

Formspulen-Wicklung

für Gleich- und Wechselstrommaschinen.

Von

Rudolf Krause,
Ingenieur.

Mit 46 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1910.

Formspulen-Wicklung

für Gleich- und Wechselstrommaschinen.

Von

Rudolf Krause,
Ingenieur.

Mit 46 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1910

Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

ISBN 978-3-662-32167-6

ISBN 978-3-662-32994-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-32994-8

Vorwort.

Der Zweck dieser kleinen Abhandlung ist vorwiegend, Studierenden und angehenden Konstrukteuren zu einer deutlichen Vorstellung darüber zu verhelfen, wie die Wickelung einer elektrischen Maschine aussieht. Sobald man sich hierüber klar ist, kann die Wickelung auch gezeichnet werden und damit der Raum, den dieselbe beansprucht, beim Entwurf einer Maschine berücksichtigt werden. Nach Ansicht des Verfassers sind nun Vorstellungsbilder am besten durch bildliche Darstellungen zu entwickeln, weniger durch Beschreibungen. Deshalb nehmen auch die in Perspektive gezeichneten Abbildungen in diesem Buche einen sehr breiten Raum ein. Es wurden absichtlich perspektivische Federzeichnungen gewählt, da die Photographie von ausgeführten Anker und Wickelungen verwirrend wirkt und nicht genügend das Wesentliche betont, während bei der Federzeichnung abweichend von der Wirklichkeit vereinfacht gezeichnet werden und gerade besonders Gewicht auf das Eigentümliche gelegt werden kann.

Altmitzweida bei Mittweida, im Februar 1910.

Rudolf Krause.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Allgemeines über Ankerwickelungen mit Formspulen	7
Allgemeines über Wickelungen	7
Formspulen-Wickelungen und ihre Versuche	7
Die Isolierung der Formspulen	8
Der Lack als Isoliermittel	8
Bandumwickelmaschinen	8
Trocknen und Lackieren im Vakuumofen	9
Umwickeln mit Mikanitröhren	10
Prüfung der Isolation mit höherer Spannung	11
Herstellung der Gleichstrom-Formspulen auf Holzschablonen	12
Formspulen für Stirnwickelung	12
Anker mit Stirnwickelung	13
Wickelung mit mehr als zwei Spulenhälften in der Nut	13
Plattenschablone	13
Holzform zum Pressen der flachen auf Plattenschablone ge- wickelten Spule	14
Mantelwickelung	14
Anker mit Mantelwickelung	15
Holzform für Mantelspulen	15
Herstellung der Gleichstrom-Formspulen auf Scheren	16
Rahmen von FISCHER-HINNEN	16
Schere von FISCHER-HINNEN	17
Neuere Schere, einstellbar für verschiedene Spulen	17
Wickeln auf der neuen Schere	18
Einlegen und Biegen einer Spule in die Nuten	19
Vorteile der neuen Schere	19
Bestimmung der Breite des Wickelungsträgers für Mantelspulen	19
Gewöhnliche Wickelungsart bei Wechselstromankern	21
Allgemeines über die Nutenform bei Wechselstrom	21

	Seite
Einfädeln der Windungen in die Nuten	21
Anker mit eingefädelten Spulen	22
Einführen von Formspulen bei Wechselstrom von oben durch den Nutenschlitz	22
Patent der SIEMENS-SCHUCKERT-Werke 1908	22
Patent von SIEMENS & HALSKE A.-G. 1902	23
Anker mit gleichen Spulen	24
Formspulenwicklung für Wechselstrom von CREEDY	24
Ausführende Firma	24
Arten der Wickelung	25
Holzform für die ältere Art	25
Einschieben von der Stirnseite aus in die Nuten	25
Biegen der Spulen auf der Holzform	26
Einschieben beider Spulenformen in den Anker	26
Aussehen des fertigen Ankers	26
Formspule von CREEDY in neuer Art	27
Holzform dazu für verschiedene Spulen brauchbar	27
Einführen in die Nuten (Zweilochwicklung)	29
Reihenfolge des Einschiebens der verschiedenen Spulen	29
Vorteile der Formspulen für Wechselstrom	29
Zeichnerische Darstellung von Formspulen	30
Übliche Darstellung bei Gleichstrom	30
Übliche Darstellung bei Wechselstrom (Vierlochwicklung)	31
Spulen für große Polteilung mit kreisförmigen Stirnseiten	31



Allgemeines über Ankerwickelungen mit Formspulen.

Der Anker einer elektrischen Maschine ist derjenige Teil, in welchem durch die Einwirkung des Magnetfeldes elektromotorische Kräfte erzeugt werden. Diese elektromotorischen Kräfte kommen dadurch zustande, daß die Drahtwicklung des Ankers und die Magnetpole ihre Lage zueinander ändern. Bei Gleichstrommaschinen geschieht diese Lagenänderung dadurch, daß der Anker gedreht wird, während die Magnete fest stehen, wogegen bei Wechselstrommaschinen gewöhnlich das Umgekehrte ausgeführt wird. Die einzelnen Drähte des Ankers müssen nun in derartiger Weise miteinander verbunden werden, daß sich die in ihnen entstehenden elektromotorischen Kräfte addieren. Man schaltet daher immer solche Drähte hintereinander, welche unter entgegengesetzten Polen an ähnlicher Stelle liegen. Die Wickelungsgesetze, nach denen die Schalten der Drähte geschehen muß, lassen sich in mathematische Formen bringen, was zuerst von ARNOLD¹⁾ geschah. Über die Wickelungsgesetze und die zur Ausführbarkeit erforderlichen Bedingungen soll hier nicht weiter gesprochen werden. Es soll vielmehr nur die Herstellung der Formspulen-Wickelungen so weit behandelt werden, daß die Vorstellung darüber, wie eine Wickelung aussieht, entwickelt wird, so daß Konstrukteure und Zeichner und namentlich Studierende beim Entwurf von elektrischen Maschinen sich über die Einzelheiten der Wickelung insoweit klar sind, um dieselbe mit berücksichtigen und darstellen zu können.

Es soll nur das Gebiet der Formspulen-Wickelungen behandelt werden, weil dieselben bei Gleichstrom wenigstens heute wohl ganz allgemein üblich sind und weil bei Wechselstrommaschinen schon verschiedentlich Versuche gemacht sind, diese Wickelungsart auch

¹⁾ Siehe „ARNOLD. Ankerwickelungen“ und „ARNOLD, Gleichstrommaschine“, Berlin, Julius Springer.

dort anzuwenden. Ursprünglich wurden die Formspulen- oder Schablonenwickelungen wohl ins Leben gerufen, um die Herstellungskosten eines Ankers zu verringern, was zum Teil auch der Fall ist. Die Hauptvorzüge der Formspulen sind aber darin zu suchen, daß die Wickelung bei Beschädigungen sehr leicht wieder hergestellt werden kann, ferner, daß sie elektrisch besser arbeitet, weil alle Spulen gleich werden, daß sie besser gelüftet ist und schließlich noch, daß die Isolierung der Spulen weit besser und zuverlässiger möglich ist als bei Handwicklung.

Die Isolierung der Formspulen.

Bei den heutigen elektrischen Maschinen ist das hauptsächlich verwendete Isoliermittel der Lack. Dieser Lack muß besondere Eigenschaften haben, unter anderem biegsam sein und keine Feuchtigkeit anziehen, er muß genügend widerstandsfähig gegen Wärme sein, darf weder durch Wasser, Säuren und Öl leiden, noch auch selbst zerstörend und fressend wirken. Solche Lacke für elektrische Isolationen werden je nach ihrem Verwendungszweck in verschiedenen Arten von chemischen Fabriken geliefert. Bei den Ankerwickelungen muß nun der Lack in besonderer Weise aufgebracht werden. Man kann ihn nicht einfach mit dem Pinsel aufstreichen, denn dann würden unter ihm kleine mit Luft gefüllte Hohlräume bleiben, und wenn die Wickelung während des Betriebes warm wird, so würde die Luft in den Hohlräumen sich ausdehnen und den Lack absprengen. Die Drähte sind mit Baumwolle umspinnen und werden zu Formspulen gebogen, wie die Fig. 7 und 21 zeigen. Nach dem Biegen umwickelt man sie mit Zwirnband oder Leinenband und darauf werden sie im Vakuumofen lackiert.

Das Umwickeln der Formspulen mit Leinenband geschieht zweckmäßig mittels der Bandumwickelmaschinen, welche in verschiedenen Formen gebaut werden, wie die Fig. 1, 2 und 3 zeigen. Aus Fig. 1 erkennt man folgende Wirkungsweise: Wenn der Motor M durch einen Fußschalter eingeschaltet ist, dreht sich die Ringscheibe A in der Nut des feststehenden Gußstückes B im Sinne des beigezeichneten Pfeiles. Die Bandrolle R schwingt dann um die Spule S herum und bewickelt dieselbe beim Hindurchschieben. Vor dem Einschalten des Motors dreht man die Scheibe A mit ihrem Schlitz a über den Schlitz b und schiebt die Spule S in das

Innere der Wickelmaschine. Dann wird der Motor angelassen, der mittels der Reibungsrolle *C* die mit einer Längsnut versehene Ringscheibe *A* antreibt. Die fertig bewickelte Spule wird wieder durch die nach Stillsetzen des Motors übereinander gedrehten Schlitzte *b* und *a* herausgehoben. In ähnlicher Weise wirken auch die Bandumwickelmaschinen nach Fig. 2 und 3, welche beide aus dem Werke: „Isolierung elektrischer Maschinen von TURNER und HOBART, deutsche Bearbeitung von A. VON KÖNIGSLÖW und R. KRAUSE, Berlin, Julius Springer“ entnommen sind. Bei Fig. 2 erfolgt der

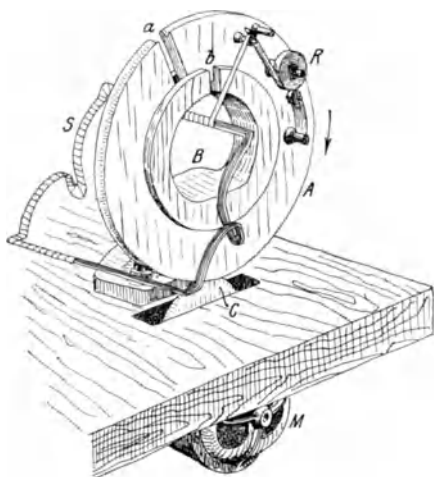


Fig. 1.

Bandumwickelmaschinen.

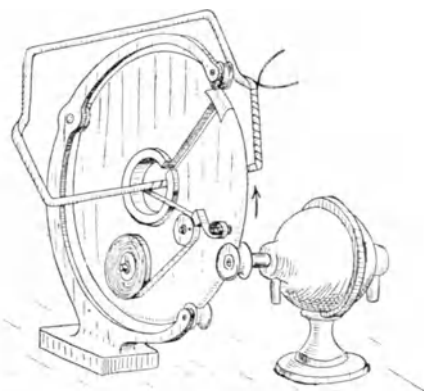


Fig. 2.

Antrieb ebenfalls durch ein Reibungsrad und bei Fig. 3 durch Zahnräder.

Die fertig umwickelten Spulen werden in größerer Anzahl zugleich in einen Vakuumofen gebracht. Das ist ein Kessel mit doppelter Wandung. Innerhalb der beiden Wandungen befindet sich eine Dampfheizschlange und aus dem inneren Hohlraum kann durch eine Luftpumpe die Luft entfernt werden. Hängt man nun die Spulen im Inneren auf und verdünnt durch die Luftpumpe die Luft im Kessel, so verdampft das in der Baumwolle und dem Leinen der Spulen immer in geringen Mengen vorhandene Wasser schon bei der niedrigen Temperatur von 50 bis 60°, außerdem entweicht auch

die Luft aus den Zwischenräumen. Nach dem Austrocknen der Umspinnung werden die Spulen in eine Wanne mit Lack getaucht, der dann die Hohlräume und Haarröhrchen der Umspinnung bis auf den blanken Draht vollkommen durchdringt, weil durch die Verminderung des Luftdruckes und die höhere Temperatur Feuchtigkeit und Luft vollkommen daraus entfernt worden sind. Die zum Eintauchen erforderlichen Handgriffe lassen sich ohne Öffnen des Kessels von außen ausführen. Darauf werden die Spulen gleich in demselben

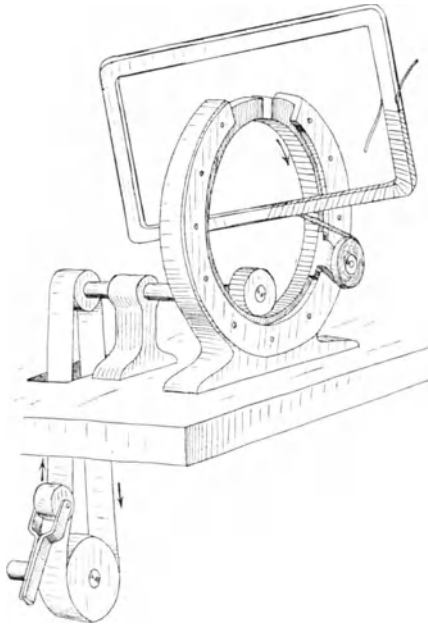


Fig. 3. Bandumwickelmaschine.

Ofen getrocknet und später in die Nuten gelegt, die mit Preßspan oder anderem Isoliermaterial ausgekleidet werden, damit der Lack, der die eigentliche Isolation darstellt und für den Leinen und Baumwolle gewissermaßen nur Gerüst sind, nicht mit dem rohen Eisen direkt in Berührung kommt.

Bei hochgespannten Strömen, also vorwiegend bei Wechselstrommaschinen, umhüllt man die Spulen gerne mit Röhren aus Mikanit, das ist Glimmer, welcher in Scheibchen gespalten und mit Schellack und Spiritus zu den nötigen Formen verarbeitet wird.

Solche Röhren lassen sich bei der später gegebenen Formspulenumwicklung von CREEDY sehr gut direkt auf die fertig gewickelten Spulen aufbringen, so daß gerade dadurch die Formspulen bei Wechselstrom der Handwicklung bedeutend überlegen werden können. Allerdings lassen sich diese Röhren nur bei der Formspulenumwicklung von CREEDY verwenden. Bei den noch erwähnten Formspulenumwickelungen (Fig. 27 und Fig. 28) kann man sie nicht verwenden.

Nach dem Trocknen des Lackes und nach dem Aufbringen von Isolierröhren werden die Spulen mit höherer Spannung auf gute Isolation geprüft. Dies geschieht zweckmäßig in Prüftransformatoren nach Fig. 4 und 5.¹⁾ In Fig. 4 können mehrere Spulen über den Mittelkern gelegt werden. Beim Aufsetzen der mit der Stromspule versehenen oberen Hälfte werden dann fehlerhafte durchschlagen,

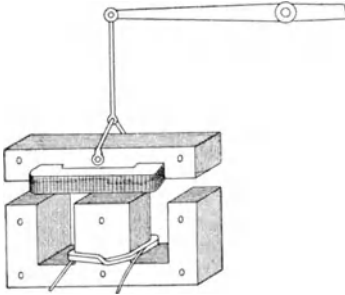


Fig. 4.
Prüftransformatoren für Formspulen.

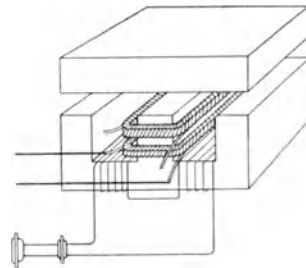


Fig 5.

was sich am Amperemeter in der Zuleitung zur Prüfspule sofort in Form von starker Stromzunahme anzeigt. In Fig. 5 (vergl. Elec. Club Journal, March 1904 p. 116) ist die Wirkungsweise folgende: Zuerst wird die zu untersuchende Formspule, ohne sie anzuschließen, auf einen der seitlichen Schenkel gesetzt, während auf dem mittleren Schenkel eine durch einen Wechselstrom erregte Spule ein Wechselfeld erzeugt, dessen Kraftlinienkreise nach beiden Seiten gleich stark sind, so daß sich die Induktionen in den Hilfswindungen, an die das Telefon angeschlossen ist, gegenseitig aufheben. Sobald die untersuchte Spule Schluß hat, wird das Feld unsymmetrisch und die Induktionen im Telefon hörbar.

¹⁾ Entnommen aus Isolierung elektr. Maschinen, TURNER-HOBART, deutsche Bearbeitung von v. KÖNIGSLÖW und KRAUSE, Berlin, Julius Springer.

Herstellung der Gleichstrom-Formspulen auf Holzschablonen.

Unter Formspulenwicklung im engeren Sinne versteht man die Herstellung der Spulen für Anker aus Draht, welche vor dem Einlegen in die Nuten des Ankereisens fertig oder fast fertig gebogen werden. Die ältere Methode bestand in der Herstellung

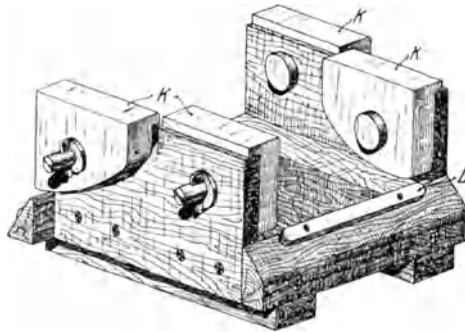


Fig. 6. Holzschablone.

solcher Formspulen auf Holzschablonen, wie eine solche in Fig. 6 gezeichnet ist. Durch Auflegen des Drahtes und Umwinden um die

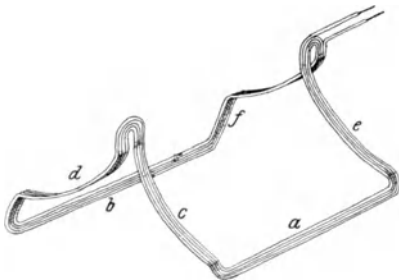


Fig. 7. Formspule.

Leisten *L* und die gebogenen Seiten der Klötze *K* erhielt man eine Spule von der Gestalt in Fig. 7, welche dann nach Fig. 8 mit den Seiten *a, b* in die Nuten des Ankers gelegt wird und bei zwei Spulenhälften in einer Nut so zu liegen kommt, daß immer die zusammengehörigen Hälften einer Spule

abwechselnd unten und oben sich befinden. Es würde also in Fig. 7 die Spulenseite *a* als die kürzere in der Nut unten liegen und die Spulenseite *b* als die längere in der durch den Wickelschritt bestimmten anderen Nut oben. Bei vier Spulenhälften in einer Nut, Fig. 9, werden einfach je zwei nebeneinander liegende Nuten aus Fig. 8 zusammengefaßt. Die auf den Stirnflächen des Ankers liegenden Spulenseiten *c*,

d, e, f in Fig. 7 müssen, damit die nebeneinander liegenden Windungen verschiedener Spulen sich nicht gegenseitig berühren und gleichen Abstand voneinander haben, nach Evolventen gebogen werden. Daher sind die gebogenen Seiten der Klötze K an der Schablone, Fig. 6, nach dieser Kurve zu formen. Eine andere Art zur Her-

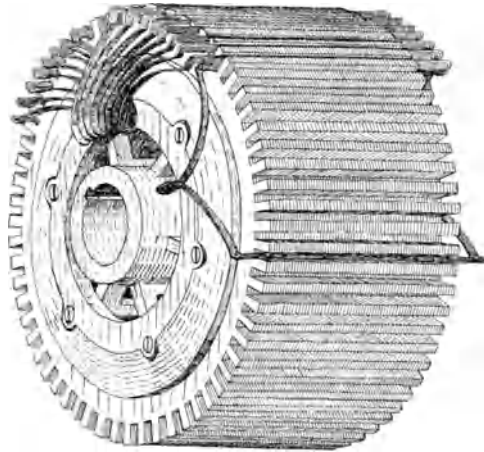


Fig. 8. Anker mit Formspule nach Fig. 7 (Stirnwicklung).

stellung von Formspulen für Stirnwicklung geschieht auf der Plattenschablone. Diese ist gezeichnet in Fig. 10. Die Drähte



Fig. 9. Anker mit 4 Spulenhälften in einer Nut.

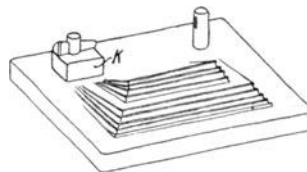


Fig. 10. Plattenschablone.

werden nebeneinander auf dem treppenförmig abgeschragten, nach hinten flach verlaufenden Aufsatz aufgewickelt und dabei um die beiden Stifte derartig herumgelegt, daß die fertige Spule, die nach Entfernung der Klötze K , von denen nur einer gezeichnet ist, abgenommen werden kann, das Aussehen der in Fig. 11 gezeichneten hat. Diese Spule wird nun in einer Holzform nach Fig. 12 gepreßt,

14 Herstellung der Gleichstrom-Formspulen auf Holzschablonen.

wobei der Deckel auf das Unterteil gesetzt wird. Nach dem Pressen hat dann die Formspule dasselbe Aussehen wie die Spule nach Fig. 7.

Bei der letzten Methode, die bei der Firma LOEWÉ, Berlin, üblich war, ist die Herstellung einer Formspule schneller möglich als mit einer Schablone nach Fig. 6. Man setzt dann die Platte drehbar auf eine senkrechte Achse und dreht beim Wickeln die Platte rund. Auch das Biegen in die endgültige Form geschieht sehr rasch durch die Presse.

Aber aus der Beschreibung beider Methoden ergibt sich, daß man für jede Maschine eine besondere Schablone nötig hat, denn die Maße der Schablonen sind unveränderlich, sie lassen sich auch nicht gut so ausführen, daß man sie verstellen kann, deshalb sind beide Methoden heute kaum noch viel in Anwendung.

Fig. 11. Spule nach dem Wickeln auf der Plattenschablone (Fig. 10).

Die bisher behandelten Spulen bilden, in den Anker eingelegt, die Stirnwicklungen (vergl. Fig. 8). Aus noch zu erörternden Gründen werden aber heute meist Mantelwicklungen ausgeführt, wobei die

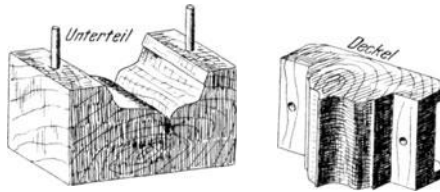


Fig. 12. Holzform zum Biegen der Spule nach Fig. 11 in die Form nach Fig. 7.

Spulen das Aussehen haben wie die in Fig. 13. Solche Anker müssen für die seitlich außerhalb der Nuten liegenden Spulenköpfe meist besondere Wicklungsträger besitzen, auf welche die Spulenköpfe gelagert werden. In den beiden Fig. 13 und 14 sind diese Wicklungsträger auf beide Stirnflächen des Ankers angeschraubt. Damit beim Lauf des Ankers die Spulenköpfe nicht durch die Fliehkraft hochgebogen werden, muß über dieselben eine Bandage aus Bindfaden oder Drähten gelegt werden, die dann, wie auf dem Ankereisen, eine isolierende Unterlage erhalten. Meist umwickelt man die seitlichen Spulenköpfe mit einer Bindfadenbandage, welche aber in Fig. 14, woselbst ein vollkommen bewickelter Anker mit

Mantelwicklung gezeichnet ist, fortgelassen worden, um die Form der Spulen deutlicher zu zeigen.

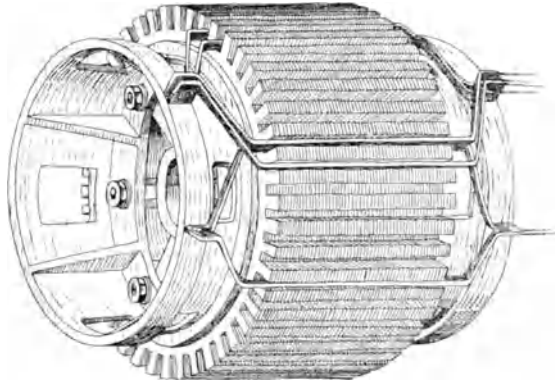


Fig. 13. Anker mit Mantelspulen.

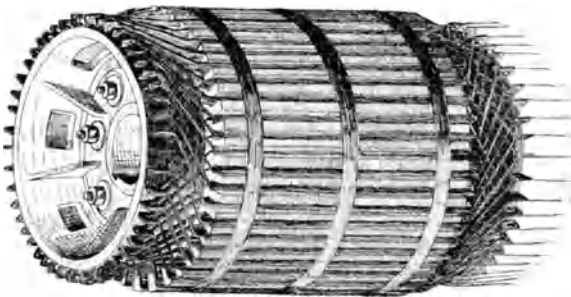


Fig. 14. Anker mit Mantelwicklung, noch nicht vollständig bandagiert.

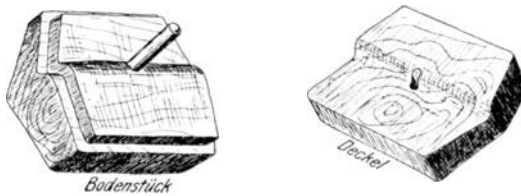


Fig. 15. Holzform zum Biegen von Mantelspulen.

Auch diese Mantelwicklung kann mit Holzformen hergestellt werden, wie solche in den Fig. 15 und 16 gezeichnet sind. Aus Fig. 15 erkennt man, daß die Form aus dem Bodenstück und einem

Deckel besteht. Beide Teile werden nach Fig. 16 aneinander befestigt durch ein Rundholz mit Keil, und in die Nut zwischen Deckel und Bodenstück wird der Draht gewickelt. Um die fertig gewickelte Spule heraus zu nehmen, schlägt man den Keil aus dem Rundholz heraus und nimmt den Deckel ab.

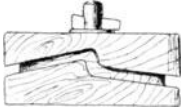


Fig. 16.
Holzform nach Fig. 15
zusammengesetzt.

Auch diese letzte Methode ist aber, wie wohl alle Holzformen, nur für eine bestimmte Formspule geeignet, so daß auch hier, wie schon bei den bisher beschriebenen Schablonen, für jede Maschine eine besondere Schablone nötig ist. Bei den im nächsten Abschnitt behandelten Scheren ist das zum Teil nicht mehr erforderlich.

Herstellung der Gleichstrom-Formspulen auf Scheren.

Ein Vorläufer der später in Fig. 19 beschriebenen, heute meist benutzten Schere ist der von FISCHER-HINNEN zuerst angegebene

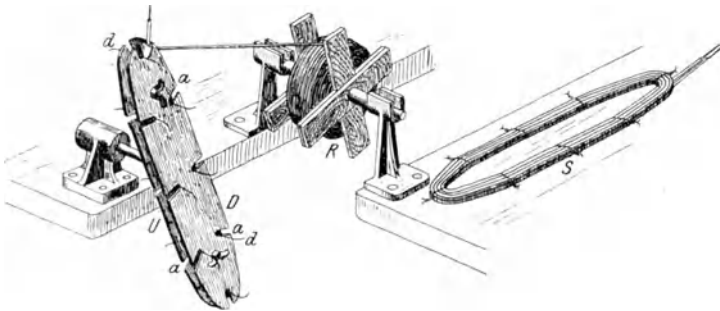


Fig. 17. Rahmen von FISCHER-HINNEN.

Apparat, zu welchem die Teile in Fig. 17 und Fig. 18 gehören. Die Spule wird zuerst in dem Blechrahmen nach Fig. 17 gewickelt, indem der Draht von der Rolle *R* abgewickelt und in die Nut des Rahmens hineingewickelt wird. Vorher schiebt man kleine Drahtstücke (*d* in Fig. 17) zum Binden in die Nuten *a* des Rahmens, deren Enden man, wenn die Spule fertig gewickelt ist, zusammendreh, damit die Spule *S*, welche besonders gezeichnet ist, ihre

Form nach dem Herausnehmen beibehält. Zum Herausnehmen der Spule löst man die Flügelschrauben, worauf der Deckel *D* sich von dem drehbaren Unterteil *U* abnehmen läßt, dann kann man die Spule seitlich herausnehmen. Die in einer Ebene gewickelte flache Spule kommt nun in den Apparat nach Fig. 18, also in die eigentliche Schere. Hier wird sie mit der einen Seite in die Nut *N*₁ des Holzzyinders gelegt und dann der Hebel *H* an die Spule herangeschoben, so daß man das an ihm befestigte Holzstück mit der Nut *N*₂ über die zweite Spulenseite schieben kann, worauf dasselbe mit der Flügelschraube am Hebel festgeklemmt wird. Dann dreht man den Hebel und zieht dadurch die Spule auseinander, so daß man eine Form erhält, wie diejenige der Spulen des Ankers in Fig. 13. Zum Herausnehmen der Spule löst man die Flügelschraube und schiebt das Holzstück am Hebel in die Höhe.

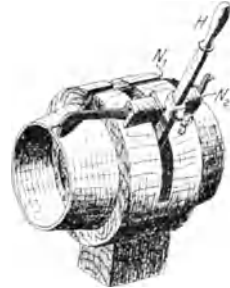


Fig. 18.
Schere von FISCHER-HINNEN.

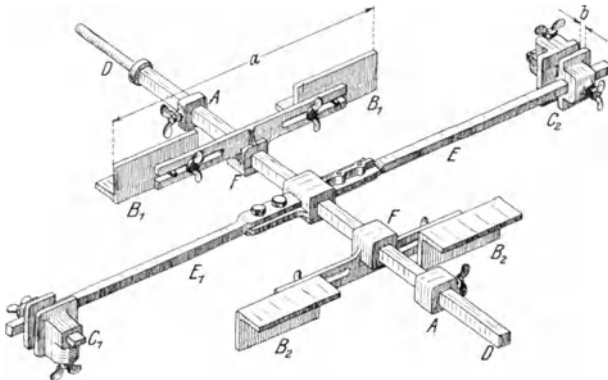


Fig. 19. Neuere Schere für Formspulen.

Mit der eben beschriebenen Vorrichtung lassen sich nur Mantelwickelungen ausführen. Dieselben sind aber heute beinahe ausschließlich in Anwendung, denn auch mit der in Fig. 19 gezeichneten Schere, die in verschiedenen Formen sehr häufig benutzt wird, werden Spulen für Mantelwicklung hergestellt.

Die beiden kantigen Eisenstangen D und E in Fig. 19 sind rechtwinkelig miteinander verbunden. Auf der Stange D sitzen die verschiebbaren Gußstücke F , an deren Armen die Winkelstücke B_1 und B_2 mit Flügelschrauben in Schlitzn befestigt sind, so daß

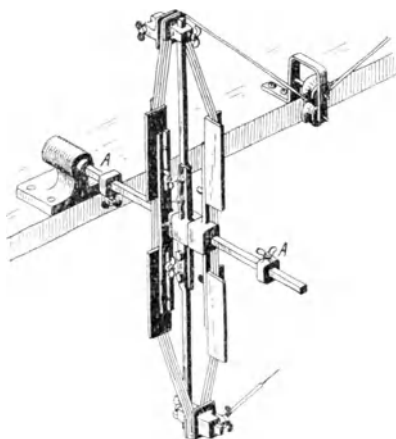


Fig. 20. Wickeln einer Spule mit der Schere.

man die Länge a verändern kann. Auf derselben Stange D können außerdem die Anschlagstücke A an beliebiger Stelle festgeklemmt werden. Die Gleitstücke C_1 und C_2 , bei denen die Weite b veränderlich ist, lassen sich auf der Stange E festklemmen.

Um eine Spule zu wickeln, stellt man die Maße a , b , die Gleitstücke C_1 , C_2 , sowie die Anschläge A ein und schiebt die Gußstücke F mit den Winkeln B_1 und B_2 bis zur Mitte zusammen.

Dann steckt man die Stange D mit ihrem runden Ende in ein Lager und dreht nach Fig. 20 die Schere, bis der Draht wie bei Fig. 17 von

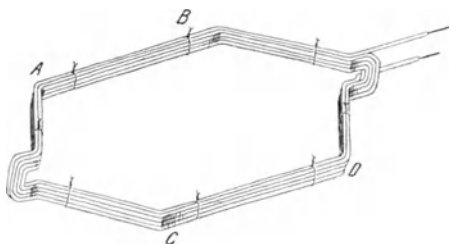


Fig. 21. Spule nach dem Wickeln in der Schere (Fig. 20).

einer Rolle herunter mit der gewünschten Windungszahl aufgewickelt ist. Hierauf schneidet man den Draht ab, schraubt die Flügelschrauben der Gleitstücke C_1 C_2 los und schiebt mit beiden Händen die Gußstücke F mit den Winkeln B_1 B_2 so weit auseinander, daß sie gegen die Anschläge A stoßen. Dabei gleiten die beiden Gleitstücke C_1 und C_2 nach der Mitte zu. Ist die Verschiebung ausgeführt, so bindet man zunächst kleine Stücke Bindendraht um die Spule,

löst die nötigen Schrauben und nimmt die Spule aus der Schere heraus. Die fertige Spule hat dann das Aussehen wie in Fig. 21, und ein mit solchen Spulen gewickelter Anker besitzt Mantelwicklung wie der Anker in Fig. 14.

Die mit AB und CD bezeichneten Seiten der Spule in Fig. 21 kommen später in die Nuten des Ankers zu liegen. Die Querschnitte beider Spulenseiten liegen aber parallel zueinander, während die Anker-nuten radial auseinander verlaufen. Man muß deshalb nach Fig. 22 die Spule beim Einlegen in die Nuten mit einer besonderen Zange zurechtbiegen. Dies könnte als ein Nachteil der Schere gegenüber den anderen, namentlich den Holzschablonen hingestellt werden, welche die Spulen gleich in der fertigen Form liefern. Es ist aber die den Spulen zu gebende Biegung nur bei kleineren Ankern erheblich, sie fällt um so weniger ins Gewicht, je

größer die Anker sind und außerdem sind auch die Spulen, welche in fertiger Form aus Holzschablonen her-rühren, beim Einlegen in die Nuten immer etwas zu biegen, denn so genau lassen sich die Nuten niemals stanzen oder fräsen. Die Vorteile der Schere nach Fig. 19 sind aber im übrigen so große, daß sie weit zweck-mäßiger erscheint als die hölzernen

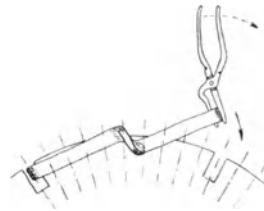


Fig. 22. Einlegen und Biegen einer Spule in die Nuten.

Schablonen, die verhältnismäßig viel teurer sind und nur immer für eine Maschine passen, während auf der einstellbaren Schere für eine größere Anzahl Maschinen die Spulen gewickelt werden können. Man wendet die Scheren nach Fig. 19 sogar für kleine zweipolige Anker an, obgleich man bei diesen die in den Nuten liegenden Spulenseiten besonders stark verbiegen muß, weil die Nuten, in die sie hineingelegt werden, ungefähr auf einem Durchmesser liegen.

In Fig. 23 ist eine Spule nach Fig. 21 in den üblichen drei Ansichten gezeichnet und gleichzeitig erläutert, wie man die Breite b des Wicklungsträgers findet. Man zeichnet zuerst die Ansicht der Spule von der Stirnseite. Die in Fig. 23 gezeichnete liegt in den Nuten 1 und 26. Darauf zeichnet man den Kreis AEF , welcher den Umfang des Wicklungsträgers vorstellt und projiziert die Punkte A und E auf eine Wagerechte BC . Be-

zeichnet nun δ die Dicke der Spule mit Isolation und Lack, z den Zwischenraum zwischen zwei nebeneinander liegenden Spulen und n die von A bis E nebeneinander laufenden Spulen (in Fig. 23 ist

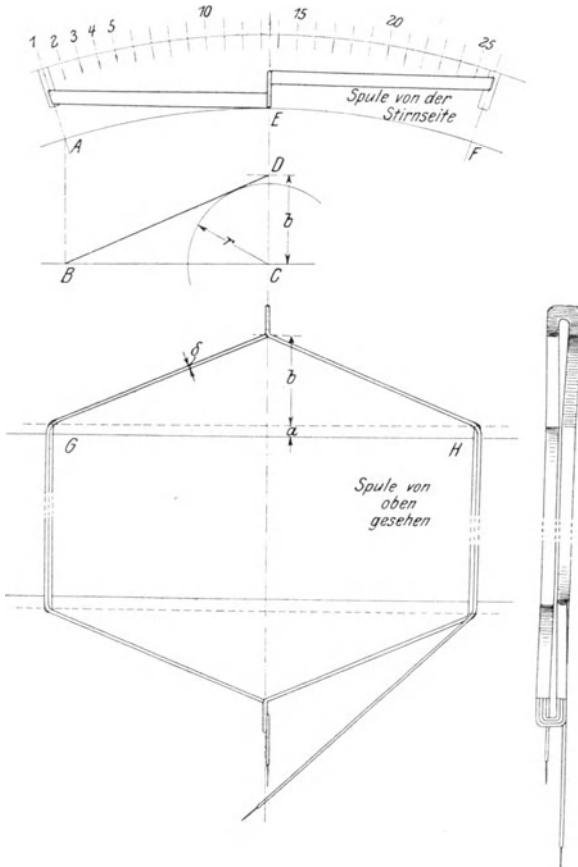


Fig. 23. Mantelspule.

$n = 13$), so schlägt man mit $r = n (\delta + z)$ um den Punkt C einen Kreis, an welchem man von B aus eine Tangente BD legt. Dann ist b die Trägerbreite. Nach der Ansicht der Spule von oben ist GH die Eisenkante des Ankers. Weil die Spulen niemals sofort am Anker umbiegen können, sondern nach Fig. 24 aus

konstruktiven Gründen und auch um die Isolation aus der Nut herausragen zu lassen, darf man nach Fig. 23 die Breite b nicht

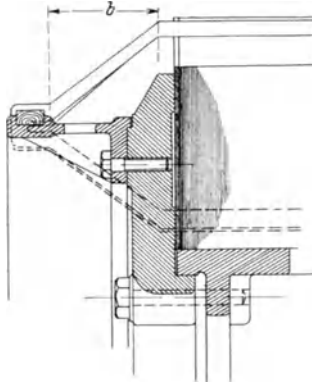


Fig. 24. Wicklungsträger.

von der Eisenkante GH , sondern um ein kleines Stück a vermehrt abtragen.

Gewöhnliche Wickelungsart bei Wechselstromankern.

Die Wechselstrommaschinen, einphasige sowohl wie mehrphasige, besitzen gewöhnlich keine oben offenen Nuten wie die Gleichstromanker, man verwendet vielmehr bei ihnen meist Nuten, die halb geschlossen sind, d. h. die oben einen Schlitz besitzen. Durch diesen Schlitz kann man gewöhnlich mit einem einzigen Draht der Spule hindurch, und hierauf beruhen auch alle Formspulnwickelungen bei Wechselstrom. Sind die Nutenschlitze aber zu eng und will man den Draht in geschlossene Isolierrohre legen, so muß man, wenn nicht die Wicklung von CREEDY (S. 24) angewendet wird, die Drähte auf eine umständliche Art in die Nuten hineinfädeln.

Dieses Einfädeln ist in Fig. 25 erläutert. Diejenigen Nuten, welche zu einer Spule gehören, werden zunächst, nachdem das Isolierrohr hineingeschoben ist, mit einer solchen Anzahl von Drähten D gefüllt, als wie die Spule Windungen erhalten soll. Diese Drähte, welche aus Eisen oder Messing oder irgend einem anderen Metall bestehen, haben genau denselben Durchmesser, als

wie der einzufädelnde Draht über seine Isolation gemessen. Man zieht nun der Reihe nach, wie in Fig. 25 gezeichnet ist, einen blanken Draht nach dem anderen heraus und schiebt den Anfang a des einzufädelnden isolierten Drahtes hinterher. Der isolierte Kupferdraht muß von vornherein so lang abgeschnitten werden, wie es die ganze Spule erfordert, deshalb ist namentlich zuerst das Arbeiten und Hindurchziehen des langen Drahtstückes ziemlich unbequem, zumal man den Draht möglichst wenig biegen soll, weil er dadurch hart wird und man außerdem auch seine Umspinnung schonen muß. Auf die Stirnseiten des Ankers schraubt man Holzklötze K_1 nach Fig. 25, über welche man den Draht biegt, so daß die fertigen Spulen das Aussehen der mit S_1 bezeichneten erhalten.

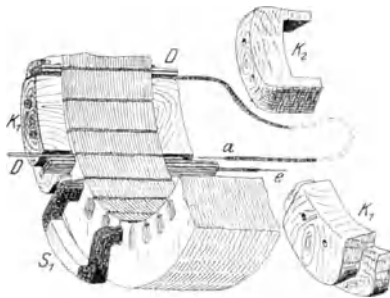


Fig. 25.
Einfädeln des Drahtes bei Wechselstrom.

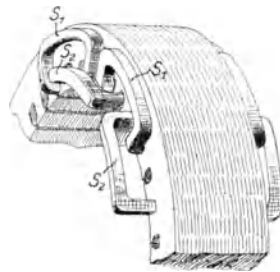


Fig. 26.
Anker mit Spulen nach Fig. 25.

In dieser Weise wird aber nur die eine Hälfte aller Spulen gebogen. Die andere Hälfte biegt man in der Art wie die Spulen S_2 in Fig. 26. Zu diesem Zweck befestigt man an Stelle der Holzklötze K_1 solche von der Gestalt wie die mit K_2 in Fig. 25 bezeichneten. Beim Wickeln muß man aber beginnen mit den Spulen S_1 und nach diesen erst die Spulen S_2 einfädeln.

Einführen von Formspulen bei Wechselstrom von oben durch den Nutenschlitz.

Über die Ausführung von Formspulen bei Wechselstrom gibt es verschiedene Patente. Zwei derselben zeigen die Fig. 27 und 28. Das Verfahren nach Fig. 27 ist ein Patent der SIEMENS-SCHUCKERT-Werke, Berlin, vom Jahre 1908 und bezieht sich auf das Einlegen

von Schablonenwickelungen aus Flachkupfer auf genutete Eisenkörper elektrischer Maschinen. Die Nut 7 ist vollkommen gefüllt dargestellt, mit den übereinander geschichteten flachen Leitern und dem Verschluß durch einen Hartholzkeil. Die Öffnung der Nut ist wesentlich kleiner als die Breite der Leiter, welche aber durch schräges Unterschieben unter den Zahnkopf, wie bei Nut 6 gezeichnet ist, in die Nut eingeführt werden können. Nach dem Einschleiben biegt man den Leiter flach auf die schon eingelegten übrigen Leiter in der Nut auf.

Ein anderes Verfahren ist ein älteres Patent aus dem Jahre 1902 von SIEMENS & HALSKE A.-G., welches in Fig. 28 gezeichnet ist. Dabei werden die Drähte einzeln durch den Nutenschlitz eingeschoben, es müssen also die Spulen nach dem Biegen auf der Form noch eine solche Beweglichkeit der Drähte zulassen, und hier sowohl, wie auch bei dem vorigen Verfahren nach Fig. 27 können die Spulen

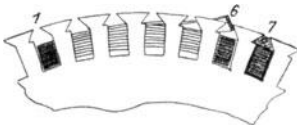


Fig. 27. Formspulen aus Flachkupfer, Patent der SIEMENS-SCHUCKERT-Werke.

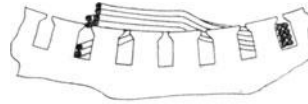


Fig. 28. Formspulenwicklung von SIEMENS & HALSKE.

nicht als ganzes lackiert werden, noch dürfen die Spulenteile, welche in die Nut zu liegen kommen, vorher fertig isoliert werden. Aber gerade diejenigen Spulenteile, welche in die Nut kommen sollen, müssen besonders gut isoliert werden, am besten vermittels geschlossener Mikanitröhren, was bei beiden Verfahren vollständig unmöglich ist.

Die Spulen der Anker, welche nach Fig. 27 oder 28 gewickelt sind, können so ausgeführt sein, wie diejenigen in Fig. 26, nur würde man die einzelnen Spulen auf Holzformen vorher biegen, und zwar muß man dann zwei Formen haben, damit, wie schon bei Fig. 26 gesagt ist, die Hälfte der Spulen die Form nach Fig. 29 erhält und die andere Hälfte die Form nach Fig. 30. Es müssen, damit man die Spulen einlegen kann, nach dem Verfahren Fig. 27 oder 28 die Spulenseiten, welche in die Nuten zu liegen kommen, unbewickelt bleiben, um dort den Drähten etwas Bewegungsfreiheit zum Biegen beim Einlegen in den Nutenschlitz zu lassen. Es ist

deshalb auch in den Fig. 29 und 30 die Bandumwicklung nur an den außerhalb des Ankers liegenden Spulenköpfen gezeichnet.

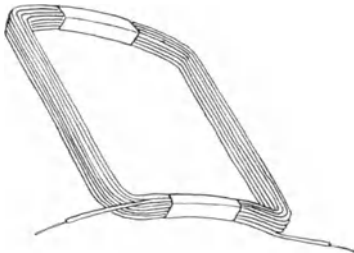


Fig. 29. Spule für Wechselstrom.

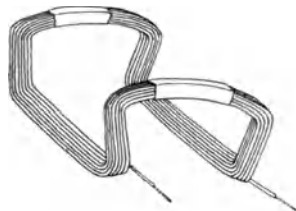


Fig. 30. Spule für Wechselstrom.

Man kann aber auch alle Spulen in gleicher Form ausführen und braucht dann nur eine Schablone für jeden Anker. Eine

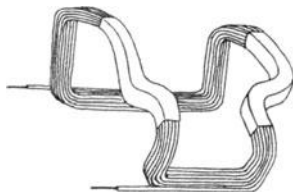


Fig. 31. Spule für Wechselstrom.

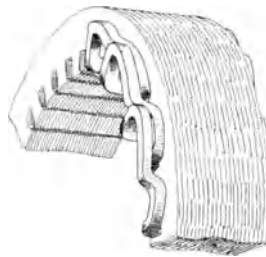


Fig. 32.
Anker mit Spulen nach Fig. 31.

derartige Spule ist in Fig. 31 gezeichnet. Auch hier müssen die in die Nuten kommenden Teile unbewickelt bleiben, damit man die Drähte einlegen kann. Ein Anker mit einer solchen Wickelung ist in Fig. 32 gezeichnet.

Formspulenwicklung für Wechselstrom von CREEDY.

Diese patentierte Formspulenwicklung (vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1908, Heft 41, S. 989), als deren Ausführende die Saxon Engineering Co. of Fenton nach „The Electrical Review“ Bd. 62, Nr. 1582, S. 506, angegeben wird, besitzt von den bisher beschriebenen

Methoden der Formspulenwicklung für Wechselstrom sehr große Vorzüge, welche namentlich, wie schon erwähnt, in einer besseren Isolierungsmöglichkeit besonders desjenigen Teiles der Spule bestehen, welcher in die Nut zu liegen kommt.

Es gibt zwei Arten dieser Formspulen. Bei der ersten Art haben die Spulen das Aussehen wie diejenigen in den Fig. 33 und 34, die zweite Art ist gezeichnet in der späteren Fig. 40. Zu den Formspulen nach den Fig. 33 und 34 ist eine Holzform nötig nach

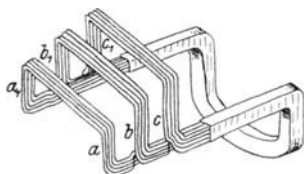


Fig. 33. Formspule von CREEDY.

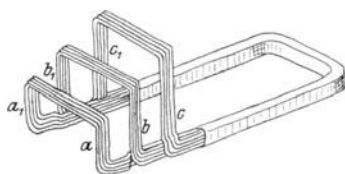


Fig. 34. Formspule von CREEDY.

Fig. 35. Es müssen hier auch, wie schon bei Fig. 24 erwähnt ist, die Spulen in zwei Hälften mit verschiedenen Köpfen versehen werden, und zwar dient zur Anfertigung der Spulen nach Fig. 34 die Holzform so, wie sie in Fig. 35 gezeichnet ist. Soll dagegen die Spule eine Form nach Fig. 33 erhalten, so entfernt man das hintere Stück *B* von dem vorderen Stück *A* der Holzform, indem man die Bolzen *C*, welche auf der Vorderseite durch Keile gehalten werden, wie bei Fig. 6, loslöst. In Fig. 35 bezeichnet die Linie *abc*

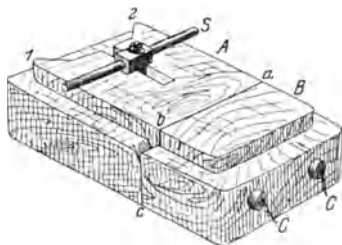


Fig. 35. Holzform für Spulen nach Fig. 34.

die Trennfuge zwischen den beiden Teilen der Form. Setzt man nun an die Stelle des hinteren Stückes *B* das in Fig. 36 gezeichnete, so hat die Form das Aussehen wie in Fig. 37 und die darauf gewickelten Spulen zeigen die Form nach Fig. 33. Aus beiden Fig. 33 und 34 erkennt man, daß die Spulendrähte auf den Stellen *a*, *b* und *c* alle hintereinander in einer Richtung liegen, ebenso auf den Stellen *a*₁, *b*₁ und *c*₁. Wenn also der Nutenschlitz nicht schmaler ist als die Drahtstärke der Spule mit Isolation, so lassen sich die Spulen nach Fig. 38 in die Nuten von der Seite aus hineinschieben

und deshalb können die Spulenseiten, welche in die Nut hineinkommen, vorher vollkommen fertig mit Isoliermaterial eingehüllt werden. Man kann also geschlossene Isolationsröhren benutzen, was bei den Methoden nach Fig. 27 und 28 nicht möglich ist.

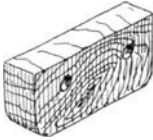


Fig. 36.

Hinteres Stück der Holzform zum Wickeln von Spulen nach Fig. 33.

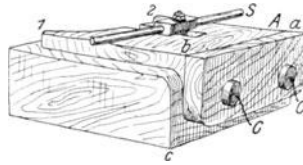


Fig. 37.

Holzform für Spulen nach Fig. 33.

Wie schon gesagt, dienen die Holzformen nach Fig. 35 und 37 zum Biegen der Formspulen. Sie besitzen einen Rundstab S , dessen

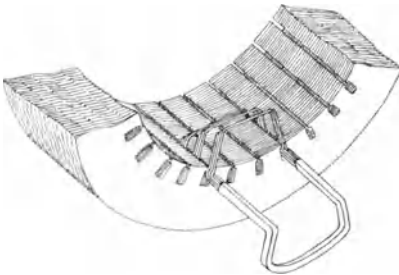


Fig. 38.

Einschieben der Spulen Fig. 33 in den Nutenschlitz.

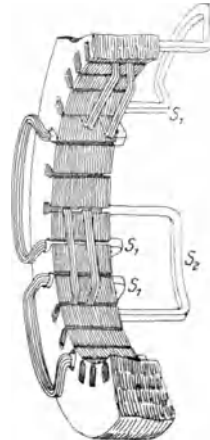


Fig. 39.

Einschieben der beiden Spulenarten in den Nutenanker.

Lage verstellt werden kann und über welchen die Spulenköpfe, die hindurchgeschoben werden sollen, rechtwinklig hochgebogen werden. Um dieses Hochbiegen ausführen zu können, ist die Form, wie die Figuren zeigen, zwischen den Punkten 1 und 2 ausgespart.

In Fig. 39 ist noch einmal das Hineinschieben der beiden Spulenarten in einen Anker gezeichnet. Zuerst müssen die mit S_1

bezeichneten Spulen nach Fig. 33 eingeschoben werden. Nach dem Durchschieben sind dann die hochgebogenen Spulenköpfe der Spulen S_1 umzubiegen, so daß sie an den Stirnseiten des Ankers ebenso anliegen, wie die entgegengesetzten Spulenköpfe auf der anderen Stirnseite. Hierauf können die Spulen S_2 nach Fig. 34 eingeschoben werden, deren Spulenköpfe nach dem Durchschieben ebenfalls umgebogen werden, aber nur so weit, daß sie in die Ebene der Drähte in den Nuten kommen. Es hat dann der fertige Anker auch genau das Aussehen wie der in Fig. 26 gezeichnete.

Es müssen zwar bei dieser Art Wickelung die Spulenköpfe umgebogen werden. Dabei ist aber zu bedenken, daß nur Teile der Spule gebogen werden, die außerhalb der Nut liegen und nicht, wie bei Fig. 27 und 28, solche Teile, die in der Nut liegen. Der in die Nut kommende Teil wird vielmehr vorher vollkommen fertig isoliert und bleibt unverändert.

Ähnlich wie die soeben beschriebene Wickelung ist die zweite Art, zu der die Spule in Fig. 40 gezeichnet ist. Es sind auch hier die hinteren Spulenköpfe in zwei Arten zu biegen, und zwar die Hälfte derselben in der ausgezogenen Art, entsprechend den Spulen in Fig. 33, und die andere Hälfte in der Art der Spulen nach Fig. 34, wie in Fig. 40 punktiert gezeichnet ist. Beim Einschieben in die Nut werden zuerst, wie Fig. 41 zeigt, die mit den umgebogenen Spulenköpfen versehenen Spulen eingeschoben, genau wie bei der vorigen Wickelungsart auch. Es ist hier nur die Herstellung der Spulen etwas einfacher, welche über einer Holzform nach Fig. 42 gebogen werden. Diese Form ist so eingerichtet, daß auf ihr gleich beide Arten von Spulenköpfen nach Fig. 40 gebogen

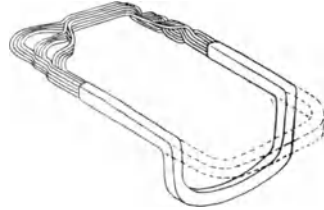


Fig. 40. Formspule von CREEDY.

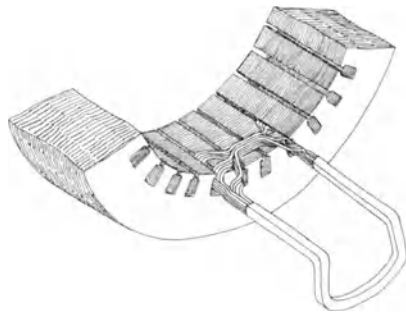


Fig. 41. Einschieben der Spulen nach Fig. 40.

und außerdem auch verschieden lange und breite Spulen gewickelt werden können.



Fig. 42. Holzform für Spulen nach Fig. 40.

Um Spulen nach Fig. 40 mit dem punktierten Wickelkopf zu biegen, führt man den Draht um die Ecken 1 und 2 der Form.

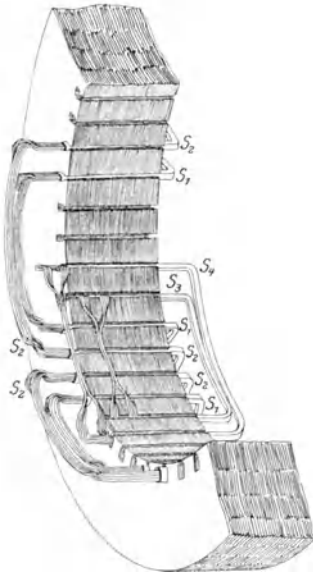


Fig. 43. Zweilochwicklung mit Spulen nach Fig. 40.

Soll dagegen eine Spule mit umgebogenem Wickelkopf ausgeführt werden, so wickelt man dieselbe auch zuerst gerade um die Ecken 1 und 2 und biegt sie darauf um die Kante 3 des Bodenbrettes der Form nach unten, wie die in Fig. 42 gezeichnete punktierte Linie zeigt. Um die gewickelten Spulen aus der Form herauszunehmen, braucht man nur die Keile auf einer Hälfte, also K_1 und K_2 , zu lösen, den einen der Stifte S herauszuziehen und die Teile $A_1 B_1$ gegen die Teile $A_2 B_2$ zusammenzuschieben. Nach dem Herausnehmen der Spule werden die Formteile wieder eingestellt für die nächste Spule. Sind die Nuten, in welche die Spule kommt, sehr weit auseinander, wie bei Maschinen mit wenig Polen, so

biegt man die geraden Stirnseiten der Spule nach dem Herausheben aus der Holzform nach dem Kreis des Ankers, so daß eine solche Spule das Aussehen nach Fig. 46 erhält, eine derartige Wickelung zeigt die Fig. 45. Das Einführen der Spulen nach Fig. 40 in einen Anker

zeigt Fig. 43. Es ist dort auch im Gegensatz zu den bisher gezeichneten Spulen, die alle nur für Einlochwicklung waren, eine Zweilochwicklung dargestellt. Es wurde bisher den Einlochwickelungen der Vorzug gegeben, weil sie sich übersichtlicher und einfacher zeichnen lassen. Sinngemäß läßt sich natürlich alles darüber Gesagte auch auf die gewöhnlich vorhandenen Mehrlochwickelungen anwenden, bei denen die Drähte einer Spule nicht nur auf zwei Nuten, sondern auf vier, sechs usw. Nuten verteilt sind. Bei der Zweilochwicklung gehören, wie Fig. 43 zeigt, zu einer Spule vier Löcher, zu jeder Spulenhälfte also zwei Löcher oder Nuten. Beim Wickeln müssen zuerst die kleinen Spulen S_1 mit umgebogenen Wickelköpfen eingeschoben werden und nach dem Hindurchschieben muß sogleich der durchgeschobene Wickelkopf umgebogen werden, parallel zur Achse der Maschine, wie in Fig. 43 gezeichnet ist, damit man die größeren Spulen S_2 , die ebenfalls umgebogene Wickelköpfe haben, hindurchschieben kann. Auch bei diesen Spulen sind die durchgeschobenen Wickelköpfe um 90° zu verbiegen, wie bei den Spulen S_1 . Darauf können dann zuletzt die geraden Spulen S_3 und S_4 durchgeschoben werden, deren Wickelköpfe nach dem Durchschieben nicht zurückgebogen werden. Natürlich kann man auch diese umbiegen, aber dann würde man sie nur so weit verbiegen, wie diejenigen der Spulen S_1 und S_2 , diese beiden letzten aber müßte man nach dem Hindurchschieben so stark umbiegen, daß sie parallel zur Stirnfläche des Ankers laufen, so daß man dann nach dem Biegen den Spulen S_1 und S_2 ungefähr das Aussehen gegeben hätte, wie es die Spulen nach Fig. 30 haben, während die Spulen S_3 und S_4 dann ungefähr so aussehen würden, als wie die Spulen in Fig. 29. (Vergl. Fig. 45 und S. 31.)

Die Vorteile der Wickelung mit Formspulen nach CREEDY, von denen namentlich diejenigen nach Fig. 40 angewendet werden, lassen sich nun noch einmal kurz in folgende zusammenfassen:

1. Die Teile der Spule, welche in die Nut zu liegen kommen, haben keine Biegung oder sonstige Formänderung zu erleiden, wenn die Spule die Holzform verlassen hat.
2. Der Raum in der Nut läßt sich gut ausnutzen, weil die Spulen sehr fest gewickelt werden können.
3. Um die Drähte kann man, soweit sie in der Nut liegen, geschlossene Mikanitröhren herumlegen, auch kann man bequem einzelne Lagen der Wickelung durch Isolation voneinander trennen.

4. Wird eine Spule im Betrieb beschädigt, so kann sie leicht entfernt und sehr einfach eine neue an ihre Stelle eingeschoben werden.
5. Die Wickelung mit Formspulen nach CREEDY erspart außerordentlich Zeit und Arbeit gegenüber der Durchziehmethode nach Fig. 25.

Zeichnerische Darstellung von Formspulen.

Die übliche zeichnerische Darstellung einer Mantelwicklung mit Wickelungsträger zeigt die linke Hälfte der Fig. 44. Streng genommen ist diese Darstellungsart unrichtig. Die richtige Zeichnung der Spule muß nach der rechten Hälfte in der Fig. 44 ausgeführt

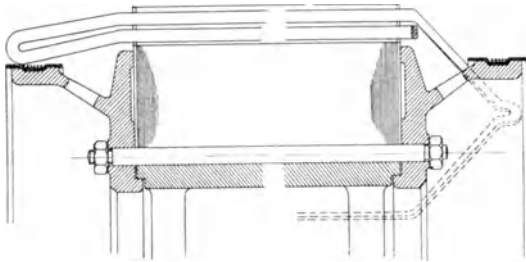


Fig. 44. Mantelwicklung.

werden, wie auch schon früher in Fig. 24 angegeben ist, denn sie ergibt sich aus der Projektion der Stirnansicht einer Spule nach Fig. 23. Es hat sich allerdings die falsche Darstellungsart außerordentlich eingebürgert und sie hat ja auch ihre Vorteile, aber sie ist falsch und gibt nicht die richtige Vorstellung vom Verlauf der Spule, und wäre sie nicht so allgemein verbreitet, so würde jeder, der Formgefühl hat, sich dagegen auflehnen. Etwas ähnliches geschieht auch bei Darstellungen von Wechselstromwickelungen. In Fig. 45 ist Vierlochwicklung gezeichnet. Es sind dabei die Spulen in der Querschnitt-Darstellung so gezeichnet, als ob sie alle in einer Ebene lägen, während doch die Spule 1 in einer tieferen Nut liegt als die Spule 3. Es genügt allerdings die Darstellungsart dem Zweck, den Raum, welchen die Wickelung braucht, zu bestimmen.

Wie schon bei Fig. 43 gesagt wurde, kann man die Hälfte der Spulen (dort mit S_3 S_4 bezeichnet) nach dem Hineinschieben

unverändert lassen. Dann würden sie das Aussehen haben wie die Spule 3 in Fig. 45, während die Spule 1 den Spulen $S_1 S_2$ in Fig. 43 entspricht. Wenn die ursprüngliche Form der Spule 3 in Fig. 45 hinderlich ist, so kann man die Spule 1 auch in die punktierte Lage 2 hinaufbiegen und der Spule 3 die Form der Spule 1 geben.

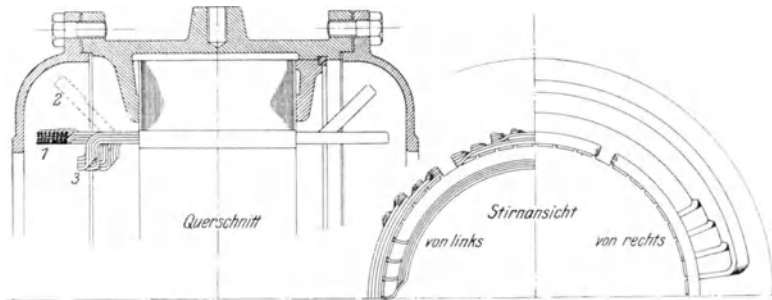


Fig. 45. Vierloch-Formspulen.

Ist die Polteilung groß, d. h. hat die Maschine wenig Pole, so kann die gerade bleibende Stirnseite der Spulen nach Fig. 40

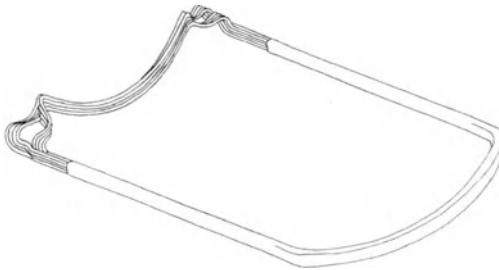


Fig. 46. Formspule nach Fig. 40 für große Polteilung.

kreisförmig gestaltet werden, was nach dem Wickeln auf der Form geschieht. Die Spule hat dann das Aussehen der in Fig. 46 gezeichneten und die Spulen in Fig. 45 sind, wie die Stirnansicht derselben zeigt, in dieser Weise gebogen. Bei vielpoligen Maschinen braucht dieses Umbiegen in Kreisform meist nicht ausgeführt zu werden, weil dann die Sehne einen kleinen Bogen durchquert.