

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

**Experimentelle Untersuchung der Kommutation bei
Gleichstrommaschinen**

Arnold, Engelbert

Karlsruhe, [1908]

[Hinführung]

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

Experimentelle Untersuchung der Kommutation bei Gleichstrommaschinen.

Von Prof. Dr.-Ing. E. Arnold.

In einer Gleichstrommaschine wird in jeder Ankerspule ein Strom von wechselnder Richtung induziert. Um im äusseren Stromkreis einen Gleichstrom zu erhalten, muss der Strom einer Ankerspule während der Zeit, in der die in ihr induzierte elektromotorische Kraft ihre Richtung wechselt, für den äusseren Stromkreis kommutiert werden. Die Kommutierung bedingt die Anwendung eines Kommutators, mit dessen Lamellen die Enden der Ankerspulen verbunden sind und Bürsten, welche auf dem Kommutator schleifen. Während der Kommutation ist die Spule über die mit ihr verbundenen Lamellen des Kommutators und die Bürste kurz geschlossen.

Die elektromotorischen Kräfte, die in der kurzgeschlossenen Spule induziert werden, erzeugen Ströme in dieser Spule, die sich quer über die Bürste schliessen. Man bezeichnet sie als zusätzliche Kurzschlussströme. Die in der Spule induzierten EMKe sind zweierlei Art. Wir können die vom Hauptfeld induzierte EMK und die EMK der Selbstinduktion (vom Streufeld induziert) unterscheiden. Von der Grösse der Resultante beider EMKe ist die Güte der Kommutierung bzw. der funkenlose Gang der Maschine abhängig. Man erhält eine gute Kommutierung, wenn diese Resultante gleich Null ist, denn dann treten keine zusätzlichen Kurzschlussströme auf.

Die Bedingung für eine gute bzw. funkenfreie Kommutierung erscheint somit in einfacher Form. Die Erfüllung dieser Bedingung für alle Belastungen der Maschine bei unveränderlicher Bürstenstellung bereitet aber sehr grosse Schwierigkeiten, ja eine genaue Erfüllung derselben ist geradezu unmöglich. Der Grund hiefür

liegt darin, dass die vom Hauptfeld (das von den Feld- und Ankeramperewindungen gemeinsam erzeugt wird) induzierte EMK, welche zur Erfüllung obiger Bedingung in jedem Momente während der Kurzschlusszeit der EMK der Selbstinduktion gleich aber ihr entgegengesetzt gerichtet sein soll, eine andere Funktion der Zeit ist als die EMK der Selbstinduktion. Die vom Hauptfeld induzierte EMK ist abhängig von der Form, den Schwingungen und Pulsationen dieses Feldes und von der Umfangsgeschwindigkeit des Ankers, während die zeitliche Änderung der EMK der Selbstinduktion von dem zeitlichen Verlauf des Stromes der kurzgeschlossenen Spule allein abhängt. Dieser zeitliche Verlauf des Kurzschlussstromes wird zwar von der vom Hauptfeld induzierten EMK beeinflusst, aber sie ist ausserdem in hohem Masse abhängig vom Uebergangswiderstand zwischen Bürste und Kommutator, der Oberflächenbeschaffenheit des Kommutators und den Erschütterungen der Bürsten. Namentlich der Uebergangswiderstand der Bürsten, der sich sprungweise ändern kann, wie die nachfolgenden Untersuchungen zeigen, hat einen viel grösseren Einfluss auf den zeitlichen Verlauf des Kurzschlussstromes, als bisher angenommen wurde. Die vom Hauptfeld induzierte EMK und die EMK der Selbstinduktion sind somit zwei zeitliche Funktionen, die nur während einzelner Momente der Kurzschlusszeit sich kompensieren, und es ist unmöglich, den zeitlichen Verlauf beider so einzustellen, dass die verlangte Kompensation während der ganzen Kurzschlusszeit anhält. Eine vollkommene Kompensation der EMK der Selbstinduktion ist also in keinem Fall erreichbar. In dieser Tatsache liegen die Schwierigkeiten einer funkenlosen Kommutierung, die um so grösser werden, je kürzer die Kurzschlusszeit und je grösser die zu kommutierende Stromstärke ist, denn wie leicht einzusehen, können in solchen Fällen die momentanen Unterschiede der beiden EMKe trotz momentaner Kompensation unzulässig gross werden.

Wenn es möglich wäre, die durch Selbstinduktion induzierte EMK durch eine vom äusseren Felde induzierte EMK vollkommen zu kompensieren oder ihre Differenz während der ganzen Kurzschlusszeit beliebig klein zu machen, so würde die Grösse der Selbstinduktion einer Ankerspule auf die Güte der Kommutierung ohne

Einfluss sein. Das ist aber, wie gesagt, nicht der Fall, und man ist daher gezwungen, eine möglichst geringe Selbstinduktion der Ankerspulen anzustreben.

Wenn man die Vorgänge bei der Kommutierung bis ins einzelne verfolgen will, darf man sich somit nicht mit der Beobachtung von Mittelwerten begnügen, sondern man muss die Momentwerte messen. Das bereitet aber insofern Schwierigkeiten, als die ganze Zeit, innerhalb welcher sich die Kommutation vollzieht, sehr klein ist. Bei den nachfolgend untersuchten Maschinen betrug sie etwa $\frac{1}{500}$ bis $\frac{1}{1000}$ Sekunde.

Die nachfolgenden Untersuchungen beschäftigen sich hauptsächlich mit der Messung der Momentanwerte von Strömen, EMK'en und Feldstärken, welche bei der Kommutation in Frage kommen. Durch die Anwendung eines für diese Zwecke konstruierten Kontaktgebers, der gestattet, die Dauer der Messzeit etwa auf $\frac{1}{30000}$ Sekunde zu reduzieren und die Anwendung des Oszillographen ist die Ausführung dieser Versuche ermöglicht worden.

Mit der Theorie der Kommutation haben sich mehrere Autoren beschäftigt. Der Verfasser selbst hat sich im Laufe der letzten 15 Jahre mehrfach und ausführlich mit diesem Thema befasst. Um die Differentialgleichungen des Kurzschlusskreises lösen zu können*, ist man aber gezwungen, gewisse vereinfachende Annahmen zu machen, die der Wirklichkeit nicht entsprechen, besonders ist man hierbei genötigt, entweder mit Mittelwerten des Feldes und des Uebergangswiderstandes der Bürsten oder doch mit einer Aenderung derselben nach einem einfachen Gesetz zu rechnen. Diese Annahmen sind aber nur eine verhältnismässig grobe Annäherung an die scheinbar in launenhafter Weise veränderlichen Grössen.

Es war daher notwendig zu untersuchen, inwieweit die rechnermässig erlangten Ergebnisse von den experimentell erlangten abweichen. Die nachfolgenden Untersuchungen zeigen für diejenigen, die sich auf die Theorie allein stützen möchten, wenig Erfreuliches. Die Abweichungen sind in fast allen Fällen sehr gross und eine einigermaßen befriedigende Uebereinstimmung tritt nur in besonderen Fällen auf, d. h. dort, wo die wirklichen Verhältnisse den bei der Rechnung angenommenen annähernd entsprechen.

* Siehe E.T.Z. 1899 E. Arnold und G. Mie, Theorie der Kommutation.

Je mehr man sich mit dem Problem der Kommutation befasst, um so mehr erscheint eine genaue rechnungsmässige Verfolgung der sehr verwickelten Vorgänge als ausgeschlossen. Man wird sich mit einer Theorie begnügen müssen, die bei möglichster Einfachheit das Wesentliche widerspiegelt und darauf verzichtet, auf die scheinbar launenhaften Unregelmässigkeiten, von denen jede Maschine eine besondere ihr eigentümliche Anzahl besitzt, einzugehen.

Die grosse technische und wirtschaftliche Bedeutung, welche eine gute Kommutierung für den Dynamobau besitzt, rechtfertigt es aber, dass dem in seinen Grundzügen zwar einfachen, in seinen Erscheinungsformen aber sehr mannigfaltigen Problem so viel Aufmerksamkeit zugewendet wird. Die überraschend grossen Fortschritte, die im Bau von Gleichstrommaschinen im Laufe der letzten Jahre gemacht worden sind, beruhen ausschliesslich auf der Verbesserung der Kommutierung. Eine bedeutende Steigerung der Leistungsfähigkeit der Gleichstrommaschinen sowie der Bau von Maschinen für grosse Leistungen und hohe Umdrehungszahlen, für rasch wechselnde Drehrichtungen und grosse Ueberlastungen sind erst in den letzten Jahren gelungen, nachdem neue Anordnungen für die Kommutierung erprobt waren.

Ohne eine vorzügliche Kommutierung wäre es z. B. nicht möglich gewesen, Gleichstrommotoren für den Antrieb von Walzenzugmaschinen zu bauen, deren maximal erforderliche Leistung 8000 bis 10000 Pferdestärken beträgt und deren Drehrichtung in der Minute bis 10 mal umgesteuert wird. Das gleiche gilt von grossen, rasch laufenden Gleichstromgeneratoren, die heute zahlreich in Verbindung mit Dampfturbinen gebaut werden.

Versuchsanordnung.

Das Schema der Versuchsanordnung mit der alle in Betracht kommenden Messungen vorgenommen wurden, ist in Fig. 1 dargestellt.

Eine Ankerspule s_1 ist aufgeschnitten und die beiden Schnittenden a, b sind durch einen Widerstand r_1 von 0,02 Ohm mit einander und durch zwei Schleifringe mit den Bürsten b_2, b_3 verbunden. Der Widerstand einer Spule beträgt etwa 0,025 Ohm. Der in der Spule s_1 fliessende Kurzschlussstrom kann dann durch Messung des Spannungs-