

# **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**

IV. Zusammenhang der für den Verlauf der Kommutation charakteristischen Kurven

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

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 ( $\Delta P$ -Kurve), d. h. die Kurve der mittleren örtlichen Übergangsspannungen.

Es ist nämlich die Kurzschlußstromkurve, die Integralkurve der Kurve der mittleren örtlichen Stromdichten  $s_{ux}$ .<sup>1)</sup> Diese letztere Kurve ist aber der Kurve der mittleren örtlichen Bürstenpotentiale proportional, so daß die  $\Delta P$ -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.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> s. Arnold, Die Gleichstrommaschine, Bd. I, S. 445.

<sup>2)</sup> Rüdénberg, Sammlung elektrischer Vorträge, 1907, S. 18.

Die erste Annahme ist für den Fall der Verwendung von Metallbürsten experimentell bestätigt worden. Sie gilt, wie Arnold gezeigt hat, nicht mehr für Kohlebürsten. Die zweite Annahme ist nur für geradlinige Stromwendung vieler Spulen annähernd richtig und trifft schon für kleine Abweichungen des Kurzschlußstromes davon nicht mehr zu.

## 2. Ableitung der nicht experimentell aufnehmbaren Kurven.

Nicht alle Kurven, die zur Beurteilung der Vorgänge bei der Stromwendung nötig und nützlich sind, lassen sich direkt experimentell aufnehmen. Aus der Lamellenstromkurve ( $i_L$ -Kurve) und der durchlaufenden Potentialkurve ( $\Delta P_t$ -Kurve) lassen sie sich aber ausnahmslos streng ableiten.

Zunächst soll die Ableitung der Kurve der mittleren örtlichen Stromdichten ( $s_{ux}$ -Kurve), deren Bedeutung aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, abgeleitet werden. Das kann einmal geschehen, wie es in der Arbeit von Arnold<sup>1)</sup> gezeigt ist, doch läßt sich auch der Umweg über die momentanen örtlichen Stromdichten vermeiden. Die Ableitung setzt voraus, daß der Strom sich über den berührten Teil einer Lamelle gleichmäßig verteilt, und daß alle Lamellen sich ganz gleich gegen die Bürsten verhalten. Aus der Lamellenstromkurve ( $i_L$ -Kurve) und der Kurve der berührten Lamellenfläche, von denen die letztere beispielsweise in Fig. 4 (vgl. dazu Fig. 18 und 19) gezeichnet ist, läßt sich durch Division der entsprechenden Ordinaten die Kurve der durchlaufenden momentanen Stromdichten ( $s_{ut}$ ) berechnen.

Teilt man nun z. B. eine Lamellenteilung, oder genauer gesagt, die Zeit des Fortschreitens um eine Lamellenteilung, und die Bürstenbreite in acht Teile ein, so wird man eine genügend große Genauigkeit erzielen. Die momentanen Stromdichten unter der auflaufenden Kante sind dann die Ordinaten 0 bis 8 der  $s_{ut}$ -

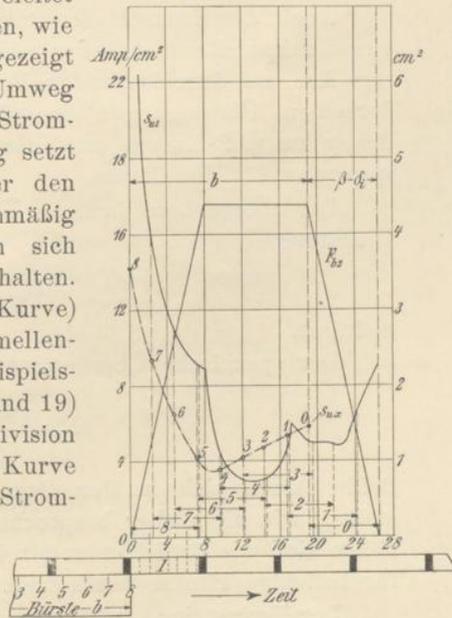


Fig. 4. Ableitung der Kurve der mittleren örtlichen Stromdichte ( $s_{u,x}$ ) aus der durchlaufenden Stromdichtenkurve ( $s_{u,t}$ ). Kurve der von der Bürste bedeckten Fläche einer Lamelle  $F_{b,L}$ .

<sup>1)</sup> l. c. S. 18 ff.

Kurve. Berührt der Punkt 7 der Bürste die Lamelle, so ist die in diesem Augenblick zwischen beiden vorhandene Stromdichte durch die Ordinaten der  $s_{ut}$ -Kurve gegeben, die die Bürstenkante dann erreicht hat. Diese Ordinate ist um  $\frac{b}{8}$  Teile vom Anfangspunkt entfernt. Die übrigen gesuchten Stromdichten für diesen Punkt liegen dann zwischen den Ordinaten  $\frac{b}{8}$  und  $\frac{b}{8} + (\beta - \delta_i)$ . Ebenso hat man an den anderen Punkten zu verfahren, so daß man schließlich acht Abschnitte der  $s_{ut}$ -Kurve von der Breite  $\beta - \delta_i$  erhält. Der Mittelwert, den man durch Planimetrieren dieser Abschnitte erhält, ist die gesuchte mittlere örtliche Stromdichte  $s_{ux}$ , die dann über den entsprechenden Teilen der Bürste aufgetragen wird.

Die effektive Stromdichte unter der Bürste  $s_{u\text{eff}}$  und den Formfaktor der Stromverteilung  $f_u$  erhält man dann in bekannter Weise aus dieser Kurve.<sup>1)</sup>

Auch die Kurzschlußstromkurve läßt sich in bekannter Weise aus der Lamellenstromkurve ableiten.

Aus der durchlaufenden Potentialkurve erhält man auf Grund derselben Überlegungen in gleicher Weise das Kommutationsdiagramm ( $\Delta P$ -Kurve) und die mittlere und effektive Übergangsspannung für die Bürste.

Der momentane örtliche Übergangswiderstand ist durch die Gleichung

$$R_{wt} = \frac{\Delta P_t}{i_L}$$

definiert.

Der spezifische Übergangswiderstand ist

$$R_k = \frac{\Delta P_t}{s_{ut}} \Omega/\text{cm}^2.$$

Beide lassen sich in derselben Abhängigkeit von der Zeit darstellen, wie die bisher besprochenen Größen, und aus den Kurven ließen sich die örtlichen und zeitlichen Momentan- und Mittelwerte für beliebige Punkte bestimmen.

Der Verlust in der Übergangsschicht während der Zeit, in der eine Lamelle mit der Bürste in Berührung steht, ist

$$W_L = i_L \cdot \Delta P_t.$$

Die Werte von  $W_L$  in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen, ergeben die durchlaufende Verlustkurve. Aus ihr lassen sich in

<sup>1)</sup> Arnold, Die Gleichstrommaschine, 2. Aufl., Bd. I, S. 444.

der in Kap. VII näher zu behandelnden Weise die gesamten Übergangsverluste berechnen.

Ebenso wie aus der Lamellenstromkurve die Stromdichtekurve, erhält man aus der Verlustkurve die Energiedichtenkurve

$$E_L = \frac{W_L}{F_{bL}}$$

und aus ihr wieder die entsprechenden örtlichen und zeitlichen Momentan- und Mittelwerte an beliebigen Bürstenpunkten.

Es lassen sich also ableiten:

1. aus der Lamellenstromkurve ( $i_L$ -Kurve):

- a) die momentanen örtlichen Stromdichten  $s_{ut}$ ,
- b) die zeitliche Variation der Stromdichten an verschiedenen Bürstenpunkten,
- c) die Kurve der mittleren örtlichen Stromdichten ( $s_{ux}$ -Kurve),
- d) die effektive Stromdichte unter der Bürste  $s_{ueff}$ ,
- e) der Formfaktor der Stromverteilung  $f_u$ ,
- f) die Kurzschlußstromkurve;

2. aus der durchlaufenden Potentialkurve ( $\Delta P_t$ -Kurve)

- a) die momentanen örtlichen Übergangsspannungen  $\Delta P_t$ ,
- b) die zeitliche Variation der Übergangsspannung an verschiedenen Bürstenpunkten,
- c) die mittlere und effektive Übergangsspannung für die ganze Bürste,
- d) das Kommutationsdiagramm ( $\Delta P$ -Kurve).

Aus 1. und 2.

- a) die durchlaufende Verlustkurve ( $W_L$ -Kurve),
- b) die durchlaufende Energiedichtenkurve ( $E_L$ -Kurve),
- c) die momentanen örtlichen Verluste- und Energiedichten,
- d) die zeitliche Variation der Verluste- und Energiedichten für verschiedene Bürstenpunkte,
- e) der gesamte Verlust unter den Bürsten  $W_u$ ,
- f) der spezifische Übergangswiderstand  $R_n$ .

Es ist demnach klar, daß die beiden Kurven, Lamellenstromkurve und durchlaufende Potentialkurve, die wichtigsten sind, da sie alle anderen bis auf die Feldkurve enthalten.