

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die unipolare Gleichstrommaschine

Ugrimoff, Boris von

Berlin, 1910

IV. Die Unipolarmaschine des Verfassers

[urn:nbn:de:bsz:31-274883](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274883)

sich daraus, daß der Asynchronismus (die Schlüpfung) der Luft in einer schmalen Furche geringer ist als in einer breiten. Die letzten Versuche des Verfassers haben ergeben, daß das Maß φ nicht größer als ein oder anderthalb Millimeter betragen soll. Dann wird die Höhe der Begleitwelle nicht größer als 20 mm werden, bei $r=720$ mm und $h=2$ mm, und kann man bei einer Tiefe der Furche von 25 mm arbeiten ohne befürchten zu müssen, daß die Welle über den Rand der Furche hinauschießt.

IV. Die Unipolarmaschine des Verfassers.

Im Herbst 1908 wurde mit dem Bau der Unipolarmaschine begonnen, die mit Stromabnehmern in Form von den obenbeschriebenen Gleitkontakten mit Wasserkühlung versehen ist. Die Dimensionen der Maschine wurden genügend groß gewählt, damit die Eigenschaften einer Betriebsmaschine in ihr prägnanten Ausdruck fänden und sie nicht nur als ein Modell erschiene.

Beim Projektieren dienten folgende Prinzipien als Grundlage:

1. Die Leistung der Maschine soll ungefähr 80 KW betragen.
2. Die Maschine soll ungefähr 40 Volt Spannung erzeugen.
3. Die Zahl der Umdrehungen soll ungefähr 8000 in der Minute sein.
4. Die Abkühlung der Maschine hat durch Luft und durch Wasser, durch Verspritzen und Verdampfen desselben zu geschehen.

In allen oben angeführten Angaben wird das Wort „ungefähr“ gebraucht, da bei dieser vollständig neuen Konstruktion es unmöglich war, eine genaue Berechnung anzustellen, denn einige Bedingungen konnten erst später, nach einer ganzen Reihe von Experimenten, in Erfahrung gebracht werden.

Fig. 90 stellt den vertikalen Schnitt durch die Unipolarmaschine des Verfassers dar. Der Scheibenanker S rotiert auf einer Achse in dem Stator aus Stahlguß M , der als leitendes Medium für den durch die Windungen E hervorgerufenen Kraftfluß dient.

Durch B ist der Stromabnehmer bezeichnet und durch A die Zuleitung für Wasser und Quecksilber. F_1 und F_2 bezeichnen die Hauptlager und C eine Vorrichtung zum Ausbalancieren.

In der Figur 91 ist die Maschine im Betriebe aufgenommen, und zwar bei der Speisung der 40 voltigen Metallfadenlampen. Auf der Photographie sind deutlich sämtliche provisorisch eingerichteten Öl- und Wasserröhren dargestellt. Wie bei der großen Tourenzahl und kleinen Scheibe der Dynamo der Riemen außerordentlich ge-

spannt sein mußte, ist aus der Tatsache zu ersehen, daß die Vibration des Riemens bei der Aufnahme sehr klein war.

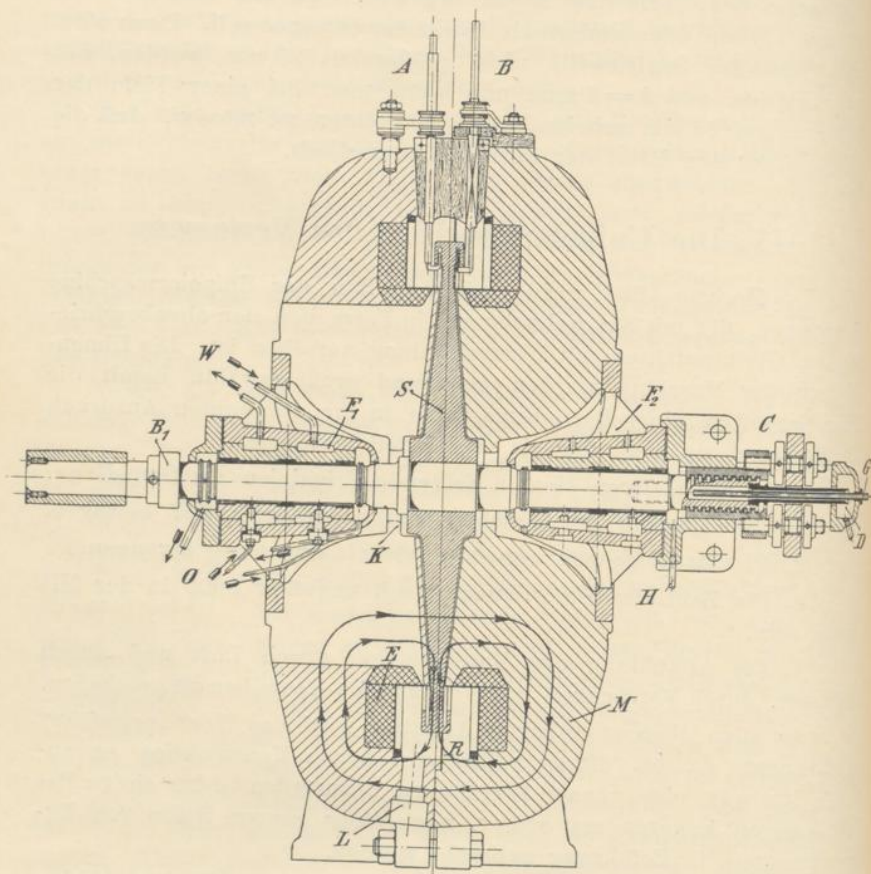


Fig. 90.

Der Anker. Der Anker ist bei so raschlaufenden Maschinen der wichtigste Teil und muß deshalb aus dem besten erhältlichen Material hergestellt werden. Für diesen Fall wurde Kruppscher Chrom-Nickelstahl von folgender Zusammensetzung gewählt:

$$C = 0,52\%, \quad Ni = 2,88\%, \quad Cr = 2,82\%.$$

Der Stahl wurde auf seine Festigkeit im mechanischen Laboratorium der Kaiserlichen Technischen Hochschule geprüft, wobei zur Bestimmung der Dehnung der Apparat von Martens-Kennedy verwendet wurde. Die Resultate waren folgende:

Die Zugfestigkeit $\sigma_{max} = 104,28 \text{ kg/mm}^2$,
 Dehnung bis zum Bruch 12% ,
 Einschnürung an der Bruchstelle $q = 33,6\%$,

In dem weiter unten befindlichen Diagramm ist (Fig. 92) die Dehnungskurve dieses Chrom-Nickelstahles bis zur Proportionalitätsgrenze dargestellt, als Abszissen sind die relativen (proportionalen) Dehnungen $\frac{\lambda}{l}$ aufgetragen, als Ordinaten die entsprechenden Belastungen pro Quadratcentimeter Querschnitt.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß man bei dem untersuchten Material bis zu einer Belastung von 75 kg/mm^2 gehen kann, ohne daß die Proportionalitätsgrenze der Dehnung erreicht wird.

Da jedoch bis jetzt der Chrom-Nickelstahl nicht als Leiter für den magnetischen Kraftfluß verwendet worden ist und auch in der Literatur keinerlei Angaben über die magnetischen Eigenschaften des Chrom-Nickelstahls von der obenerwähnten chemischen Zusammensetzung vorhanden sind, wurde dieser Stahl mit Hilfe des Koepselschen Apparates untersucht. Die ermittelte Magnetisierungskurve ist in dem Diagramm Fig. 93 dargestellt, auch wurde die Kurve der Abhängigkeit der Induktion B von der Zahl der Amperewindungen pro 1 cm Pfadlänge des Kraftflusses berechnet; dieselbe ist in Fig. 94 wiedergegeben.

Bei der Konstruktion der Scheibe, die als Anker in der Unipolarmaschine des Verfassers dienen sollte, waren erhebliche Hindernisse zu überwinden. Die Methode der Berechnung von raschlaufenden Scheiben, die Professor Stodola in seinem bekannten Werk über die Dampfturbinen angibt,

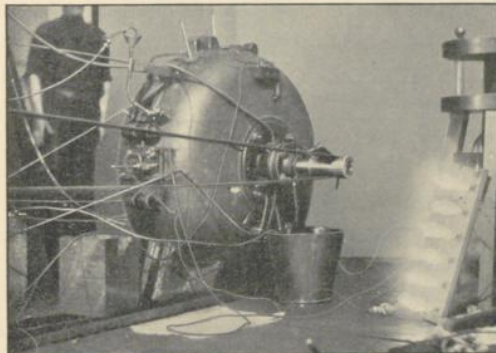


Fig. 91.

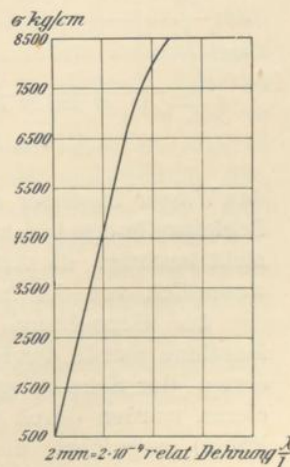


Fig. 92.

kann nicht angewendet werden, wenn die Form der Scheibe von vornherein festgelegt ist, denn in diesem Falle können die Differentialgleichungen nicht graphisch dargestellt werden. In unserem Falle ist die ganze Form des äußeren Randes genau bestimmt, da er zur Stromabgabe dienen muß.

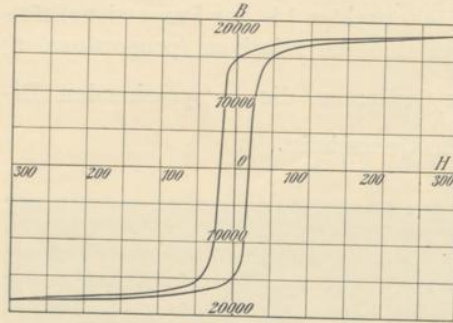


Fig. 93.

Die Form dieses Ankers mit seiner Welle ist in der Fig. 90 leicht zu erkennen. Da es also unmöglich war, eine solche Scheibe genau zu berechnen, wurde eine Reihe ähnlicher Scheiben von einfacherer Form berechnet, die sich jedoch in der Form der in der Zeichnung dargestellten Scheibe näherten. Aus diesen Berechnungen ging hervor, daß die größte Beanspruchung des Scheibenmaterials, die in der Nabe der Scheibe bei 8000 Touren auftritt, ungefähr bis zu 40 bis 50 kg beträgt.

Die beiden Furchen zur Aufnahme von Wasser und Quecksilber wurden nicht gleich gemacht, um zu ermitteln, welche Form der

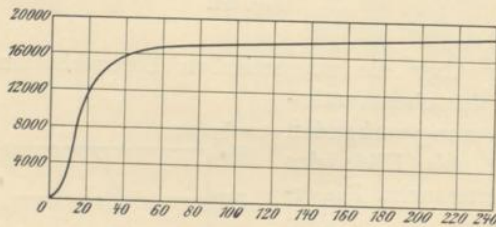


Fig. 94.

Furche sich als vorteilhafter erweist. Die linke Furche ist bis auf eine Tiefe von 21 mm 5 mm breit gemacht, die weiteren 4 mm der Tiefe sind nur 3 mm breit gemacht. Man konnte annehmen, daß das Quecksilber und das Wasser in dieser schmälere Furche eine günstigere Form der Begleitwelle ergeben würden. Jedoch haben sich diese Erwartungen nicht bestätigt, die Arbeit der linken Furche unterschied sich nicht wesentlich von der in der rechten Furche.

Die Herstellung der in Fig. 90 dargestellten Scheibe der Maschine wurde der Firma Friedrich Krupp übertragen, das Aufsetzen der Scheibe auf die Welle und das dynamische Ausbalancieren wurden durch die Maschinenbauanstalt Humboldt (Kalk am Rhein) ausgeführt, die die de Laval-Turbinen baut. Die Welle wurde gleichfalls aus bestem Stahl hergestellt und wurde am rechten

Ende mit einem besonderen Zapfen versehen, um die Scheibe mit der Welle in axialer Richtung verschieben zu können. Da man keine große Streuung der Kraftlinien voraussetzen konnte, so war auch nicht zu erwarten, daß bei richtiger Einstellung der Scheibe bedeutende axiale Kräfte auftreten könnten, deswegen wurde dieser Einstellungszapfen auch nicht besonders massiv gemacht. Diese ursprüngliche Konstruktion des Zapfens¹⁾ mußte jedoch nachträglich durch einen Kammzapfen ersetzt werden²⁾. Damit das Öl aus den Lagern nicht in die Maschine gelangen kann, sind an beiden Seiten der Scheibe auf der Welle Spritzringe ausgedreht. Die Scheibe ist auf der Welle nicht durch Keile, sondern durch hydraulische Pressung befestigt.

Die Berechnungen der kritischen Geschwindigkeit wurden nach Angaben des Professors Stodola für zwei Fälle ausgeführt. Im ersten Falle wurde angenommen, daß die Welle sich nur auf der Länge $2l_2$ zwischen den Lagern durchbiegen kann. Wir können eine solche Annahme zulassen, da wegen einer besonderen Konstruktion der Lagerschalen diese in eingespanntem Zustande absolut starr sind. Für den Fall jedoch, daß das Babbitmetall in den Lagern sich ausarbeitet und die Welle einiges Spiel in den Lagern hat, kann man die kritische Geschwindigkeit berechnen, unter der Annahme, daß die Welle sich auf der Länge $2l_1$ zwischen den Mitten der Lager durchbiegen kann. Im ersten Falle ergab sich die kritische Geschwindigkeit zu ca. 14000, im zweiten ungefähr gleich 4800.

Der Stator. Der Stator der Maschine besteht aus Stahlguß und ist von der Moskauer Metallfabrik (J. Goujon) hergestellt. Er besteht aus zwei Hälften, die durch Schrauben vereinigt sind. Die Teile des Stators haben runde Ventilationsöffnungen und rechteckige Aussparungen zum Anbringen der Messer [im Gesamtschnitt (Fig. 90) sind diese mit dem Buchstaben *B* bezeichnet] und der Röhren, die das Wasser und das Quecksilber zuführen (in Fig. 90 mit dem Buchstaben *A* bezeichnet). Die Poloberflächen des Stators sind abgedreht und stellen eine zusammenhängende Fläche dar, jedoch sind dieselben nur bis zu einer geringen Tiefe (ca. 7 mm) massiv, weiterhin sind die Pole in radialer Richtung durchschnitten, um dem durch den Ankerstrom hervorgebrachten rückwirkenden Magnetfluß einen größeren Widerstand entgegenzusetzen. Diese Trennschnitte sind ca 6 mm breit und sind in den Teilen des Stators in verschiedene Ebenen verlegt, um dadurch eine größere Gleichmäßigkeit des magnetischen Kraftflusses zu erzielen.

1) Auf Fig. 90 nicht angegeben.

2) Siehe: Die Balancier Vorrichtung, Seite 82.

Da während der Arbeit eine erhebliche Menge Wasser in die Maschine eingeleitet wird, das teilweise verdampft und teilweise verspritzt wird, wurde es erforderlich, die Erregerspulen in den Körper des Stators derart einzubetten, daß die Feuchtigkeit nicht zu ihnen Zutritt hat.

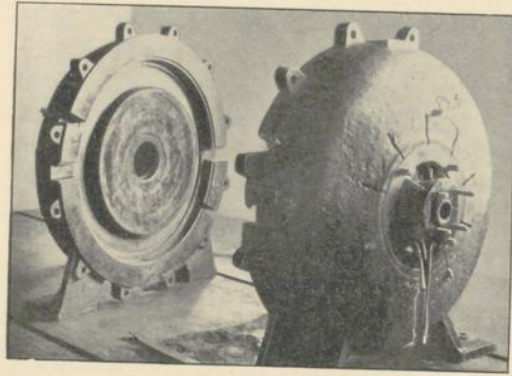


Fig. 95.

Außerdem mußten die erregenden Windungen symmetrisch zu beiden Seiten der Ankerscheibe verteilt werden, damit die magnetische Streuung, durch die ein axialer Druck auf die Welle des Ankers hervorgerufen wird, möglichst gering ausfällt. Die Bewicklung jeder der Statorhälften besteht aus zwei Spulen, deren Anfänge und Enden in entsprechender Weise durch Klemmen auf den seitlichen Außenflächen des Stators befestigt werden, wie aus der Photographie des auseinandergenommenen Stators (Fig. 95) zu ersehen ist.

Die inneren Hälften dieser beiden Spulen, die den Polschuh umfassen, werden von Hand gewickelt, wobei die entsprechenden Statorflächen vorher mit englischem Isolierleinen bekleidet werden. Die oberen (rechtwinkligen) Spulen können auf einer Schablone gewickelt werden und dann, in fertigem Zustande, gleichfalls mit Isolierleinen versehen, in den ihr zugewiesenen Raum eingebracht werden. Nachdem die Spulen in die richtige Lage gebracht sind, werden sie durch eine Messingplatte abgedeckt, die einerseits durch einen eisernen federnden Ring an eine Gummisehnur angeedrückt wird, und andererseits, an der inneren Öffnung, durch einen Ring aus 1 mm starkem Gummi abgedeckt wird (Fig. 90).

Über den Enden dieses Gummiringes befinden sich Bandagen aus Nickel- und Stahldraht, die den Gummiring hermetisch an den Pol, sowie an die Messingscheibe pressen. Solch eine Schutzvorkehrung der Erregerwicklung vor dem Einfluß des Wassers erwies sich als vollkommen zweckentsprechend, weil während der ganzen Arbeitszeit im Sommer des Jahres 1909 kein einziger, durch Naßwerden der Statorwicklung hervorgerufener Kurzschluß zu verzeichnen war.

Die Lager. Bei der hohen Umdrehungszahl der Maschine

mußte die Konstruktion der Lager mit Vorsicht gewählt werden. Vor allen Dingen mußte eine gute Schmierung und eine starke Kühlung gesichert werden. Zu diesem Zweck war eine Druckschmierung verwendet und die Kühlung durch die Zirkulation von Wasser bewerkstelligt, das aus der städtischen Wasserleitung entnommen wurde. Auf der Abbildung des Gesamtschnittes Fig. 90 bezeichnet *W* den Zu- und Abfluß des Wassers und *O* dasselbe für das Schmieröl.

Die Balancier Vorrichtung. Für die magnetische Balancierung des Ankers, mit anderen Worten, für seine Fixierung in solchen Lagen, bei denen sich die Poleinfüße auf den Anker gegenseitig aufheben, und ihm auf diese Weise das Bestreben genommen wird, sich in der Richtung der Achse zu verschieben, wurden zwei Konstruktionen verwendet: Die erste von ihnen, die, wie es sich nachher herausstellte, nicht dem Zweck entsprach, weil sie zu schwach für die zeitweilig auftretenden Kräfte war, verdient doch einiges Interesse. Sie gestattete eine im magnetischen Sinne doch genaue Ausbalancierung des Ankers und unterscheidet sich dadurch von allen bisher bekannten Konstruktionen (wie z. B. Wait, Forbes).

In Fig. 96 ist diese Vorrichtung im Schnitt dargestellt. Der Wellenzapfen tritt in die Hülse 10, die bei der Montierung von unten eingeführt wird. Vermittels der inneren zylindrischen Mutter 11 und Gegenschraubenmutter 12 wird der Wellenzapfen in der Hülse nach links gepreßt, jedoch so, daß er, ohne Spielraum zu haben, sich frei in der Hülse drehen kann.

Mit Hilfe der Ringe 13 und 14 läßt sich die ganze Hülse zusammen mit den Zapfen und der Welle nach rechts rücken. Um einer Drehung der Hülse mit dem Zapfen vorzubeugen, ist sie unten mit einer Schraube versehen, die in die entsprechende Öffnung im Deckel 6 paßt.

Die Schmierung der Balancier Vorrichtung geschieht mit Öl unter Druck, das durch eine im Zentrum des Deckels gebohrte Öffnung seinen Zutritt findet. Der Deckel ist hermetisch an den Lagerdeckel gepreßt. Wie erwähnt, gestattete die beschriebene Vorrichtung eine im magnetischen Sinne genaue Balancierung des Ankers, dieses war jedoch nicht beim laufenden, sondern stillstehenden Anker möglich. Während des Laufes blieb nichts übrig, als mit Hilfe von Rheostaten zu balancieren; das geschah durch die Veränderung der Stromstärke, abwechselnd für die rechte und linke Spule. Diese Vorrichtung arbeitete ungefähr einen Monat, bis einmal eine zufällige Unterbrechung des Stromkreises in einer der Statorspulen erfolgte (die Spulen waren parallel geschaltet).

Dadurch wurde eine so große Axialkraft am Anker hervorgerufen, daß der Zapfen der stählernen Welle abgerissen wurde und in der Hülse stecken blieb. Da das Material der Welle von hoher Güte war und einen Zugfestigkeitskoeffizienten von 90 kg/mm^2 besaß, der Durchmesser des Zapfens an der schmalsten Stelle 15 mm betrug, so erweist sich, daß die aufgetretene Kraft ungefähr 16 t gleichkam. Solch eine Beanspruchung war bei der Dimen-

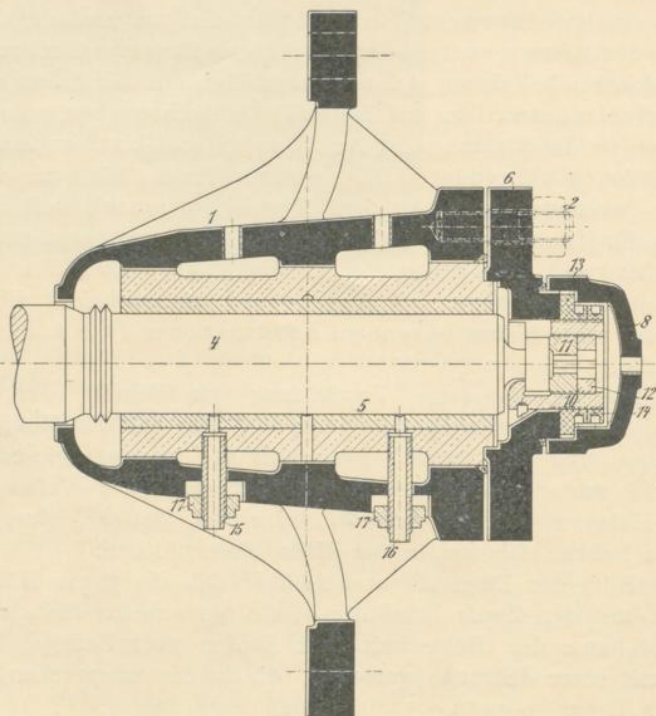


Fig. 96.

sionierung des Zapfens nicht in Betracht gekommen, weil die Erregung des Kraftlinienfeldes nur in einer Hälfte des Stators nicht vorausgesehen war.

Nach diesem Mißerfolge der beschriebenen Balancier Vorrichtung wurde zum Entwurf einer stärkeren Konstruktion geschritten, und zwar einer solchen, die das magnetische Balancieren während des Laufes gestattet. Es war festgestellt worden, daß sogar nach einer genauen vorhergehenden magnetischen Balancierung der Anker aus der magnetischen Gleichgewichtslage treten kann, z. B. bei der Wellenverlängerung infolge der mit der Steigerung der Tourenzahl

verbundenen Temperaturerhöhung. Diese zweite Vorrichtung wurde von der Maschinenfabrik Gustav List in Moskau mit größter Sorgfalt hergestellt. Es erwies sich aus den Versuchen mit der ersten Balancier Vorrichtung, sowie aus allen nächstfolgenden, daß die magnetische Balancierung bis zu einer Genauigkeit von 0,01 mm gebracht werden muß.

Diese hohen Anforderungen bedingten eine Konstruktion, die in der Fig. 97 u. 98 angeführt ist.

Die Ankerwelle wurde da, wo sich der abgerissene Zapfen befand, ausgebohrt, um einen stählernen zylindrischen Zapfen anzuschrauben, der mit einem Kamm versehen war.

Die auf den Kamm gelegten Schalen werden von einem gußeisernen Halter G umfaßt, der mit Schrauben am Lagerkörper befestigt ist und aus zwei miteinander verschraubbaren Teilen besteht. Im Halter G , sowie in jeder Schalenhälfte sind Nuten für Federn vorhanden, um einer Drehung der Schalen mit der Welle vorzubeugen. Diese Federn müssen nicht fest angezogen werden und dürfen der Verschiebung der Schalen längs der Achse der Maschine nicht hindern, weil die Balancierung mit Hilfe der Stellschrauben D_1 und D_2 (Fig. 97 u. 98) vor sich geht.

In der Fig. 98 ist die Ansicht der Balancier Vorrichtung von oben gegeben. Die Balancierung selbst besteht darin, daß vermittle der oberen Schale des Kammlagers die Welle nach der einen Seite geschoben wird, mit der unteren Schale nach der anderen Seite. Auf diese Weise arbeitet jeder Kammring mit seinen beiden Seiten, und der Welle wird bei einer exakten Einstellung kein Spielraum in axialer Richtung gelassen. (Aus den Versuchen erwies es sich jedoch, daß die in Fig. 97 u. 98 angeführte Konstruktion, was die Kühlung anbetrifft, besonders gesichert sein soll.) Deshalb wurde eine Wasserkühlung des Kammes selbst vorgenommen. Zu diesem Zwecke wurde der Körper des Kammes ausgebohrt (Fig. 97) und in die Bohrung ein Fassonröhrchen B eingeschraubt, das mit seiner rechten Seite in die Kammer E einmündet. Frei durch diese Röhre ist ein feines Röhrchen C verlegt, das mit einem Nippel in Kammerkörper E verschraubt ist. Durch diese Röhrchen tritt das Kühlwasser in den Kamm und zirkuliert in demselben in der Richtung der Pfeile in Fig. 97. Bei einigen Versuchen wurde die magnetische Balancierung nicht nur durch die Axialverschiebung des Ankers bewerkstelligt, sondern auch durch die Veränderung der Stromstärke in der rechten und linken Erregerspule E (Fig. 90). In diesem Falle waren beide Erregerspulen parallel geschaltet und in jede ein Regulier rheostat eingeschaltet. Durch die Veränderung der Stromstärke in den Spulen vermittle des Rheostaten wurde

zugleich auch eine Änderung der magnetischen Streuung in der betreffenden Spule erzielt, folglich änderte sich auch die axial auf den Anker wirkende anziehende Kraft. Das Bild der magnetischen Streuung läßt sich so darstellen, wie es Fig. 90 zeigt, die Kraftlinien, die aus der äußeren Peripherie der Scheibe unter einem Winkel austreten, rufen die Axialdrücke hervor, die radial austretenden erzeugen keinen Druck.

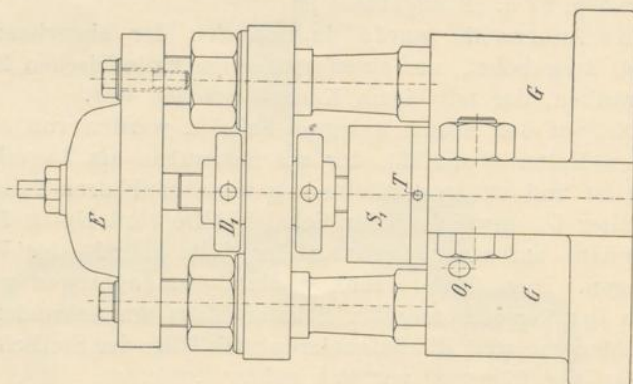


Fig. 98.

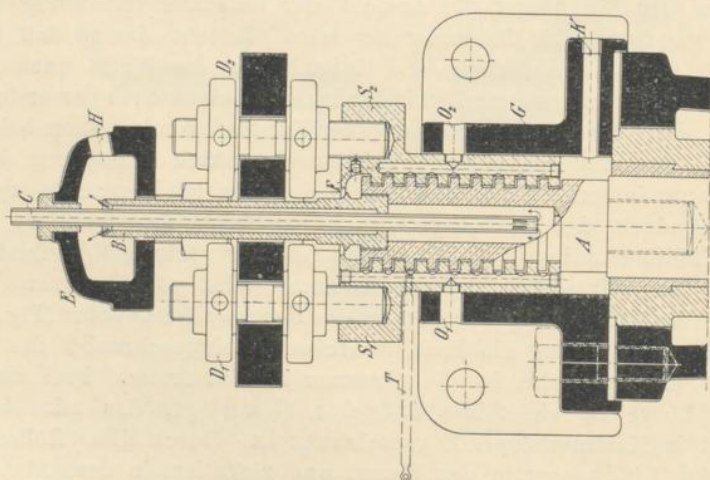


Fig. 97.

Auf solch eine Verteilung der zerstreuten Kraftlinien basierend, schlug der als Gehilfe bei den Versuchen beteiligte Student K. Schenfer folgende Konstruktion der Balancier Vorrichtung vor, die automatisch arbeitet. Hintereinander in jede der parallel geschalteten Spulen werden eine oder ein paar Windungen aus Wismutdraht eingeführt, die in die Nähe der Klemmringe *K* (Fig. 90) ver-

legt werden. Bekanntlich verändert sich der Widerstand des Wismuts mit der Dichte des Magnetfeldes, in dem es sich befindet. Wenn man diese Eigenschaft benützt, so kann sich der Erregerstrom in der Spule E , gemäß der Verstärkung oder Schwächung des die Wismutwindungen beeinflussenden Magnetfeldes ändern und eine automatische magnetische Balancierung herstellen.

Die Schmierung. In Anbetracht der hohen Tourenzahl der Maschine muß, wie erwähnt, das Schmiermaterial unter Druck ins Lager sowie in die Balanciervorrichtung treten. Zwei kleine Zentrifugalpumpen bewirkten eine Ölzufuhr unter dem Drucke ca. einer Atmosphäre zu den Öffnungen o_1 und o_2 der Kammlagerschalen (Fig. 97). Von hier verbreitete sich das Öl durch die horizontalen Kanäle über den ganzen Kamm. Das abgearbeitete Öl trat durch die Öffnungen K und F heraus. Mit großer Sorgfalt mußte die Schmierung des Kammlagers gesichert werden, weil bei den verhältnismäßig kleinen Dimensionen des Kammes die kleinste Anfrassung eines einzigen Kammringes zu einer äußerst raschen Temperaturerhöhung der ganzen Vorrichtung führt und das Öl sein Schmiervermögen verliert. Während der Versuche erreichte die lineare Geschwindigkeit der Kammringe bis 16 m/sek, und darum ist es verständlich, daß die kleinste Verstimung in der magnetischen Balance eine große Reibungsarbeit und eine bedeutende Erwärmung der Vorrichtung zur Folge hatte.

Zum Zwecke einer strengen Kontrolle der Balancierung wird in die obere Kammlagerschale ein Thermometer geführt (s. Fig. 97), das als sehr empfindlicher Anzeiger der richtigen Lage der Scheibe zwischen den Polen dient. Auf Umwegen konnte man über die Genauigkeit der Balancierung, nach den Angaben des Amperemeters, urteilen, der über die dem Antriebsmotor zugeführte Stromstärke Aufschluß zu geben hatte. Die Schmierung der Hauptlager ist aus der Fig. 90 leicht zu ersehen.

Die Gleitkontakte. Zur Leitung des Stromes aus der unipolaren Maschine ins Netz ist dieselbe mit Gleitkontakten B (Fig. 90) für große Geschwindigkeiten versehen. Sie entnehmen den Strom von der Peripherie der Scheibe und sind in der Idee ähnlich dem oben beschriebenen Gleitkontakt. Für kleine Peripheriegeschwindigkeiten dient Kontakt B_1 (Fig. 90). Da ein solcher sich nicht von den üblichen Gleitkontakten unterscheidet und aus an einen Stahlring gedrückten Messingbürsten besteht, so soll ihm weiter keine Aufmerksamkeit geschenkt werden. Was den Gleitkontakt B für hohe Geschwindigkeit anbelangt, so besteht er in folgendem: In die Furche der Scheibe wird in radialer Richtung ein Messingträger eingeführt, der am Stator mit dem aus drei Fassonkeilen bestehenden

System befestigt ist. An das untere Ende des Trägers wird mit drei Schrauben der dicke eiserne Teil (Klingehalter) des Messers befestigt, der mit einer dünnen, scharfen, auswechselbaren Klinge aus Nickelstahl versehen ist.

Aus den Versuchen ging hervor, daß eine Klinge 10 bis 15 Stunden arbeiten konnte: nach Ablauf dieser Frist muß eine neue eingestellt werden. Solche auswechselbare Klingen kosten bei einer Massen-

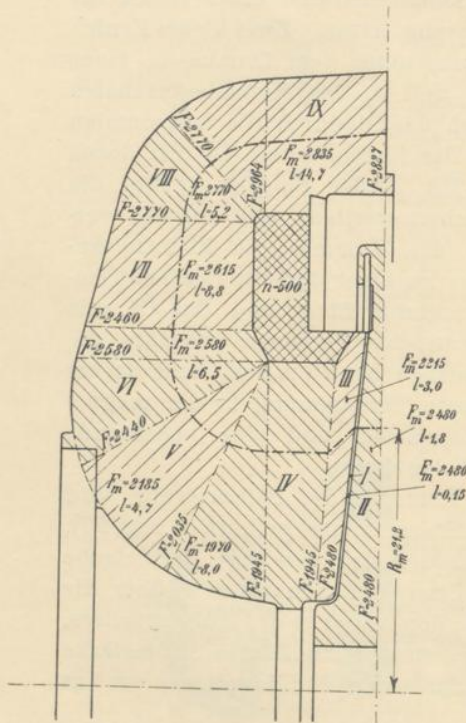


Fig. 99.

fabrikation nur einige Kopeken und sind leicht und sogar während des Ganges einstellbar. Ebenso wie bei der in den vorhergehenden Abschnitten Versuchsordnung wurde der Kontakt zwischen Messer und Scheibe durch Quecksilber hergestellt, über dem sich das den Kontakt kühlende Wasser befand. Der Träger *B* (Fig. 90) hat in seinem oberen Teil ein Gewinde, auf das zwei Muttern geschraubt werden können, — eine Vorkehrung, die getroffen ist, um die Möglichkeit zu haben, die Lage des Messers in der Rinne zu regulieren und das Quecksilber mehr oder weniger tief zu schneiden. Zwischen den erwähnten Schraubenmutter befindet sich die im Winkel zusammengebogene Öse, die an einem hölzernen Rahmen befestigt ist. Die Vorrichtung zum Eingießen des Wassers und Quecksilbers ist in Fig. 90 durch *A* dargestellt. Die dickwandige eiserne, von zwei Seiten abgefeilte Röhre führt durch den Stator der Maschine und wird mit Hilfe der Keile eingestellt, ähnlich wie es mit dem Messerträger geschieht. Oben und unten hat diese Röhre messingene Ansätze, weiter hat der untere messingene Ansatz seinerseits den knieförmigen Ansatz aus Kupfer, der in die Rinnenvertiefung eintritt. Alle Röhren sind vernickelt. Der Grad der Versenkung der Röhre in die Rinne wird mit den oberen Muttern reguliert, zwischen diese wird die Öse gesetzt, die ihrerseits an dem mit Scheiben aus Fiber und der Nabe isolierten Stift angebracht ist. Eine Isolierung

fabrikation nur einige Kopeken und sind leicht und sogar während des Ganges einstellbar. Ebenso wie bei der in den vorhergehenden Abschnitten Versuchsordnung wurde der Kontakt zwischen Messer und Scheibe durch Quecksilber hergestellt, über dem sich das den Kontakt kühlende Wasser befand. Der Träger *B* (Fig. 90) hat in seinem oberen Teil ein Gewinde, auf das zwei Muttern geschraubt werden können, — eine Vorkehrung, die getroffen ist, um die Möglichkeit zu haben, die Lage des Messers in der Rinne zu regulieren und das Quecksilber mehr oder weniger tief zu schneiden. Zwischen den erwähnten Schraubenmutter befindet sich die im Winkel zusammengebogene Öse, die an einem hölzernen Rahmen befestigt ist. Die Vorrichtung zum Eingießen des Wassers und

der Röhre von dem Maschinengestell ist notwendig, weil widrigenfalls beim Eingießen des Quecksilbers in die Rinne ein Kurzschluß erfolgen kann.

In der vorliegenden Maschine sind vier Messer und vier Röhren für den Eintritt des Wassers und des Quecksilbers vorgesehen.

Die Berechnung der Erregung der Maschine. Bei der Berechnung der Erregung war es mir leider nicht möglich, die Magnetisierungskurve desjenigen Stahles zu benutzen, aus dem der Stator gegossen ist, und deshalb blieb mir nichts anderes übrig,

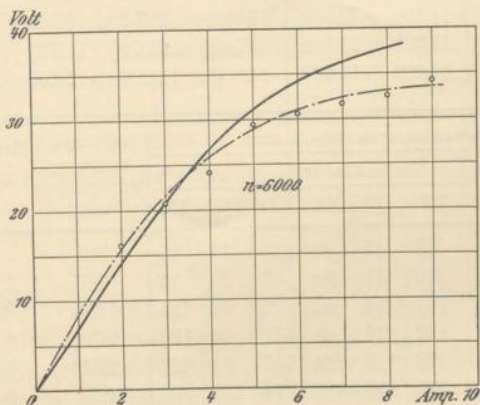


Fig. 100.

als die Kurven der gewöhnlich angewendeten Stahlsorten zu gebrauchen. Bei der Berechnung des Magnetfeldes im Anker wurde die Magnetisierungskurve für Chrom-Nickelstahl benutzt, die auf S. 78 angeführt ist.

Auf der Fig. 99 sind Mittelschnitte F_m und zugleich die Weglängen der einzelnen Teile des Kraftflusses dargestellt. In Tabelle XV sind die Größen der magnetischen Induktionen in den entsprechenden Schnitten (I, II, III usw.) die betreffenden Amperewindungen, die Erregerstromstärke bei einer Windungszahl jeder Spule E gleich 500 und die entsprechende EMK bei 6000 Touren angeführt.

Die auf diese Weise bestimmte Charakteristik ist auf dem Diagramm mit der ununterbrochenen Linie eingezeichnet (Fig. 100). Punktiert ist die statische Charakteristik angedeutet, die auf experimentalem Wege ermittelt wurde. Daß die letztere nicht mit der theoretischen übereinstimmt, ist durch die Minderwertigkeit des Stahles zu erklären.

Tabelle XV.

Windungen pro Spule 500. Umdrehungen pro Minute = 6000.

Kraftflußinduktion B								
Luft	Scheibe	Stator						
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2000	2000	2225	2500	2250	1980	1900	1785	1750
4000	4000	4450	5000	4500	3960	3800	3570	3500
6000	6000	6700	7550	6800	6000	5700	5400	5250
8000	8000	8950	10000	9050	7950	7600	7150	7000
10000	10000	11100	12600	11300	9950	9500	8950	8750
12000	12000	13500	15100	13700	12000	11350	10750	10500
13000	13000	14600	16400	14800	13000	12300	11650	11400

Amperewindungen pro 1 cm									Gesamte Ampere- windungs- zahl	Erreger- strom A	Elektro- motori- sche Kraft
Luft	Scheibe	Stator									
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
240	13	9	28	15	18	23	12	35	393	0,785	5,85
480	18	20	59	31	38	49	25	73	793	1,58	11,7
720	22	32	101	51	60	72	42	115	1215	2,53	17,6
960	24	48	182	76	88	111	60	165	1714	3,42	23,4
1200	29	70	272	115	124	153	83	226	2272	4,54	29,3
1440	34	129	575	216	189	214	112	306	3215	6,43	35,2
1560	42	180	1040	306	247	273	135	378	4161	8,32	38,0

V. Die experimentelle Untersuchung der Unipolar- maschine des Verfassers.

Endlich im Mai 1909 waren sämtliche Einzelteile der Maschine fertig und man konnte mit der Montage beginnen. Die Montage war sehr lästig, weil keine spezielle Werkzeuge im Laboratorium zur Verfügung standen und überhaupt die kleine Laboratoriumswerkstatt nicht so eingerichtet ist, um eine komplette Maschinenmontage auszuführen. Dennoch, Ende Juni war alles fertiggestellt und man konnte mit der experimentellen Untersuchung derselben anfangen.

Die experimentelle Untersuchung der konstruierten Unipolarmaschine zerfällt in:

- die Bestimmung der einzelnen Verluste;
- die Bestimmung der statischen Charakteristik;
- die Bestimmung der dynamischen Charakteristik;
- die Bestimmung des Wirkungsgrades.