

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Die Eisenverluste in elliptischen Drehfeldern**

**Radt, Martin**

**Berlin, 1911**

8. Die Versuchsanordnung

[urn:nbn:de:bsz:31-274924](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274924)

Wir haben also zur Berechnung der zusätzlichen Verluste nur der für Kreisfeld abgeleiteten Formel noch das Korrektionsglied  $\frac{1}{2}(k^2 + 1)$  hinzuzufügen. Da dieser Faktor der gleiche ist, wie der zur Berechnung der Wirbelströme im Stator abgeleitete Ausdruck, können wir die in Fig. 5, I gezeichnete Kurve auch hier zur Berechnung der Verluste benutzen.

## II. Experimenteller Teil.

### 8. Die Versuchsanordnung.

Die Messungen wurden an einer von der Maschinenfabrik Eßlingen für diesen Zweck besonders gebauten Versuchsmaschine vorgenommen. In Fig. 17 ist die Maschine im Schnitt dargestellt. Sie besteht aus dem Stator eines gewöhnlichen dreiphasigen Induktionsmotors von 5 PS und einem Rotor, der weder Wicklung noch Nuten besitzt. Durch diese Anordnung erreicht man, daß die magnetischen Verhältnisse eines normalen Motors innegehalten werden, daß aber die für die vorliegende Untersuchung besonders störenden zusätzlichen Verluste sehr klein sind. Sie bestehen hier nur aus den an der Oberfläche des Rotors auftretenden Oberflächenverlusten.<sup>1)</sup> Um ferner Wirbelstromverluste in den massiven Eisenteilen des Rotors möglichst zu vermeiden, sind die Rotorbleche allseitig von Holzteilen gefaßt. Der Motor besitzt Kugellager, so daß plötzliche geringe Änderungen der Lagerreibung, wie sie in Gleitlagern vorkommen können, nicht zu befürchten sind. Der Stator ist 6polig, besitzt Spulenwicklung mit 117 Windungen in einer Phase und ist für 110 Volt Phasenspannung gebaut. In jeder Nut liegen 13 Leiter von 2,5 mm Durchmesser. Der Luftspalt ist 0,5 mm, die Nutenöffnung 2,5 mm, die Nuttiefe 26 mm, die Nutbreite 8,5 mm, die gesamte Nutenzahl 54. Die Blechstärke beträgt in Stator und Rotor 0,5 mm.

Zur Erzeugung eines Wechselfeldes wurden 2 Statorphasen in Serie geschaltet. Ein elliptisches Drehfeld entstand, wenn man noch der dritten Phase eine 90° zur ersten Spannung phasenverschobene Klemmenspannung aufdrückte. Das elliptische Feld wurde also zweiphasig erzeugt, wobei allerdings durch die ungleiche Verteilung der beiden Phasen über die Polteilung eine Unsymmetrie entstand.

<sup>1)</sup> Bragstad und Fraenckel a. a. O.

Zur Bestimmung der Verluste müssen die dem Stator elektrisch und die dem Rotor mechanisch zugeführten Leistungen gemessen

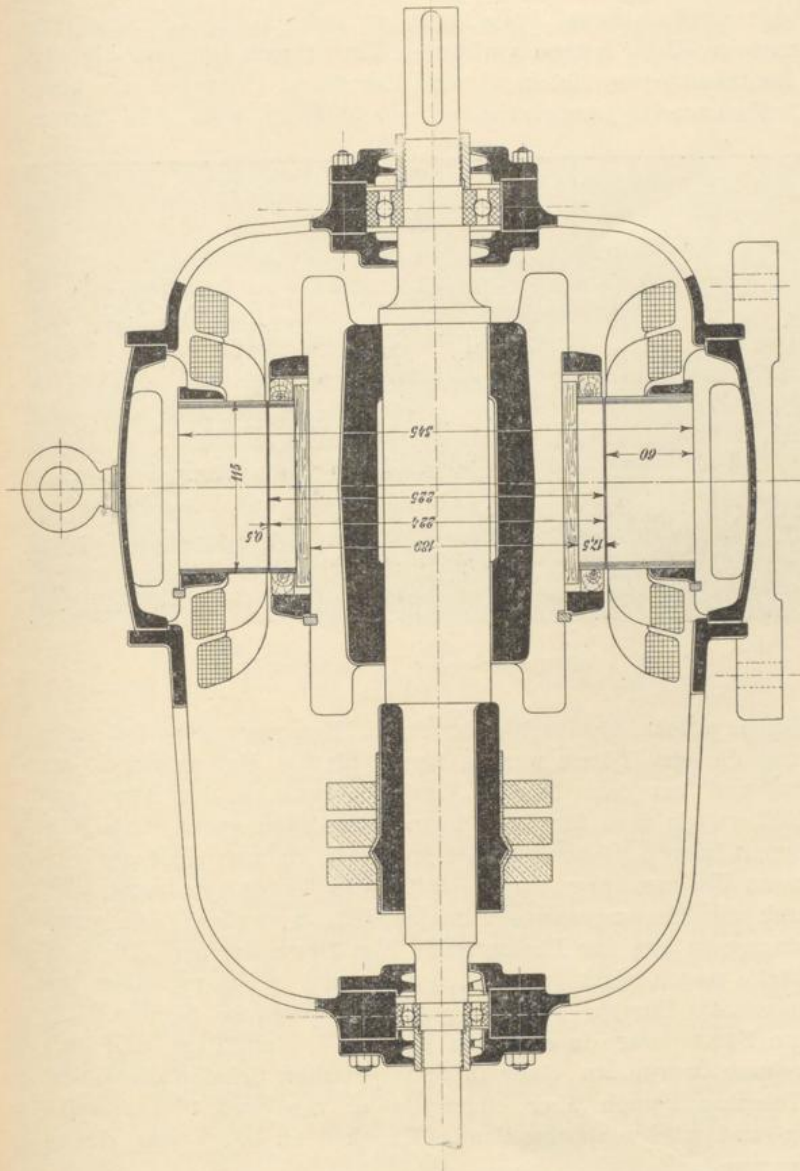


Fig. 17. Längsschnitt durch die Versuchsmaschine.

werden. Zur genauen Bestimmung der zuletzt genannten Verluste war der Rotor mit dem ihn antreibenden Gleichstrommotor durch

eine Spiralfeder gekuppelt, aus deren Verdrehung das übertragene Drehmoment bestimmt wurde. Diese Meßmethode ist vor einigen Jahren von E. Arnold angegeben worden.<sup>1)</sup> Auf der antreibenden und der angetriebenen Welle befindet sich je ein Kontaktstück, das mit der Welle leitend verbunden ist. Durch Bürsten, die auf den Kontaktstücken schleifen, wird der Strom einer Batterie über ein Meßinstrument jedesmal dann geschlossen, wenn die Bürsten

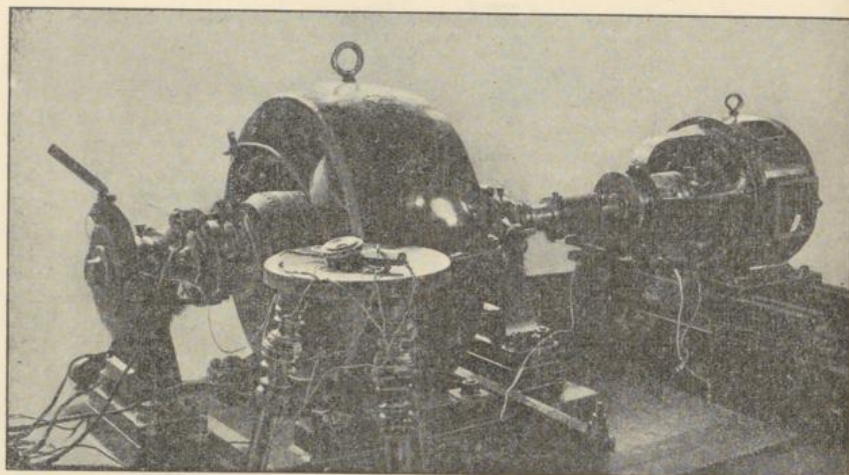


Fig. 18. Gesamtansicht der Versuchsanordnung.

die Kontaktstücke gleichzeitig berühren. Man verschiebt bei jeder Messung die eine Bürste nun so lange, bis das Meßinstrument anspricht, und hat dann in dem Verdrehungswinkel der Bürste aus der Nullage ein Maß für das übertragene Drehmoment. Als Meßinstrument wurde bisher ein Galvanometer benutzt. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde dafür ein Telephon verwendet, wodurch die Messungen wesentlich erleichtert werden. Die ganze Anordnung ist aus der Photographie Fig. 18 zu ersehen. Die Kontaktstücke waren nicht ganz 1 mm breit und in Fiberscheiben eingelassen. Als Bürsten wurden schmale Silberstücke benutzt. Die vordere Bürste war durch einen Handgriff verstellbar, und ihre Verdrehung wurde an einer in 360° geteilten Scheibe abgelesen. Das Telephon sprach über einen Bereich von etwa 1° an, wobei ein an- und wieder abschwelldendes Knacken zu hören war, dessen

<sup>1)</sup> Eine Konstruktionszeichnung befindet sich u. a. in Ottenstein, Die Wirbelstromverluste in massiven Armaturkupferleitern, Voitsche Sammlung elekt. Vorträge, Bd. V.

Maximum sich deutlich erkennen ließ. Sehr schön ließen sich auch Pendelungen der Feder beobachten.

Es wurde nun jedesmal der gewünschte magnetische Zustand im Motor hergestellt und die zugehörige Bürstenstellung ermittelt. Dann wurde der Strom im Stator unterbrochen und die neue Stellung der Bürste beobachtet. Die so gefundene Verdrehung der Feder war dann ein Maß für das zur Deckung der Eisenverluste übertragene Drehmoment. Bei dieser Methode ist man von der Größe der Reibung unabhängig, falls man davon absieht, daß in der kurzen Zeit zwischen den beiden Messungen sich die Reibung etwas ändern kann, und daß die Reibung in der belasteten und der unbelasteten Maschine z. B. durch einseitigen magnetischen Zug möglicherweise eine andere ist.

Die Eichung der Kupplungsfeder wurde bisher im ruhenden Zustande vorgenommen, indem man annahm, daß der Einfluß der in der rotierenden Feder auftretenden Zentrifugalkräfte zu vernachlässigen sei. Da aber diese Vermutung nicht ohne weiteres plausibel erschien, wurde die folgende einfache Methode ausgebildet, die es gestattet, die rotierende Feder zu eichen. Es wurde auf die Welle des Versuchsmotors eine Wirbelstrombremse aufgesetzt und bei verschiedenen, jedesmal konstant gehaltenen Tourenzahlen eine Belastungsreihe aufgenommen. Die Messung erfolgte in der eben beschriebenen Weise, so daß die Größe der Lager- und Luftreibung nicht in Betracht kam. Auf diese Weise erfolgte eine direkte Abgleichung des von der Feder übertragenen Drehmomentes. Man hat hierbei noch den großen Vorteil, daß man unabhängig von technischen Instrumenten nur unter Verwendung von Gewichten ein Verfahren zur Messung von zugeführter Leistung besitzt, also fast absolut genaue Bestimmungen machen kann.

Die so durchgeführten Versuche haben ergeben, daß zwar innerhalb der für die vorliegende Untersuchung in Betracht kommenden Drehmomente bei jeder Tourenzahl Proportionalität zwischen Federverdrehung und Drehmoment herrscht, daß aber mit wachsender Tourenzahl bei gleichem Drehmoment die Verdrehung größer wird. In der folgenden Tabelle ist zusammengestellt, wieviel mmkg 1° Verdrehung der Feder bei verschiedenen Tourenzahlen entspricht.

Tourenzahl $n$	1° = mmkg	Tourenzahl $n$	1° = mmkg
300	2,90	800	2,70
400	2,85	900	2,66
500	2,80	1000	2,63
600	2,76	1100	2,60
700	2,73	1200	2,59

Rad t, Eisenverluste.

3

Die zu den Versuchen benutzte Feder war 5 mm stark. Eine dickere Feder zeigte dieselben Erscheinungen, wenn auch nicht ganz so deutlich.

Die durch die Feder übertragenen Watt berechnen sich zu

$$\text{Watt} = \frac{\vartheta \cdot n}{974}.$$

Bei 300 Umdrehungen entspricht also 1° Verdrehung 0,9 Watt, bei 1200 Umdrehungen 3,2 Watt. Da man  $\frac{1}{2}^\circ$  noch sicher ablesen kann, ist die Genauigkeit der Meßmethode sehr gut.

Zur Bestimmung der Induktion im Luftspalt wurde der Rotor mit einer Prüfspule versehen, die eine Polteilung umfaßte. Sie bestand aus 12 Windungen Emailedraht von 0,25 mm Durchmesser und lag in einer Nut von etwa 1 mm Breite und 2 mm Tiefe. Die induzierte EMK wurde teils mit einem Westonvoltmeter von 150 Ohm Widerstand, teils mit einem Spiegelinstrument von mehreren 1000 Ohm Vorschaltwiderstand gemessen, so daß der Spannungsabfall des Meßstromes zu vernachlässigen war. Bei verschiedenen Sättigungen wurde oszillographisch die Kurve der EMK in der Prüfspule aufgenommen und daraus der Formfaktor der Welle bestimmt. Da die Sättigungen, um die Feldform nicht zu verzerren, klein gehalten wurden, änderte sich der Formfaktor von der größten bis zur kleinsten Sättigung nur um 1%.

### 9. Die Korrekturen.

Um die Größe der Eisenverluste selbst zu bestimmen, sind an den gemessenen Werten im allgemeinen eine Reihe von Korrekturen vorzunehmen. Neben den Korrekturen, die die abgelesenen Werte an Hand der Eichkurven der Instrumente erfahren, ist von großer Bedeutung die Berücksichtigung der Stromwärmeverluste, die oft 30 bis 50% und mehr der ganzen gemessenen Leistung betragen. Die Bestimmung des Ohmschen Widerstandes der Statorwicklung genügt, obwohl dies oft allein ausgeführt wird, nicht. Bei Wechselstrom treten durch den Skineneffekt und die in den massiven Kupferleitern induzierten Wirbelströme zusätzliche Verluste auf, deren Größe man ungefähr kennen muß. Auch treten bei zunehmender Sättigung der Zähne andere Streuverhältnisse für die Nuten ein, und die von den Streuflüssen herrührenden zusätzlichen Eisenverluste ändern sich. Alle diese Verluste kann man unter den Begriff Stromwärmeverluste zusammenfassen, wobei ein mit dem Strome wachsender Widerstand  $r$  einzuführen ist. Zur Bestimmung von  $r$  wurde folgender Versuch gemacht: