

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Experimentelle Untersuchung der Kommutation bei  
Gleichstrommaschinen**

**Arnold, Engelbert**

**Karlsruhe, [1908]**

Versuche ohne Wendepole

[urn:nbn:de:bsz:31-289939](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289939)

gestaffelten Bürsten von je 15 mm Breite. Durch Abheben der hinteren Bürste sind dann die schmäleren  $b = 15$  mm messenden Bürsten entstanden, mit denen die Oszillogramme Fig. 47 bis Fig. 51 erhalten worden sind. Weiter sind noch schmalere Bürsten benutzt worden, doch sind davon keine Aufnahmen wiedergegeben, weil nichts neues aus ihnen zu sehen ist. Die dargestellten Kurven sind auch nur eine Auswahl aus einer sehr viel grösseren Zahl. Die Bürsten waren bei den Versuchen gut eingelaufen und der Kollektor glatt und gut rund.

### Versuche ohne Wendepole.

Die Feldkurve der Versuchsmaschine bei Leerlauf und abgehobenen Bürsten ist in Fig. 42 dargestellt. Die Wellen und Täler in ihrem oberen Teil stimmen der Zahl nach mit den Nuten und Zähnen, die unter dem Pol liegen, überein, wie man sich durch Abzählen in Fig. 40 leicht überzeugen kann. Die Schwankungen des magnetischen Widerstandes müssen hier sehr gross sein, da der Luftspalt sehr klein im Verhältnis zur Nutenweite ist. Es ist  $\frac{t_1 - z_1}{\delta} = 6$ , während dies Verhältnis im allgemeinen auch bei lamellierten Polschuhen nicht grösser als 3 genommen zu werden pflegt. Nun ist hier das Verhältnis  $\frac{\text{Polbogen}}{\text{Zahnteilung}} = 6,3$ , sodass man nach Worall\*) sowohl Kraftflusspulsation als auch Schwingungen hat. In den Oszillogrammen war jedoch nirgends etwas von Pulsationen des Ankerstromes oder der Spannung von der Periodenzahl der Zähne zu sehen. Dies ist auch erklärlich, denn der Einfluss der Kraftflusspulsationen kann nur sehr klein sein. Da die Zähnezahl ungerade ist, ist die relative Lage der Zähne zu den Polen überall verschieden. Die Wirkung der Kraftflusspulsation muss sich also fast ganz verwischen. Die in den Stromkurven noch bemerkbaren Schwankungen rühren sämtlich von den Kommutationsvorgängen her.

Legt man nun die Bürsten in der neutralen Zone auf, so feuert die Maschine bei Leerlauf sehr stark, ganz gleichgültig, wie breit die Bürsten sind. In den kurzgeschlossenen Spulen werden sehr grosse Kurzschlussströme induziert, deren Form aus Fig. 43 zu erkennen ist. Die Stromdichten unter den auf- und ablaufenden Bürstenkanten sind aber in allen Fällen, auch bei Verwendung von

*Wie kann  
dieses nicht  
stimmern!  
In dubio  
nunc möglich,  
wenn Feld vor-  
handen (z. B.  
Wp. erregt)*

\*) Worall, Journal of the Institution of Electrical Engineers, 1908, Vol. XL.



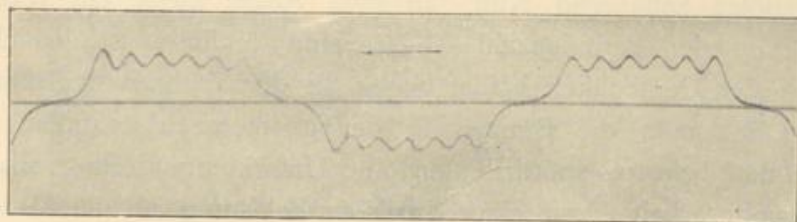


Fig. 42. Feld bei Leerlauf mit abgehobenen Bürsten. Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère.  
Tourenzahl  $n = 500$ .

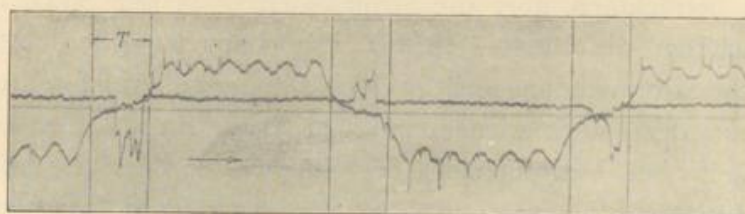


Fig. 43. Feld bei Leerlauf und aufgelegten Bürsten. Tourenzahl  $n = 500$ . Strom  $J = 0$ .  
Spannung  $E = 115,5$  Volt. Bürstenbreite  $b = 30$  mm. Bürsten in der neutralen Zone.  
Starkes Funken. (Die Nullachse der Stromkurve ist verschoben.)

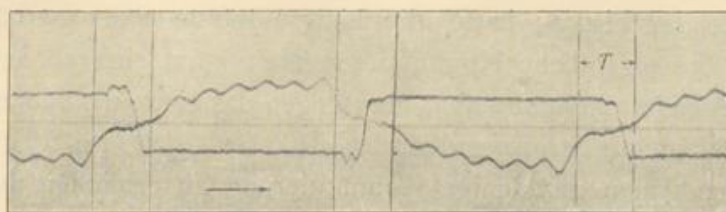


Fig. 44. Feldkurve und Strom einer Spule. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,13$  Ampère.  
Strom  $J = 50$  Ampère. Bürstenbreite  $b = 30$  mm. Bürsten in der geometrisch neutralen Zone.  
Funkenfrei.



Fig. 45. Feldkurve und Strom einer Spule. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère.  
Strom  $J = 37,5$  Ampère. Spannung  $E = 69,5$  Volt. Bürsten  $16,6^\circ$  in der Drehrichtung ver-  
schoben. Bürstenbreite  $b = 30$  mm. Funkenfrei.



Wendepolen annähernd Null. In dem Anker fließt ein Wechselstrom von der Periodenzahl  $\frac{K \cdot n}{60}$ . Seine Nulllinie ist jedoch in Fig. 43 der Deutlichkeit halber gegen die der Feldkurve verschoben.

Lässt man die Bürsten in der geometrisch neutralen Zone stehen und belastet, so wird man eine Unterkommütierung erhalten. Gleichwohl arbeitet von einer gewissen Belastung ab die Maschine funkenfrei.

Wie Fig. 44 zeigt, sind bei einer Belastung, die ungefähr der normalen entspricht, Unterkommütierung und zusätzliche Ströme noch ziemlich beträchtlich, aber die Stromänderung in der Spule beginnt erst, nachdem die Bürste ein bis zwei Lamellen überdeckt. Die eigentliche Stromwendung geht in der Nähe der ablaufenden Kante vor sich, unter der jedoch wieder eine sehr kleine Stromdichte herrscht.

Auch bei Verschiebung der Bürsten in der Drehrichtung ( $16,6^\circ$ ) bleibt bei funkenlosem Gang eine verzögerte Kommütierung bestehen (Fig. 45).

Die Erscheinungen bleiben auch noch ganz dieselben, wenn man die Bürsten entgegen der Drehrichtung verschiebt. (Fig. 46).

Hebt man bei dem Betriebszustand, den die Maschine bei Aufnahme der Fig. 44 hatte, die hintere Bürste ab, so erhält man Fig. 47. Die eigentliche Kommütierungszeit kürzt sich ab, und man hat anfangs Unterkommütation, aber gegen das Ende der Kurzschlusszeit beschleunigte Stromwendung.

Eine genau geradlinige Kommütierung zu erreichen, ist praktisch unmöglich, und ein Verlauf des Stromes, wie ihn Fig. 45 zeigt, wird dem Idealfall wohl ziemlich nahe kommen. Die beiden Bürsten kommutieren nicht gleich und können das auch im allgemeinen nicht tun, weil sich die Grösse des Uebergangswiderstandes mit der Stromrichtung ändert.

Die Funkengrenzen der Maschine bei der Bürstenstellung und -breite von Fig. 48 liegen bei 60 und 74 Amp. Belastungsstrom. An den Funkengrenzen sind die Kurzschlussstromkurven kaum merklich von denjenigen bei funkenfreiem Lauf verschieden.

Entlastet man in der letzten Bürstenstellung die Maschine mehr und mehr, so wird man wegen der Zunahme des Wendefeldes im Verhältnis zum Ankerfeld eine Ueberkommütation erhalten. In dem in Fig. 49 dargestellten Falle ist an der durch die Kontaktgeber-





Fig. 46. Feldkurve und Strom in einer Spule. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère. Strom  $J = 32$  Ampère. Spannung  $E = 97$  Volt. Bürstenbreite  $b = 30$  mm. Bürsten um  $16,6^\circ$  gegen die Drehrichtung verstell. Funken unter der auflaufenden Kante der positiven Bürste.

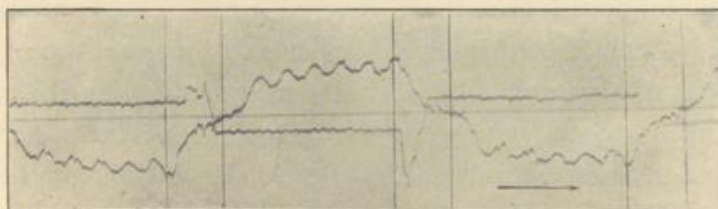
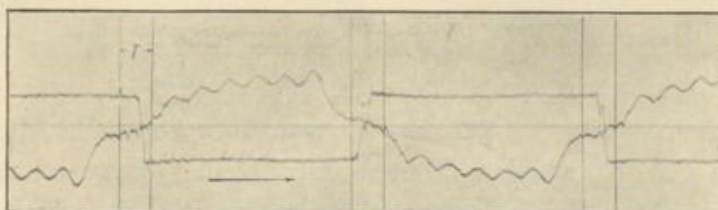


Fig. 47. Feldkurve und Strom in einer Spule. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère. Strom  $J = 50$  Ampère. Spannung  $E = 92$  Volt. Bürstenbreite  $b = 15$  mm. Bürsten in der geometrisch neutralen Zone. Funkenfrei.



Eig. 48. Feldkurve und Strom in einer Spule. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère. Strom  $J = 70$  Ampère. Spannung  $E = 75$  Volt. Bürstenbreite  $b = 15$  mm. Bürsten in der Drehrichtung um  $16,6^\circ$  verschoben. Funkenfrei.

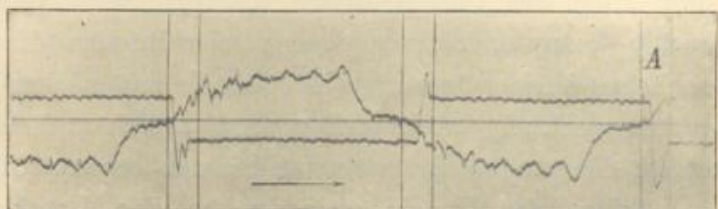


Fig. 49. Feldkurve und Strom in einer Spule. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère. Strom  $J = 32$  Ampère. Spannung  $E = 82$  Volt. Bürstenbreite  $b = 15$  mm. Bürsten um  $16,6^\circ$  in der Drehrichtung verschoben. Starke Funken.



marken bezeichneten negativen Bürste *A* der Verlauf des Kurzschlussstromes gegen Ende der Kurzschlusszeit hin so, wie man ihn bisher anzunehmen pflegte. Ein Betrieb der Maschine in diesem Zustand ist aber nur für einige Minuten möglich, denn das Feuern ist so stark, dass sowohl Kohle als Kommutator bald ernstlich beschädigt würden. Bei weniger starker Ueberkommutation hat man gegen Ende der Kurzschlusszeit stets ein ganz wagrechtes Stück in der Kurzschlussstromkurve. Das heisst also, dass dieser Teil der Kurzschlusszeit, in welcher der Strom in der Spule schon konstant und die Grösse des Ankerzweigstromes erreicht hat, eigentlich nicht mehr zur Kommutationszeit gerechnet werden kann. Die Lamellenstromkurve konnte bei dieser Maschine leider nicht aufgenommen werden, sie würde aber zeigen, dass die Lamelle nahezu stromlos abläuft. Die Funken treten jedoch gerade an der ablaufenden Kante der Bürste auf und erstrecken sich über das Stück der Bürste, welches dem wagrechten Teile der Kurzschlussstromkurve entspricht.

Dieser bisher unbeobachtet gebliebene Verlauf der Stromkurve lässt sich nur aus einer starken Vergrösserung des spezifischen Uebergangswiderstandes an den Funkenstellen erklären. Seine Erhöhung zwingt einen Teil der zusätzlichen Ströme, sich über den Anker und den äusseren Stromkreis zu schliessen. Auf diese Weise wird es erreicht, dass, solange überhaupt ein erträgliche Stromwendung stattfindet, die Stromdichte an den ablaufenden Bürstenkanten kleine Werte erhält.

Im Anker fliessen zusätzliche Ströme von der Periodenzahl der Kommutation, und diese Ströme, deren Grösse bei minder guter Stromwendung nicht unerheblich ist, sind in den wiedergegebenen Oszillogrammen deutlich zu sehen. Auch im äusseren Stromkreis sind sie mit Hilfe des Oszillographen nachzuweisen. Würden in den gleichzeitig kurzgeschlossenen Spulen aller Bürsten die Ströme gleichen zeitlichen Verlauf haben, so würden die zusätzlichen Ströme, die in der Ankerwicklung allein sich schliessen, sich aufheben. Im allgemeinen ist dies wegen den unvermeidlichen Unsymmetrien auch bei bestem Aufbau der Maschine und wegen der Verschiedenheit der Uebergangswiderstände der Bürsten verschiedener Polarität nicht möglich. Kommutieren die Bürsten nicht gleichzeitig, so treten Ströme und Pulsationen entsprechend höherer Periodenzahl auf.



Die Kurzschlussströme erzeugen ein pulsierendes Längsfeld, das entgegengesetzt zu der herrschenden Ansicht nicht auf einen konstanten Mittelwert abgedämpft wird. Dieses Längsfeld erzeugt eine rasch pulsierende Wechsel-EMK, die sich über die induzierte EMK  $E_a$  lagert. Ein Teil der schon besprochenen pulsierenden Ströme wird auf dieses Feld zurückzuführen sein. In den Feldkurven kommen diese Pulstationen überall, besonders innerhalb den Pollücken, deutlich zum Ausdruck, auch in den Fällen, wo gute oder

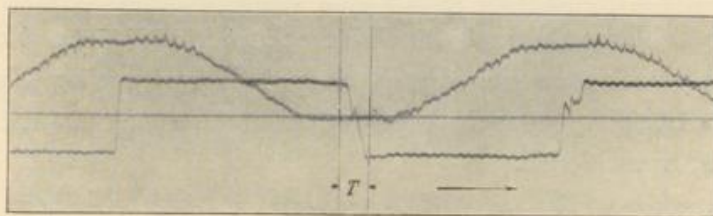


Fig. 50. Strom einer Spule und Potentialkurve zwischen negativer Bürste und einer Lamelle. Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère. Strom  $J = 70$  Ampère. Spannung  $E = 75$  Volt. Bürstenbreite  $b = 15$  mm. Bürsten um  $16,6^\circ$  in der Drehrichtung verschoben. Funkenfrei.

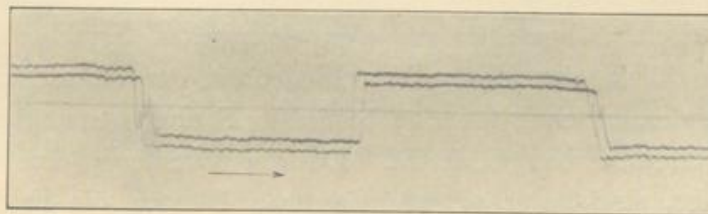


Fig. 51. Strom der ersten und zweiten Spule einer Nut (der Ordinatenmasstab der Kurven ist verschieden). Tourenzahl  $n = 500$ . Erregung  $i_e = 1,15$  Ampère. Strom  $J = 70$  Ampère. Spannung  $E = 75$  Volt. Bürstenbreite  $b = 15$  mm. Bürsten um  $16,6^\circ$  in der Drehrichtung verschoben. Funkenfrei.

geradlinige Kommutation stattfindet, denn auch dann hat man eine Kraftflussänderung von  $+\Phi$  auf  $-\Phi$ .

Der grosse Einfluss dieser Pulsationen auf die Potentialkurve ist aus Fig. 50 zu ersehen. Dort ist die Spannung einer Bürste gegen einen Schleifring aufgezeichnet, der mit einer Lamelle verbunden war. Obwohl nur kleine zusätzliche Ströme vorhanden sind, ergeben sich infolge der raschen Aenderung des Kurzschlussstromes bedeutende Schwankungen der EMK, die bis zu 16 Volt sich erheben. Da diese Spitzen sich, wenn auch abgeschwächt, bis unter die Bürsten fortsetzen, so finden hiermit die früher beobachteten Spitzen der



Potentialkurven unter den Bürsten ihre einfache Erklärung. Es ist wohl anzunehmen, dass sie auf die Funkenbildung nicht ohne Einfluss sind.

Es ist dann noch untersucht worden, ob sich im Verlauf der Kurzschlussströme der verschiedenen Spulen einer Nut Abweichungen gegen einander zeigen. Da die Lage der Spulen relativ zum Feld verschieden ist und die letzte Spule der Nut unter ungünstigeren Umständen aus dem Kurzschluss tritt, so wären solche Abweichungen wohl erklärlich. Aus den gemachten Aufnahmen geht aber hervor, dass der zeitliche Verlauf der Kurzschlussströme einer Nut nicht wesentlich verschieden ist. Es ist deshalb hier nur eine solche Aufnahme als Beispiel gegeben (Fig. 51). Der Ordinatenmasstab beider Kurven ist verschieden.

#### Versuche mit Wendepolen.

Wie man aus den bisher besprochenen Oszillogrammen ersehen kann, ist der mechanische Aufbau der benutzten Maschine sehr unsymmetrisch. Abgesehen von den elektrischen Ursachen bedingt dies schon allein eine grosse Verschiedenheit der Kurzschlussströme gegeneinander, obschon für eine bestimmte Stellung einer Spule sich jedesmal dieselbe Kurve ergibt. Da die Wicklung eine Reihewicklung ist, sind bei zwei weggelassenen Bürsten die Felder aller Pollücken für die Kommutation massgebend, denn es liegen immer zwei kurzgeschlossene Spulen hintereinander. Das erschwert hier die Diskussion der Kurven beträchtlich. Bei Anwendung von Wendepolen treten diese Unsymmetrien am deutlichsten hervor. Die Pole stehen nicht in den Symmetrieachsen und auch die Grösse des Luftspaltes scheint bei jedem eine andere zu sein. Es ist daher kein Feld einer Kommutationszone wie das einer anderen.

Hier ist auch die axiale Länge des Wendepols kürzer, als es gut und allgemein üblich ist, sie beträgt nur die Hälfte der Ankerlänge. Die Breite ist gleich der Zahnteilung. Die Wendepole sind fremd erregt. Bei leerlaufender Maschine, also unerregten Wendepolen, feuert die Maschine stark. Das ist auch nicht anders zu erwarten, da sich ja das Ankerfeld, dem in der Kommutiernusszone Eisen gegenübersteht, stark ausbilden kann. Der Verlauf des Kurz-