

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Übergangsspannung von Kohlebürsten in Abhängigkeit von der
Temperatur

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

Die Übergangsspannung von Kohlebürsten in Abhängigkeit von der Temperatur.

Von E. Arnold und E. Pfiffner.¹⁾

Beim Stromübergang entsteht zwischen Bürste und Kommutator eine Potentialdifferenz ΔP , welche von nachfolgenden Faktoren beeinflusst wird, nämlich von

- dem Material der Bürste und des Kommutators bzw. des Schleifringes,
- der Stromdichte,
- der Stromrichtung,
- der Temperatur an der Übergangsstelle,
- der chemischen Beschaffenheit der Berührungsschichten,
- dem Auflagedruck,
- der Umfangsgeschwindigkeit,
- der Stromart (Gleich-, Wechsel- oder Wellenstrom.)²⁾

Die Versuche, die vor den nachfolgend beschriebenen im Laboratorium des Elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule Karlsruhe ausgeführt wurden, beziehen sich auf die Abhängigkeit der Übergangsspannung ΔP bzw. des Übergangswiderstandes von der Stromdichte, dem Auflagedruck, der Umfangsgeschwindigkeit und der Stromart.³⁾

Die Untersuchung des Einflusses der Temperatur konnte bis anhin nicht durchgeführt werden, weil die Herstellung verschiedener Temperaturen und deren Messung an normalen Schleifringen und Kommutatoren, die bei den ausgeführten Versuchen zur Verwendung kamen, auf Schwierigkeiten stößt.

¹⁾ Die nachfolgende Untersuchung, die in der ETZ 1907, Heft 12 veröffentlicht wurde, wird den andern hier veröffentlichten Arbeiten angereicht, weil bei den experimentellen Untersuchungen der Kommutation mehrmals auf die Abhängigkeit der Übergangsspannung von der Temperatur hingewiesen ist.

²⁾ Vgl. hierüber E. Arnold, Die Gleichstrommaschine, Bd. I, 2. Aufl., Berlin 1906.

³⁾ Ebenda, S. 333 und 353.

Um zu einer bequemen Versuchsanordnung zu gelangen, wurde von E. Arnold der in Fig. 1 dargestellte Apparat entworfen, der durch einfache Messungen die gesuchten Größen zu ermitteln gestattet.

Die Lauffläche für die Bürsten bildet ein Bronzeschleifring *R* von 100 mm Breite und 320 mm Durchmesser, drehbar gelagert in zwei Ringschmierlagern. Unter der Lauffläche liegen zwei Nickelspiralen *A*, die zur Heizung des Ringes dienen. Die Verlängerung der Nabe des Versuchsringes trägt drei kleinere Schleifringe *E*, *F*, *G*.

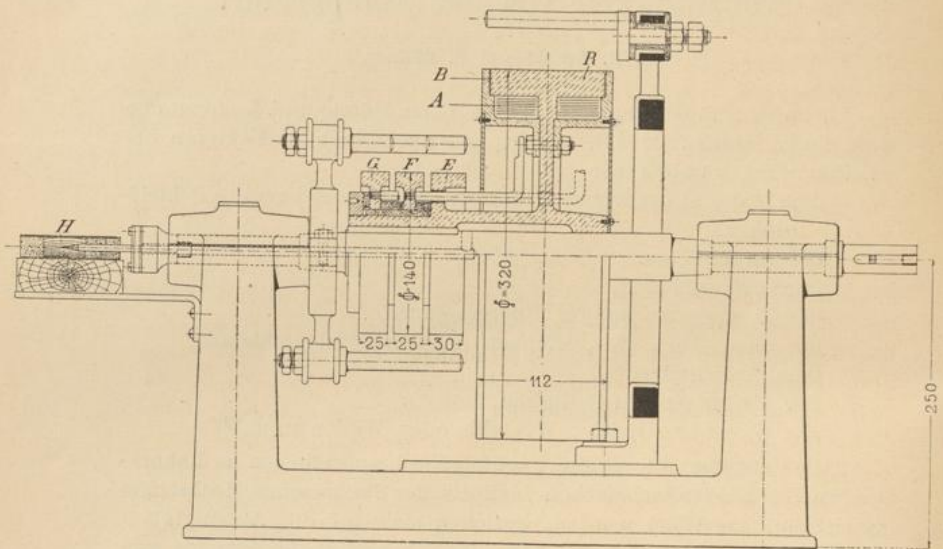


Fig. 1. Anordnung zur Messung der Übergangsspannung an Kohlebürsten.

E ist mit dem Haupttring direkt verbunden und dient zur Zuführung des Stromes der zu untersuchenden Bürste, *F*, *G* zur Zuführung des Heizstromes. Die Heizspiralen (Nickelinband $0,3 \times 23$ mm, Isolation Asbest) können parallel oder hintereinander geschaltet werden. Der Widerstand beträgt bei Hintereinanderschaltung 1,7 Ohm. Je nach der Zimmertemperatur genügt ein Strom von etwa 15 bis 18 Amp., um eine Temperatur von 80 bis 100° C zu erreichen.

Zur Temperaturmessung ist eine Prüfspule *B* aus isoliertem 0,2 mm-Kupferdraht zu beiden Seiten des Versuchsringes eingebettet. Die Enden dieser Spulen führen einerseits durch Körperschluß, anderseits durch die hohle Welle je zu einer an jedem Wellenende

angebrachten Kontaktspitze. Diese Spitze bildet die eine Elektrode eines Quecksilberkontaktes *H*, dessen andere als festangebrachte Röhre das Quecksilber aufnimmt. Die Kontaktspitze besteht aus Stahl mit aufgesetzter Kupferspitze, die sich mit dem Quecksilber amalgamiert und einen sehr guten und beständigen Kontakt gewährleistet. Dieser Kontakt vermeidet die Unannehmlichkeiten der Schleifkontakte und hat sich im Verlaufe der Versuche vorzüglich bewährt. Ein nennenswerter Übergangswiderstand konnte weder im ruhenden noch im bewegten Zustande gemessen werden; er ist auf alle Fälle gegenüber dem Prüfspulenwiderstand zu vernachlässigen.

Da die Prüfspule aus konstruktiven Gründen nicht direkt an der Stelle angebracht werden konnte, an welcher die Temperatur zu messen ist, nämlich auf der Lauffläche des Ringes, so mußte sie geeicht werden. Die direkte Messung der Ringtemperatur mit aufgelegtem Thermometer erwies sich als unrichtig, sie ergab die Temperatur bei höheren Werten bis 15° zu niedrig. Um zu einer einwandfreien Messung zu gelangen, wurde eine aus einer gewissen Anzahl Windungen von isoliertem 0,2 mm-Kupferdraht bestehende Prüfspule direkt auf die Lauffläche aufgewickelt, dann wieder abgenommen und im Ölbad für Temperaturen zwischen 13 und 126° C geeicht. Hierauf wurde die Spule wieder aufgelegt, und zwar derart, daß zwischen den einzelnen Windungen der Spule freier Raum übrig blieb, um die Abkühlungsverhältnisse möglichst unverändert zu erhalten. Ein Vergleich der mit beiden Prüfspulen gemessenen Temperaturen ergab, daß die Abkühlungsverhältnisse der Ringoberfläche und der seitwärts eingebetteten Prüfspule dieselben waren. Der Temperaturkoeffizient wurde aus der Eichung zu 0,004 gefunden und der Widerstand der Prüfspule bei 10° C war 100 Ohm.

Durchführung der Versuche.

Die Ringgeschwindigkeit betrug bei allen Versuchen 7,4 m/sec, der Auflagedruck 160 g/qcm. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, wurde jede Bürste während mehrerer Tage einlaufen gelassen.

Die früheren Versuche zeigen eine Veränderlichkeit des Übergangswiderstandes mit der Stromdichte. Da mit zunehmender Stromdichte die Übergangsverluste zunehmen und somit auch die Temperatur der Lauffläche ansteigen muß, so ist ein wesentlicher Teil der Veränderlichkeit des Übergangswiderstandes auf den Einfluß der Temperatur zurückzuführen. Um die Temperatur als einzige Variable zu erhalten, wurden deshalb die Versuchsreihen zunächst mit konstanter Stromdichte aufgenommen.

Jede einzelne Versuchskurve ist das Ergebnis eines eintägigen Versuches. Die Ablesungen wurden in Abständen von 30 Minuten und darüber vorgenommen, so daß die gemessenen Spannungen als stationäre anzusehen sind. Ganz konstante Werte sind nicht zu erhalten, sondern die Spannung schwankt zwischen einem oberen und unteren Wert, von welchen das Mittel genommen wurde.

Von hervorragendem Interesse ist das verschiedene Verhalten der Bürsten bei verschiedener Stromrichtung.¹⁾ Die positive Bürste (Stromrichtung Metallkohle) zeigt durchwegs eine größere Stabilität bei zunehmender Temperatur. Bei niedrigen Temperaturen ist die Übergangsspannung bei den negativen Bürsten (Stromrichtung Kohlemetall) in der Regel höher, bei hohen Temperaturen kleiner, so daß sich die Kurven der positiven und negativen Bürsten schneiden. Diese Tatsache erklärt auch die bezüglich der Polarität sich zum Teil widersprechenden Ergebnisse früherer Versuche. Sie gibt ferner eine Bestätigung der auf S. 341, „Die Gleichstrommaschine“, angeführten Beobachtung, daß mit zunehmender Belastung und Erwärmung der Maschine die negativen Bürsten zuerst feuern.

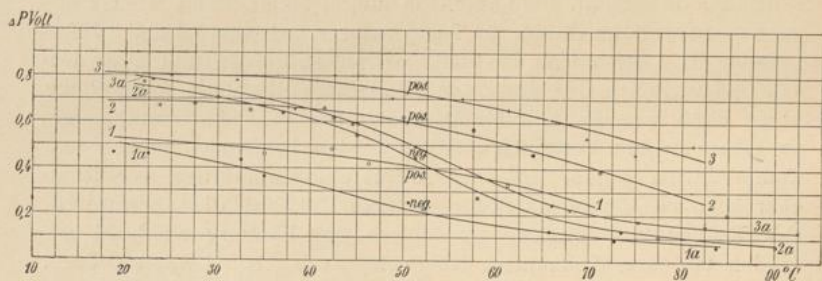


Fig. 2. Bürste: le Carbone X.

$$v = 7,4 \text{ m/sec} \quad F = 2,5 \text{ qcm} \quad g = 160 \text{ g/qcm}$$

1 = Positive Bürste	} 2,5 Amp./qcm	2 = Positive Bürste	} 5,0 Amp./qcm
1a = Negative "		2a = Negative "	
3 = Positive Bürste	} 10,0 Amp./qcm	3a = Negative "	

Fig. 2 zeigt die Übergangsspannung für eine „le Carbone“-Bürste, Marke X (weiche Kohlebürste), für 2,5, 5 und 10 Amp./qcm.²⁾ Diese Bürste zeigt deutlich das oben geschilderte Verhalten. Bei der mittleren Stromdichte von 5 Amp./qcm fällt die Übergangs-

¹⁾ Vgl. hierüber E. Arnold, Die Gleichstrommaschine, Bd. I, 2. Aufl., Berlin 1906, S. 341.

²⁾ Ebenda, Fig. 297.

spannung der negativen Bürste von 0,75 V bei 20° C auf etwa 0,08 V bei 80° C, die der positiven Bürste von 0,69 V bei 20° C auf etwa 0,2 V bei 80° C. Ähnliches Verhalten zeigt sich bei den übrigen Stromdichten.

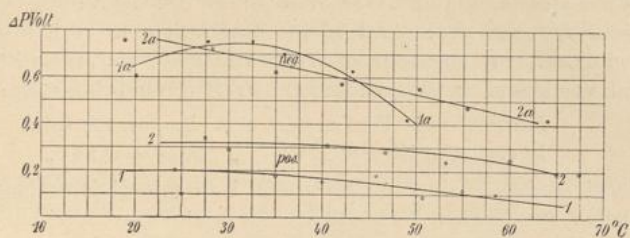


Fig. 3. Bürste: Morganite 2 (kleine Stromdichten).

$$v = 7,4 \text{ m/sec} \quad F = 2,4 \text{ qcm} \quad g = 160 \text{ g/qcm}$$

1 = Positive Bürste } 0,1 Amp./qcm 2 = Positive Bürste } 0,5 Amp./qcm
1a = Negative " } 2a = Negative " }

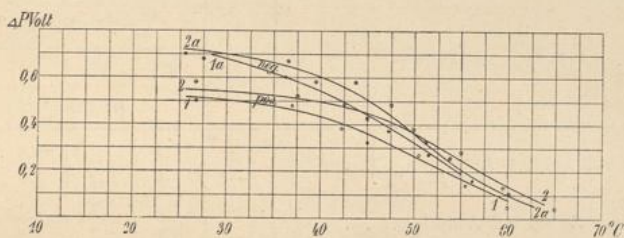


Fig. 4. Bürste: le Carbone Z (kleine Stromdichten).

$$v = 7,4 \text{ m/sec} \quad F = 2,7 \text{ qcm} \quad g = 160 \text{ g/qcm}$$

1 = Positive Bürste } 0,2 Amp./qcm. 2 = Positive Bürste } 0,5 Amp./qcm
1a = Negative " } 2a = Negative " }

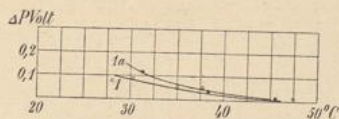


Fig. 5. Bürste: Bronskol.

$$v = 7,4 \text{ m/sec} \quad F = 2,2 \text{ qcm} \quad g = 160 \text{ g/qcm}$$

1 = Positive Bürste } 0,5 Amp./qcm
1a = Negative " }

Die Fig. 3, 4 und 5 zeigen das Verhalten der Bürsten „Morganite 2“, „le Carbone Z“ und „Bronskol“ bei kleinen Stromdichten von 0,5 bzw. 0,2 und 0,1 Amp./qcm.

Die Kenntnis der Übergangsspannung bei kleinen Stromdichten ist besonders wichtig für den Fall einer beschleunigten Kommu-

tierung, für den die Stromdichte an der ablaufenden Bürstenkante gleich Null erhalten werden kann.

In „Die Gleichstrommaschine“, Bd. I, Kap. 129, S. 507, ist zur Berechnung der zusätzlichen Stromdichte der spezifische Übergangswiderstand R_{WT} eingeführt, der am Ende des Kurzschlusses zur Zeit $t = T$ für verschwindend kleine Stromdichten vorhanden ist. Die ebenda, S. 577, angeführten Werte von R_{WT} , soweit sie Bürstenmaterial vorliegender Untersuchung betreffen, sind folgende:

Morganite 2 Höchstwert von $R_{WT} = 1,8$ Ohm
 le Carbone Z „ „ $R_{WT} = 0,25$ „

Vergleichsweise sind in Zahlentafel I die mit Gleichstrom direkt gemessenen spezifischen Widerstände für kleine Stromdichten in Abhängigkeit von der Temperatur zusammengestellt.

Zahlentafel I.

Spezifischer Übergangswiderstand für kleine Stromdichten.

Bürstensorte	Pol	Temperatur in ° C			
		30	40	50	60
		in Ohm/qcm			
Morganite 2 bei 0,1 Amp./qcm	+	1,9	1,7	1,3	0,8
	-	7,4	6,7	4,0	—
le Carbone Z bei 0,2 Amp./qcm	+	2,5	2,1	1,3	0,4
	-	3,4	2,7	1,6	—

Man sieht hieraus, daß die Abnahme des Übergangswiderstandes mit steigender Temperatur eine ganz bedeutende ist.

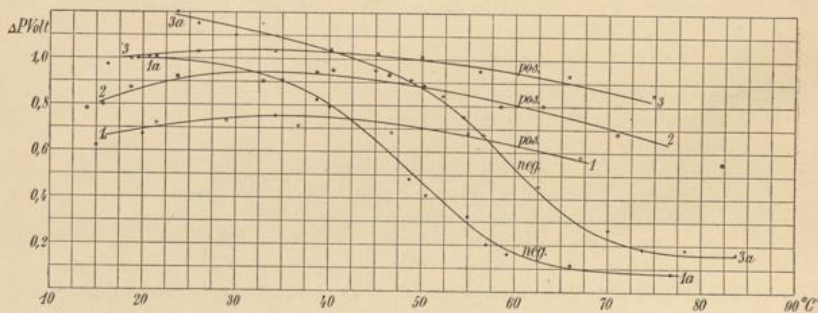


Fig. 6. Bürste: le Carbone Z.

$v = 7,4$ m/sec $F = 2,7$ qcm $g = 160$ g/qcm.

1 = Positive Bürste } 2,5 Amp./qcm 3 = Positive Bürste } 10,0 Amp./qcm
 1a = Negative „ } „ 3a = Negative „ } „
 2 = Positive „ } 5,0 Amp./qcm

In Fig. 6 sind die an einer Carbonebürste, Marke Z, aufgenommenen Übergangsspannungen dargestellt. Diese Bürste zeigt am ausgeprägtesten das obige Verhalten. Die Übergangsspannung der negativen Bürste fällt von 1,1 V bei 30° C auf 0,15 V bei 85° C Kommutatortemperatur bei 10 Amp. Strombelastung für 1 qcm Bürstenfläche, und von 1,0 V bis 0,08 V bei 2,5 Amp./qcm. Dagegen schwanken die Werte der positiven Bürste nur unwesentlich. Die bezüglichen Werte sind in Zahlentafel II vergleichsweise zusammengestellt.

Zahlentafel II.

Übergangsspannung (oder -widerstand) in Prozenten der bei einer Temperatur von 35° C und einer Stromdichte von 5 Amp./qcm (bzw. 10) gemessenen Spannung.

Kohlensorte	Pol	Temperatur in ° C						
		35	45	55	65	75	85	95
le Carbone X	+	100	94	84	70	52	30	—
	—	100	83	53	30	21	15	10
le Carbone Z	+	100	100	94	88	80	—	—
	—	100	89	67	32	16	14	—
Morganite	+	100	95	87	80	75	70	67
	—	100	88	72	54	43	38	37
Endruweit { Metallbürste	+	100	93	82	62	—	—	—
	—	100	89	54	23	12	—	—
Kupfer-Kohlebürste {	+	100	97	91	80	69	—	—
	—	100	95	85	70	55	—	—
Siemens S	+	100	96	89	72	42	20	19
	—	100	89	72	47	28	19	15

} 10 Amp./qcm

Die Bürste Morganite 2 in Fig. 7 zeigt zwar im allgemeinen dasselbe Verhalten wie die vorige, aber die Übergangsspannungen bei den oberen Temperaturen gehen nicht so weit zurück. Auch hier verhält sich die positive Bürste wenig veränderlich. Die beiden Polaritäten unterscheiden sich bei höheren Temperaturen nicht mehr viel voneinander.

Fig. 8 stellt die Ergebnisse dar, die mit einer Metallbürste, System Endruweit, erhalten wurden. Die Bürste besteht aus dünnen Metallfolien aus elektrolytischem Kupfer mit zwischengepreßter Kohleinlage. Diese Anordnung hat den Zweck, geringe Übergangsverluste mit großem Widerstand für die quer durch die Bürste fließenden zusätzlichen Ströme zu vereinigen. Die Änderung des Widerstandes mit steigender Temperatur ist deshalb nicht in demselben Maße

charakteristisch für das Verhalten dieser Bürste, wie sie es für homogene Bürsten ist. Obwohl der Kupfergehalt der Bürste den Kohlegehalt überwiegt, verhalten sich auch hier die beiden Polaritäten ähnlich wie früher.

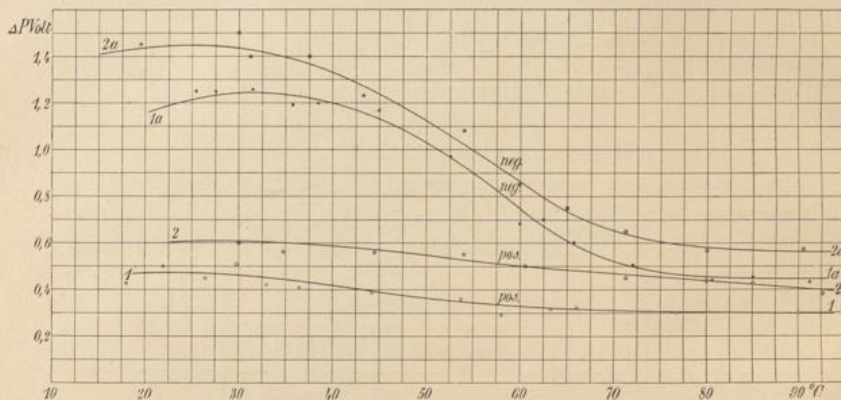


Fig. 7. Bürste: Morganite 2.

 $v = 7,4 \text{ m/sec}$ $F = 2,4 \text{ qcm}$ $g = 160 \text{ g/qcm}$

1 = Positive Bürste	} 2,5 Amp./qcm	2 = Positive Bürste	} 5,0 Amp./qcm
1a = Negative "		2a = Negative "	

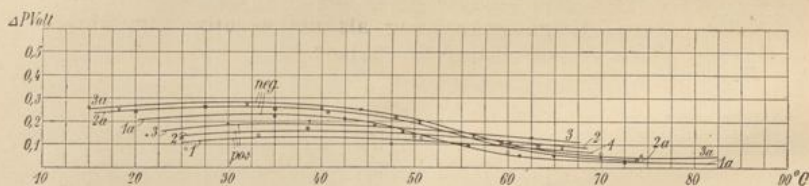


Fig. 8. Bürste: Endrueit, Metallbürste.

 $v = 7,4 \text{ m/sec}$ $F = 1,6 \text{ qcm}$ $g = 160 \text{ g/qcm}$

1 = Positive Bürste	} 2,5 Amp./qcm	2 = Positive Bürste	} 5,0 Amp./qcm
1a = Negative "		2a = Negative "	
		3 = Positive Bürste	} 10,0 Amp./qcm
		3a = Negative "	

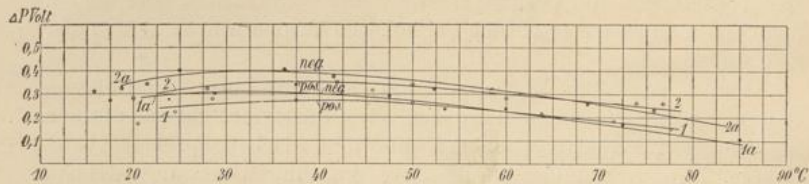


Fig. 9. Bürste: Endrueit, Kupfer-Kohlebürste.

 $v = 7,4 \text{ m/sec}$ $F = 2,5 \text{ qcm}$ $g = 160 \text{ g/qcm}$

1 = Positive Bürste	} 2,5 Amp./qcm	2 = Positive Bürste	} 5,0 Amp./qcm
1a = Negative		2a = Negative "	

Fig. 9 zeigt das Verhalten einer Kupfer-Kohlebürste derselben Fabrik. Sie ist keine reine Kohlebürste, sondern enthält in Abständen von etwa 1 mm dünne Kupferblättchen in der Richtung des Nutzstromes.

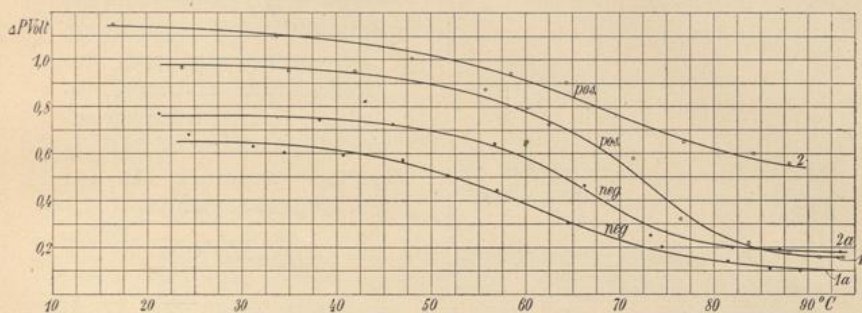


Fig. 10. Bürste: Siemens S.

$v = 7,4$ m/sec $F = 2,4$ qcm $g = 160$ g/qcm

1 = Positive Bürste } 5 Amp./qcm 2 = Positive Bürste } 10 Amp./qcm
 1a = Negative „ } 2a = Negative „ }

Fig. 10 ist aufgenommen worden mit einer Bürste „Siemens S“. Diese Bürste zeigt einen bemerkenswerten Unterschied bezüglich der Polarität. Die positive Bürste hat über den ganzen Temperaturbereich höhere Übergangsspannung als die negative, im übrigen aber denselben charakteristischen Verlauf der Kurven.

Es würde somit zweckmäßig sein, bei schwierigen Kommutierungsverhältnissen für die positiven Bürsten z. B. Siemens S- oder le Carbone Z-Kohlen und für die negativen Bürsten Morganite 2 zu verwenden.

Der zweite Teil der Versuche bezieht sich auf das Verhalten der Bürsten bei konstanter Temperatur des Kommutators und variabler Stromdichte. Die Versuche wurden an zwei Kohlentypen durchgeführt, nämlich an Bürste „Morganite 2“ und an Bürste „Siemens S“.

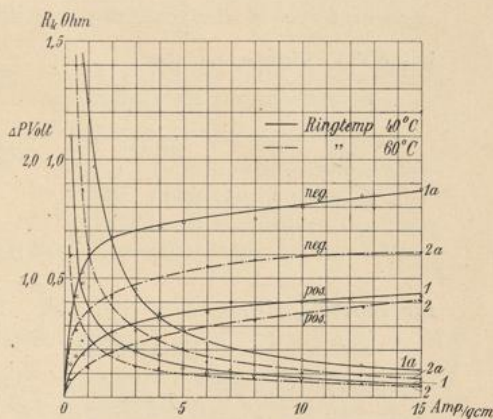


Fig. 11. Bürste: Morganite 2.

1 = Positive Bürste } 40°C
 1a = Negative „ }
 2 = Positive „ } 60°C
 2a = Negative „ }
 20*

252

Die Ergebnisse sind in Abb. 11 und 12 dargestellt. Die Kurven, die den Übergangswiderstand in Funktion der Stromdichte darstellen und die aus den Potentialkurven berechnet sind, haben hyperbelartigen Verlauf. Die Analyse ergibt zum Teil vollständige, zum Teil sehr angenäherte Übereinstimmung mit der gleichseitigen Hyperbel, so daß der in „Die Gleichstrommaschine“, Bd. I, S. 351 angeführte Ausdruck für den Übergangswiderstand

$$R_k = \frac{e_u}{s_u} + R_w$$

zutreffend ist.¹⁾

Es wurde gefunden für Bürste „Morganite 2“ bei 40° C Ringtemperatur:

Stromrichtung Metall-Kohle:

$$R_k = \frac{0,35}{s_u} + 0,04 \text{ Ohm,}$$

Stromrichtung Kohle-Metall:

$$R_k = \frac{1,18}{s_u} + 0,04 \text{ Ohm;}$$

bei 60° C Ringtemperatur:

Stromrichtung Metall-Kohle:

$$R_k = \frac{0,2}{s_u} + 0,04 \text{ Ohm,}$$

Stromrichtung Kohle-Metall:

$$R_k = \frac{0,6}{s_u} + 0,05 \text{ Ohm;}$$

für Bürste „Siemens S“ bei 40° C Ringtemperatur:

Stromrichtung Metall-Kohle:

$$R_k = \frac{0,84}{s_u} + 0,02 \text{ Ohm,}$$

¹⁾ Diese Beziehung gilt für Schleifringe, d. h. konstante Stromdichte und konstante Temperatur über die ganze Bürstenbreite. Sie gilt, wie aus der Untersuchung von F. Jordan hervorgeht, nicht mehr bei der Kommutation, denn in diesem Fall sind Stromdichte und Temperatur über die Bürstenbreite veränderlich.

251

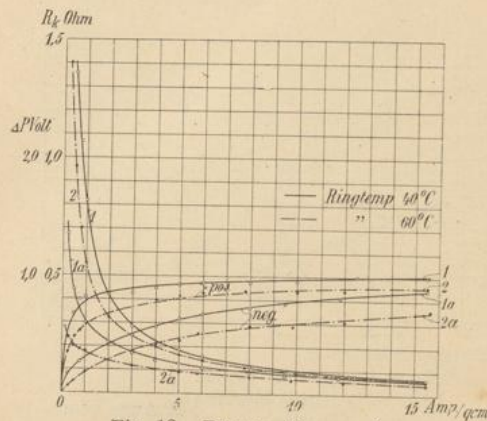


Fig. 12. Bürste: Siemens S.

- | | |
|---------------------|---------|
| 1 = Positive Bürste | } 40° C |
| 1a = Negative " | |
| 2 = Positive " | } 60° C |
| 2a = Negative " | |

Stromrichtung Kohle-Metall:

$$R_k = \frac{0,70}{s_u} + 0,02 \text{ Ohm};$$

bei 60° C Ringtemperatur:

Stromrichtung Metall-Kohle:

$$R_k = \frac{0,4}{s_u} + 0,04 \text{ Ohm},$$

Stromrichtung Kohle-Metall:

$$R_k = \frac{0,35}{s_u} + 0,02 \text{ Ohm}.$$

Die Abweichungen von der gleichseitigen Hyperbel sind am größten bei den kleinen Stromdichten. Der Übergangswiderstand nähert sich einem bestimmten endlichen Endwert, welcher gleichgesetzt werden kann der trigonometrischen Tangente des Winkels, den die Tangente an die Kurve $\Delta P = f(s_u)$ im Punkte $s_u = 0$ mit der s_u -Achse einschließt.

Schließlich ist noch zu bemerken, daß das Verhalten der Kohlebürsten bei den gegebenen äußeren Variablen: Temperatur, Stromdichte, Stromrichtung, Umfangsgeschwindigkeit und Auflagedruck doch kein eindeutig bestimmtes ist. Es traten im Laufe der Untersuchung plötzliche Änderungen der Übergangsspannung ein, die mehr oder weniger lange anhielten und für welche eine genaue Kontrolle der oben angeführten äußeren Variablen keine Erklärung zu geben vermochte.

Das Ziel der Untersuchung war die experimentelle Aufdeckung des Einflusses der Kommutatortemperatur auf die Übergangsspannung, und diese Aufgabe dürfte durch vorliegendes Versuchsmaterial in qualitativer und mit den angeführten Einschränkungen auch in quantitativer Hinsicht als gelöst angesehen werden.

Als ungelöst ist dagegen zu betrachten das Problem der tatsächlichen physikalischen und chemischen Vorgänge in der Übergangsschicht.

Zusammenfassung.

Um die Übergangsspannung von Kohlebürsten in Abhängigkeit von der Temperatur zu bestimmen, ist von E. Arnold eine Versuchseinrichtung entworfen worden. Die mit derselben gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß es für die Beurteilung des Materials einer Bürste erforderlich ist, den Einfluß der Temperatur festzustellen, und daß eine gute Kühlung des Kommutators und

der Bürsten von großer Wichtigkeit für die Erreichung einer guten Kommutation ist.

Die starke Abnahme der Übergangsspannung mit der Temperatur ergibt eine Abnahme der Übergangsverluste, man erhält daher rechnermäßig zu große Übergangsverluste, wenn man den Einfluß der Temperatur nicht berücksichtigt.

Eine zu große Abnahme der Spannung, die in der Berührungsschicht verzehrt wird, kann zu Funkenbildung Veranlassung geben. Die bekannte Erscheinung, daß eine Maschine in kaltem Zustande funkenfrei arbeitet und mit zunehmender Erwärmung anfängt zu feuern, wodurch Erwärmung und Funkenbildung bis zu einem unzulässigen Grad gesteigert werden können, findet hierdurch ihre Erklärung.

Daß sich Kohlebürsten bei großen Umfangsgeschwindigkeiten nicht bewähren, ist zum großen Teil darauf zurückzuführen, daß bei dem erforderlichen Auflagedruck die Reibungsarbeit und die Temperatur in der Übergangsschicht zu groß wird. Eine ausgiebige Kühlung des Kommutators und der Bürsten bei Turbodynamos ist daher ein vorzügliches Mittel zur Verbesserung der Kommutation.

Bei schwierigen Kommutierungsverhältnissen kann es von Nutzen sein, für die positiven und negativen Bürsten verschiedene Kohlenarten zu wählen.

Bei der Herstellung von Kohlebürsten wird anzustreben sein, eine Sorte zu erzeugen, die gegen Temperaturen bis 80° und 100° C möglichst wenig empfindlich ist.

Die Wechselstromtechnik. Herausgegeben von Dr.-Ing. E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In fünf Bänden.

Erster Band: Theorie der Wechselströme und Transformatoren. Von O. S. Bragstad und J. L. la Cour. Zweite Auflage erscheint im Herbst 1909.

Zweiter Band: Die Transformatoren. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 335 Textfiguren und 3 Tafeln. In Lwd. gebunden Preis M. 12,—.

Dritter Band: Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold. Mit 426 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Vierter Band: Die synchronen Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 514 Textfiguren und 13 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Fünfter Band: Die asynchronen Wechselstrommaschinen. Erster Teil: Die Induktionsmaschinen. Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour, unter Mitarbeit von A. Fraenckel. Mit 307 Textfiguren und 10 Tafeln. In Lwd. geb. M. 18,—. Zweiter Teil (Kommutator-Maschinen) erscheint im Laufe des Jahres 1909.

Die Gleichstrommaschine. Ihre Theorie, Untersuchung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von Dr.-Ing. E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In zwei Bänden.

Erster Band: Theorie und Untersuchung. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 593 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Zweiter Band: Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise der Gleichstrommaschine. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 502 Textfiguren und 13 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Elektromotoren für Gleichstrom. Von Dr. G. Roefsler, Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Danzig-Langfuhr. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 49 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Elektromotoren für Wechselstrom und Drehstrom. Von Dr. G. Roefsler, Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Danzig-Langfuhr. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage erscheint Ende 1909.

Berechnung und Ausführung der Hochspannungs-Fernleitungen. Von Carl Fred. Holmboe, Elektroingenieur. Mit 61 Textfiguren. Preis M. 3,—.

Motoren für Gleich- und Drehstrom. Von Henry M. Hobart, B. Sc. M. I. E. E. Mem. A. I. E. E. Deutsche Bearbeitung. Übersetzt von Franklin Punga. Mit 425 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

Die Bahnmotoren für Gleichstrom. Ihre Wirkungsweise, Bauart und Behandlung. Ein Handbuch für Bahntechniker von H. Müller, Oberingenieur der Westinghouse-Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, und W. Mattern, Abteilungsvorstand der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft. Mit 231 Textfiguren und 11 lithogr. Tafeln, sowie einer Übersicht der ausgeführten Typen. In Leinwand gebunden Preis M. 15,—.

Die Prüfung von Gleichstrommaschinen in Laboratorien und Prüfräumen. Ein Hilfsbuch für Studierende und Praktiker von C. Kinzbrunner, Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik an der Municipal School of Technology in Manchester. Mit 249 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 9,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom. Von Gisbert Kapp. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 255 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Transformatoren für Wechselstrom und Drehstrom. Eine Darstellung ihrer Theorie, Konstruktion und Anwendung. Von Gisbert Kapp. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 185 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

Elektromechanische Konstruktionen. Eine Sammlung von Konstruktionsbeispielen und Berechnungen von Maschinen und Apparaten für Starkstrom. Zusammengestellt und erläutert von Gisbert Kapp. Zweite, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 36 Tafeln und 114 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Elektromechanische Konstruktionselemente. Skizzen, herausgegeben von Dr. G. Klingenberg, Professor und Dozent an der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin. Erscheint in Lieferungen zum Preise von je M. 2,40. Bisher sind erschienen: Lieferung 1, 2, 3, 4 (Apparate) und 6, 7 (Maschinen); Lieferung 5 erscheint im Sommer 1909. Jede Lieferung enthält 10 Blatt Skizzen in Folio.

Konstruktionen und Schaltungen aus dem Gebiete der elektrischen Bahnen. Gesammelt und bearbeitet von O. S. Bragstad, a. o. Professor an der Großherzogl. Techn. Hochschule Fridericiana in Karlsruhe. 31 Tafeln mit erläuterndem Text. In einer Mappe Preis M. 6,—.

Über die Entwicklungsmöglichkeiten des Induktionsmotors für Einphasen-Wechselstrom. Von Dr.-Ing. R. v. Koch. Mit 49 Textfiguren. Preis M. 2,60.

Asynchrone Generatoren für ein- und mehrphasige Wechselströme. Ihre Theorie und Wirkungsweise. Von Cl. Feldmann, Ingenieur und Privatdozent an der Großherzogl. Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit 50 Textfiguren. Preis M. 3,—.

Der Drehstrommotor. Ein Handbuch für Studium und Praxis. Von Julius Heubach, Chef-Ingenieur. Mit 163 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

Die normalen Eigenschaften elektrischer Maschinen. Ein Datenbuch für Maschinen- und Elektroingenieure und Studierende der Elektrotechnik. Von Dr.-Ing. Rudolf Goldschmidt, Privatdozent an der Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 34 Textfiguren. In Leinwand geb. Preis M. 3,—.

Die Arbeitsweise der Wechselstrommaschinen. Für Physiker, Maschineningenieure und Studenten der Elektrotechnik. Von Fritz Emde. Mit 32 Textfiguren. Preis M. 2,40; in Leinwand gebunden M. 3,—.

Die Isolierung elektrischer Maschinen. Von H. W. Turner, Associate A. I. E. E. und H. M. Hobart, M. I. E. E., Mem. A. I. E. E. Deutsche Bearbeitung von A. von Königslöw und R. Krause, Ingenieuren. Mit 166 Textfiguren. In Leinwand gebunden M. 8,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Die Wechselstromtechnik. Herausgegeben von Dr.-Ing. E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In fünf Bänden.

Erster Band: Theorie der Wechselströme und Transformatoren. Von O. S. Bragstad und J. L. la Cour. Zweite Auflage erscheint im Herbst 1909.

Zweiter Band: Die Transformatoren. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 335 Textfiguren und 3 Tafeln. In Lwd. gebunden Preis M. 12,—.

Dritter Band: Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold. Mit 426 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Vierter Band: Die synchronen Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 514 Textfiguren und 13 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Fünfter Band: Die asynchronen Wechselstrommaschinen. Erster Teil: Die Induktionsmaschinen. Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour, unter Mitarbeit von A. Fraenckel. Mit 307 Textfiguren und 10 Tafeln. In Lwd. geb. M. 18,—. Zweiter Teil (Kommutator-Maschinen) erscheint im Laufe des Jahres 1909.

Die Gleichstrommaschine. Ihre Theorie, Untersuchung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von Dr.-Ing. E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In zwei Bänden.

Erster Band: Theorie und Untersuchung. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 593 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Zweiter Band: Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise der Gleichstrommaschine. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 502 Textfiguren und 13 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Elektromotoren für Gleichstrom. Von Dr. G. Roefsler, Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Danzig-Langfuhr. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 49 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Elektromotoren für Wechselstrom und Drehstrom. Von Dr. G. Roefsler, Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Danzig-Langfuhr. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage erscheint Ende 1909.

Berechnung und Ausführung der Hochspannungs-Fernleitungen. Von Carl Fred. Holmboe, Elektroingenieur. Mit 61 Textfiguren. Preis M. 3,—.

Motoren für Gleich- und Drehstrom. Von Henry M. Hobart, B. Sc. M. I. E. E. Mem. A. I. E. E. Deutsche Bearbeitung. Übersetzt von Franklin Punga. Mit 425 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

Die Bahnmotoren für Gleichstrom. Ihre Wirkungsweise, Bauart und Behandlung. Ein Handbuch für Bahntechniker von H. Müller, Oberingenieur der Westinghouse-Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, und W. Mattersdorff, Abteilungsvorstand der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft. Mit 231 Textfiguren und 11 lithogr. Tafeln, sowie einer Übersicht der ausgeführten Typen. In Leinwand gebunden Preis M. 15,—.

Die Prüfung von Gleichstrommaschinen in Laboratorien und Prüfräumen. Ein Hilfsbuch für Studierende und Praktiker von C. Kinzbrunner, Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik an der Municipal School of Technology in Manchester. Mit 249 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 9,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

old, Professor
lichen Teil-
en.

andern, Von
Herbst 1888
und J. L.
M. 12.-
andern, Von
M. 12.-
K. Arnold

M. 21.-
licher Teil-
kation und
eit von J.
M. 18.-
des 1888

onstruktion.
d Verfahr-
en Hoch-

ig unge-
M. 21.-
er Gleich-
Text-
21.-

der
eite,
t.-

Dr.
Dauzig-
1888.

Fern-
Text-
M. 1.-

art, B.
eit von
M. 16.-

Donat
Ober-
latter-
e. Mit
unge-
15.-

nd Peil-
mannes,
and of
L. 4.-

