, daß auf Grund der bisher aufgestellten Theorien sich alle mit der beschriebenen Meßschaltung aufnehmbaren Kurven auf eine einzige zurückführen lassen. Diese Kurve ist das Kommutationsdiagramm (ΔP -Kurve), d. h. die Kurve der mittleren örtlichen Übergangsspannungen.

Es ist nämlich die Kurzschlußstromkurve, die Integralkurve der Kurve der mittleren örtlichen Stromdichten s_{ux} .¹⁾ Diese letztere Kurve ist aber der Kurve der mittleren örtlichen Bürstenpotentiale proportional, so daß die ΔP -Kurve, da sie ohne allzu große Einrichtungen experimentell erhalten werden kann, anstelle der s_{ux} -Kurve tritt. Dann wiederum ist die Feldkurve in der Polücke die Differentialkurve der Potentialkurve. Das alles gilt für den Fall, daß die Bürste eine größere Zahl von Lamellen bedeckt. Es wäre von der größten Wichtigkeit, wenn sich diese Zusammenhänge experimentell bestätigen ließen, denn dann wären alle die teuren und nur selten herstellbaren Versuchseinrichtungen nicht nötig und der Verlauf der Stromwendung ließe sich bei jeder ausgeführten Maschine schnell und sicher beurteilen. Nun nimmt allerdings die Theorie selbst nicht an, daß die angedeuteten Zusammenhänge streng existieren. Die gemachten Aussagen gelten nur für die Mittelwerte und beruhen auf zwei Annahmen.

Einmal, daß der spezifische Übergangswiderstand über die ganze Bürstenbreite konstant und unabhängig von der Stromdichte und davon, daß der Kraftfluß sämtlicher kurzgeschlossenen Spulen außerhalb der Kommutierungszone konstant sei.²⁾

¹⁾ s. Arnold, Die Gleichstrommaschine, Bd. I, S. 445.

²⁾ Rüdénberg, Sammlung elektrischer Vorträge, 1907, S. 18.