



21. VI.

9  
942

2

27.6



Die  
**Ankerwicklungen**  
und  
**Ankerkonstruktionen**  
der  
**Gleichstrom-Dynamomaschinen.**

Von

**E. Arnold,** Ingenieur,

o. Professor an der Grossherzoglichen Technischen Hochschule in Karlsruhe.

Zweite Auflage.

*Mit 335 Figuren im Text.*



**Berlin.**  
Julius Springer.

1896.

**München.**  
R. Oldenbourg.

Alle Rechte, insonderheit das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen,  
vorbehalten.

Technische Universität  
Chemnitz  
Universitätsbibliothek

WA  
D 942

## Vorwort zur ersten Auflage.

In meinen Vorlesungen über Elektrotechnik, die ich am Polytechnikum in Riga halte, stellte sich mir die Schwierigkeit entgegen, in knapper und leichtverständlicher Weise die verschiedenen Wicklungs- und Schaltungsmethoden der Anker von Gleichstromdynamomaschinen derart zu behandeln, daß die Studierenden imstande waren, selbständig vorzugehen und eine beliebig gestellte Wicklungsaufgabe zu lösen.

Ich bemühte mich infolgedessen, für die verschiedenen Wicklungen Schaltungsregeln aufzustellen, und kam zu dem Resultate, daß sämtliche sog. geschlossenen Ankerwicklungen für Parallel- und Reihenschaltung und zwar sowohl für Ring-, Trommel- als Scheibenanker sich einer gemeinsamen Regel fügen. Nun war es ein Leichtes, die Wicklungen in der angestrebten Weise zu behandeln.

Die besonderen und gemeinsamen Eigenschaften der verschiedenen Wicklungen lassen sich mit Hilfe der Schaltungsregel genau feststellen, die Verwandtschaft der Ring-, Trommel- und Scheibenankerwicklungen geht daraus deutlich hervor, und der Übergang von einer Wicklung zur andern läßt sich ohne Schwierigkeit bewerkstelligen.

Die Schaltungsregel umfaßt jedoch nicht nur die bekannten Wicklungen, sondern dieselbe leistet wesentlich mehr; sie gibt eine allgemeine Lösung des Wicklungsproblems. Mit Hilfe derselben und den im ersten Abschnitte behandelten Verbindungsarten von induzierten Leitern ist es möglich, neue Wicklungen zu entwerfen. In den späteren Abschnitten sind mehrere meines Wissens bisher nicht bekannte Wicklungsarten dargestellt.

Die gewonnenen Resultate schienen mir daher interessant genug, um dieselben zu veröffentlichen, um so mehr als in den trefflichsten Lehrbüchern der Elektrotechnik die Ankerwicklungen, namentlich diejenigen mehrpoliger Maschinen, nur ungenügend behandelt sind.

Riga, den 5. März 1891.

**E. Arnold.**

## Vorwort zur zweiten Auflage.

Obwohl die erste Auflage der »Ankerwicklungen« seit nahezu zwei Jahren im Buchhandel vergriffen ist, ist es doch erst heute möglich geworden, die neue Auflage folgen zu lassen.<sup>1)</sup> Diese Verzögerung hat einesteils ihren Grund in meiner Übersiedelung nach Karlsruhe und andernteils in der Herstellung der zahlreichen Figuren und Tafeln, welche für die vollständig umgearbeitete und erweiterte Auflage nötig wurden.

Der behandelte Stoff ist in zwei Teile gespalten. Der erste Teil umfaßt die schematische Darstellung der verschiedenen Wicklungsarten für Ring-, Trommel- und Scheibenanker; es wird gezeigt, wie mit Hilfe der Schaltungsregeln ein beliebiges Wicklungsschema entworfen werden kann und die besonderen und gemeinsamen Eigenschaften der verschiedenen Wicklungsarten werden erörtert.

In der ersten Auflage habe ich die Ankerwicklungen in solche mit Parallelschaltung, Reihenschaltung und gemischter Schaltung

<sup>1)</sup> Nicht unerwähnt will ich lassen, daß die erste Auflage dieses Buches, ohne daß dem Verfasser davon Mitteilung gemacht wurde, ins Englische übertragen worden ist. Dasselbe wird angekündigt unter dem Titel: Arnold, E. Armature Windings of Direct Current Dynamos. Translated from the original German by Francis B. De Gress, M. E. Published by D. Van Nordstrand Company, New-York. —

In demselben Verlage erschien: H. F. Parshall and H. M. Hobart, Armature Windings of Electric Machines.



eingeteilt. Es hat sich nun gezeigt, daß eine bessere Einteilung möglich ist, indem die gemischten Schaltungen sich in mehrfache Parallelschaltungen und Reihenparallelschaltungen teilen lassen.

Die einfach geschlossenen, mehrfachen Parallelschaltungen und die Reihenparallelschaltungen bilden zwei neue Gruppen von Wicklungen, welche ich schon in der ersten Auflage aus der allgemeinen Schaltungsregel abgeleitet und besprochen habe. Da diesen Schaltungen für gewisse Verhältnisse eine praktische Bedeutung zukommt, so sind dieselben ausführlicher als in der ersten Auflage behandelt worden.

Die offenen Wicklungen, sowohl für die Brush-Schaltung, als die Thomson-Houston-Schaltung, habe ich auf mehrpolige Anker übertragen und aus der ersteren das interessante Wicklungsschema der neuen Bogenlichtmaschine des Westinghouse Electric Co. abgeleitet.

Der zweite Teil des Buches umfaßt die Ankerkonstruktionen. Dieser Teil fehlt in der ersten Auflage nahezu ganz; es schien mir aber zweckmäßig, im Anschlusse an die Wicklungsschemata auch die praktische Ausführung der Wicklungen zu behandeln und dieselben durch ausgeführte Ankerkonstruktionen zu erläutern.

Bei der Behandlung der Ankerkonstruktionen hat mich hauptsächlich der Gedanke geleitet, den Studirenden Material für die Konstruktionsübungen an die Hand zu geben.

In dem Studienplane für Elektrotechniker soll an den technischen Hochschulen den Konstruktionsübungen dieselbe Bedeutung beigemessen werden, wie den Übungen im Laboratorium. Während die letzteren unbedingt erforderlich sind, um die Studirenden rasch und sicher in einen Kreis von neuen Anschauungen und Begriffen einzuführen und sie mit den Messmethoden vertraut zu machen, soll in den Konstruktionsübungen das Berechnen und Entwerfen von Maschinen, Apparaten und ganzen Anlagen gelehrt und gelernt werden.

Die Thätigkeit der Elektrotechniker in der Praxis ist nur zum geringsten Teile eine messende, sondern sie ist vorwiegend eine gestaltende. Das positive Gestalten, das Verkörpern von Ideen ist die vornehmste Thätigkeit eines Ingenieurs; der Unterricht soll daher die Fähigkeiten der Studirenden auch nach letzterer Richtung zu entwickeln suchen.

Ein erfolgreicher Unterricht im Konstruieren ist jedoch nur denkbar, wenn dem Studierenden ein gutes Skizzenmaterial zur Verfügung gestellt werden kann, denn er ist im allgemeinen nicht dazu befähigt die konstruktiven Details zu erfinden, sondern er soll sich an praktisch bewährte Vorbilder anlehnen und lernen, dieselben unter der Leitung des Lehrers auf bestimmte Fälle anzuwenden. —

Die in diesem Buche gegebenen Zeichnungen mögen als ein Beitrag zur Beschaffung von brauchbarem Skizzenmaterial für den Konstruktionsunterricht angesehen werden. Den meisten Figuren ist daher ein Maßstab beigegeben, dieselben sind von drei- bis vierfach größeren Originalen photographisch verkleinert worden und dürfen daher in allen Einzelheiten auf große Genauigkeit Anspruch machen. Ich hoffe aber, daß auch der in der Praxis stehende Konstrukteur Neues und Wissenswertes in diesem Buche finden wird.

Für die freundliche Überlassung von Photographien und Zeichnungen möchte ich noch dem Herrn E. Huber, Direktor der Maschinenfabrik Oerlikon, der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Lahmayer & Co., der Elektrizitätsgesellschaft Alioth, der Elektrizitätsgesellschaft vorm. Schuckert & Co., der Firma Siemens & Halske, der Firma Brown, Boveri & Co., der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. O. L. Kummer & Co. und den Herren W. Fritsche und E. Desroziers meinen besten Dank aussprechen. —

Ferner habe ich dem Herrn Ingenieur J. Teichmüller, I. Assistent, für das sorgfältige Lesen der Korrekturen, und dem Herrn Ingenieur F. Marx für die Anfertigung der Zeichnungen zu danken.

Karlsruhe, Dezember 1895.

E. Arnold.

# Inhaltsverzeichnis.

## I. Teil.

### Die Ankerwicklungen.

#### Einleitung.

Seite

Die Verbindungsarten von induzierten Leitern für die Erzeugung von Gleichströmen . . . . .	3
--	---

#### A. Geschlossene Ankerwicklungen.

Aufstellung der Schaltungsregel für die geschlossenen Ankerwicklungen . . . . .	19
---	----

Einteilung der geschlossenen Ankerwicklungen . . . . .	24
--	----

Einfach und mehrfach geschlossene Wicklungen . . . . .	26
--	----

#### Die Ringankerwicklungen.

##### 1. Zweipolige Ringanker.

Der Ringanker von Pacinotti-Gramme . . . . .	29
--	----

Die Ringankerwicklung von Wodicka . . . . .	32
---	----

##### 2. Mehrpolige Ringanker mit Parallelschaltung.

Mehrpole Ringanker mit Pacinotti-Grammescher Wicklung . . . . .	33
---	----

Ringankerwicklung für Parallelschaltung von dem Verfasser . . . . .	34
---	----

Ringankerwicklung mit Querverbindungen nach Mordey . . . . .	40
--	----

Ringwicklung für Parallelschaltung nach dem Trommelschema . . . . .	41
---	----

##### 3. Mehrpolige Ringanker mit Reihenschaltung.

Ableitung der Reihenschaltung aus der zweipoligen Wicklung . . . . .	45
--	----

Vierpolige Reihenschaltung mit äußeren und inneren Querverbindungen . . . . .	48
---	----

MM

	Seite
Symmetrische Reihenwicklung mit äußeren und inneren Querverbindungen . . . . .	50
Ringanker mit Reihenwicklung von Perry . . . . .	51
Ringanker mit Reihenschaltung von dem Verfasser . . . . .	56
Ringanker mit Reihenschaltung nach dem Trommelschema . . . . .	60
Reihenschaltung für Ringanker mit Doppelspulen . . . . .	60
4. Ringanker mit mehrfacher Parallelschaltung . . . . .	64
5. Ringanker mit Reihen-Parallelschaltung . . . . .	67
6. Ringanker mit zwei Kollektoren . . . . .	70
<b>Die Trommelankerwicklungen.</b>	
1. Zweipolige Trommelanker.	
Zweipolige Trommelanker mit Schleifenwicklung nach v. Hefner-Alteneck . . . . .	73
Variante der v. Hefner-Alteneckschen Trommelwicklung nach Edison . . . . .	78
Variante der v. Hefner-Alteneckschen Trommelwicklung nach Swinburne . . . . .	78
Zweipoliger Trommelanker mit Wellenwicklung . . . . .	79
Zweipoliger Trommelanker mit ungerader Spulenzahl . . . . .	82
Zweipolige Trommelanker mit übereinander liegenden Spulen . . . . .	85
Trommelwicklung mit übereinander liegenden Spulen von ungerader Anzahl . . . . .	90
Die Verkürzung und Verlängerung des Wicklungsschrittes bei Trommelankern . . . . .	91
2. Mehrpolige Trommelanker mit Parallelschaltung.	
Die Parallelschaltung mit Schleifenwicklung . . . . .	92
Trommelanker mit Schleifenwicklung, deren Spulenzahl ein Vielfaches der Polzahl ist . . . . .	93
Trommelanker mit Schleifenwicklung, deren Spulenzahl nur ein Vielfaches der halben Polzahl ist . . . . .	95
Mehrpole Trommelanker mit Schleifenwicklung, deren Spulenzahl durch die halbe Polzahl nicht teilbar ist . . . . .	96
Die mehrpolige Schleifenwicklung mit verkürztem Schritte . . . . .	99
Trommelanker mit Schleifenwicklung und übereinander liegenden Spulen . . . . .	101
Mehrpoliger Trommelanker mit Parallelschaltung und Wellenwicklung von dem Verfasser . . . . .	104
Mehrpole Trommelanker mit Parallelschaltung nach Mordey . . . . .	106

3. Mehrpolige Trommelanker mit Reihenschaltung.	
Die Reihenschaltung mit Wellenwicklung . . . . .	109
Die Reihenschaltung mit Wellenwicklung und übereinanderliegenden Spulen . . . . .	117
Reihenschaltung mit Schleifen-Wellenwicklung . . . . .	119
Die Reihenschaltung m. vermehrter Kollektorlamellenzahl	121
Reihenschaltung für Trommelanker, deren Stabzahl ein Vielfaches der Polzahl . . . . .	124
Reihenschaltung für Trommelanker mit Doppelspulen .	126
4. Trommelanker mit mehrfacher Parallelschaltung	128
5. Trommelanker mit Reihen-Parallelschaltung .	131
Übersicht über die verschiedenen Bewicklungsarten eines Trommelankers . . . . .	135
Trommelanker mit zwei Kollektoren . . . . .	136
Trommelankerwicklung von Immisch . . . . .	137
<b>Die Wicklungen von Scheibenankern und verwandten Ankerkonstruktionen . . . . .</b>	<b>139</b>
Die Faradaysche Scheibe . . . . .	140
Scheibenanker von W. Thomson und Poleschko . . . . .	140
»    »    Pacinotti . . . . .	142
»    »    Edison . . . . .	143
»    »    Frick . . . . .	145
Anwendung des Schemas von Perry auf Scheibenanker .	148
Die Scheibenankerwicklung von E. Desroziers . . . . .	150
Scheibenanker von F. Fanta . . . . .	155
»    »    Jehl und Rupp . . . . .	156
»    »    W. Fritsche . . . . .	160
Scheibenanker und Ringanker mit schräger Wicklung .	163
Flache Cylinderanker von Frick, von Siemens & Halske und von W. Fritsche . . . . .	166
Scheibenanker von Siemens & Halske . . . . .	167

### B. Offene Ankerwicklungen.

Die Wicklung von Brush . . . . .	173
»    »    »    Thomson-Houston . . . . .	175
Mehrpole Ringanker mit offener Wicklung . . . . .	178
Wicklung der Westinghouse Electric Co. . . . .	182
Polanker von Gérard . . . . .	186
Scheibenanker von Wilde . . . . .	187
»    »    »    Ferranti-Thomson . . . . .	188
»    »    »    Bollmann . . . . .	189

## II. Teil.

## Die Ankerkonstruktionen.

<b>Die Konstruktion des Ankerkörpers.</b>	Seite
Die Welle . . . . .	193
Der Ankerstern . . . . .	198
Die Berechnung der Speichen des Ankersternes . . . . .	205
Der Ankerkern . . . . .	206
Die Abkühlungsfläche und die Erwärmung des Ankers . . . . .	207
Die Treibstützen . . . . .	211
Die Isolation des Ankerkörpers . . . . .	212
<b>Die Konstruktion der Ankerwicklung.</b>	
Die Isolation der Ankerdrähte . . . . .	214
Die Querschnittsformen der Ankerdrähte . . . . .	216
Die Anordnung der Ankerdrähte . . . . .	217
Die Drahtbänder . . . . .	221
Die Berechnung der Drahtbänder . . . . .	222
Der Kollektor . . . . .	224
Das Verkleiden des Ankers . . . . .	224
Das Trocknen des Ankers . . . . .	224
Das Prüfen des Ankers . . . . .	224
Das Ausbalancieren des Ankers . . . . .	225
Links- und rechtsgängige Ankerwicklungen . . . . .	225
<b>Die Konstruktion des Kollektors.</b>	
Die Zahl der Lamellen . . . . .	227
Das Material und die Gestalt der Lamellen . . . . .	229
Die Breite und der Durchmesser des Kollektors . . . . .	229
Der Einfluss des Lamellenquerschnittes auf die Erwärmung des Kollektors . . . . .	231
Die Isolation des Kollektors . . . . .	232
Beispiele von Kollektorkonstruktionen . . . . .	233
Die Verbindung der Armaturdrähte mit dem Kollektor . . . . .	236
<b>Beispiele für die Konstruktion von Ringankern . . . . .</b>	<b>239</b>
(Maschinenfabrik Oerlikon; A. G. E. vorm. O. L. Kummer & Co.; Ringanker der Innenpolmaschine von Siemens & Halske; Anker der Flachringmaschine der E. A. vorm. Schuckert & Co.).	

**Beispiele für die Konstruktion von Trommelankern.**

Trommelanker mit Drahtwicklung . . . . .	250
(E. A. G. vorm. Lahmeyer & Co.; Maschinenfabrik Oerlikon; Westinghouse Electric Co.)	
Die Schablonenwicklung der E. G. Alioth . . . . .	261
Die Schablonenwicklung von R. Eickemeyer . . . . .	263
Die Schablonenwicklung der E. A. G. vormals Lah- meyer & Co. . . . .	269
Trommelanker mit Drahtwicklung in zwei Lagen . . . . .	270
(Maschinenfabrik Oerlikon; Westinghouse Electric Co.)	
Trommelanker mit Stabwicklung . . . . .	275
Die Stabwicklung von Siemens & Halske . . . . .	275
» » der Maschinenfabrik Oerlikon . . . . .	277
» » der E. A. vorm. Schuckert & Co. . . . .	279
» » der E. G. Alioth . . . . .	283
Trommelanker mit Stabwicklung und Lüftung . . . . .	286
Die Stabwicklung von W. Fritsche . . . . .	287
» » der E. A. G. vorm. Lahmeyer & Co. . . . .	289
» » von Brown Boveri & Co. . . . .	293

**Beispiele für die Konstruktion von Scheibenankern.**

Scheibenanker von E. Desroziere . . . . .	294
Der Radanker von W. Fritsche . . . . .	303
Der Glockenanker von W. Fritsche . . . . .	308





## Namenverzeichnis.

### A.

A. E. G. Berlin 213.  
A. G. E. vorm. Kummer & Co. 204,  
245.  
Alioth, R. & Co. 59, 64, 108, 126,  
261 (siehe unter E).  
Andrews 51.  
Ayrton 164.

### B.

Bollmann 189.  
Brown, Boveri & Co. 233, 293.  
Brush 171, 173, 180.  
Brush Comp. 40.

### D.

Desroziere, E. 150, 160, 164, 294.

### E.

E. A. vorm. Schuckert & Co. 178,  
204, 233, 246, 279.  
E. A. G. vorm. Lahmeyer & Co. 233,  
254, 255, 269, 289, 292.  
E. G. Alioth 197, 201, 263, 283.  
Edison 78, 143, 145.  
Eickemeyer, R. 263.  
Elphinstone-Vincent 164.

### F.

Fanta, F. 155, 295.  
Faraday 3, 140.  
Ferranti-Thomson 188, 189.

Frick 51, 124, 145, 166.

Friese, R. M. 209.

Fritsche & Pischon 289, 308.

Fritsche, W. 16, 17, 28, 115, 160,  
166, 167, 287, 294, 303, 308.

### G.

Garbe-Lahmeyer & Co. 72.

Gebr. Adt. 213.

Gérard 186.

Gramme 29, 30, 33, 37, 239.

Guénod-Sautter & Cie. 165.

Guerout 88.

### H.

Hefner-Alteneck, v. 33, 73, 78, 79,  
137, 145, 167.

### I.

Immisch 137.

### J.

Jehl, F. 156.

Jehl & Rupp 64, 156.

### K.

Kapp 37, 51.

### M.

Maison Bréguet 302.

Maschinenfabrik Oerlikon 197, 199,  
224, 233, 239, 241, 255, 258, 265,  
270, 275, 277.

Mordey 40, 48, 106, 246.

Müller, H. 109.

## P.

Pacinotti 142, 145.  
 Pacinotti-Gramme 24, 29, 33, 34, 73.  
 Painter-Morison 236.  
 Paris und Scott 109  
 Perry 51, 59, 61, 109, 148, 160, 164.  
 Poleschko 104, 141.

## S.

Schuckert 165 (siehe unter E).  
 Siemens 73, 171.  
 Siemens & Halske 166, 167, 233,  
 246, 275.  
 Stanley, Ch. 45, 146.  
 Steinmetz, C. P. 209.  
 Swinburne, M. J. 32, 78, 100.

## T.

Thompson, S. P. 140, 142, 164.  
 Thomson-Houston 171, 175, 178, 286.  
 Thomson-Houston Co. 175, 224.  
 Thomson, W. 140, 141.  
 Thury 100.

## U.

Union E. G., Berlin 286.

## W.

Western Electric Co. 88.  
 Westinghouse Electric Co. 171, 182,  
 259, 273, 275.  
 Weston E. 65, 72, 87, 88, 137.  
 Wilde, H. 187.  
 Wilson, E. 208.  
 Wodicka 32, 41.



## EINLEITUNG.

### Die Verbindungsarten von induzierten Leitern für die Erzeugung von Gleichströmen.

Wird ein Leiter in einem magnetischen Felde derart bewegt, daß er Kraftlinien schneidet, so wird in ihm eine elektromotorische Kraft induziert. Gehört der Leiter einem geschlossenen Stromkreise an und erfolgt die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und, bei gleichbleibender Lage des Leiters bezüglich der Richtung der Kraftlinien, durch ein gleichförmiges magnetisches Feld, so wird eine konstante elektromotorische Kraft und ein Strom von konstanter Stärke erzeugt. Die elektromotorische Kraft wirkt im Sinne der Fig. 1 senkrecht zur Richtung der Bewegung und senkrecht zur Richtung der Kraftlinien.<sup>1)</sup>

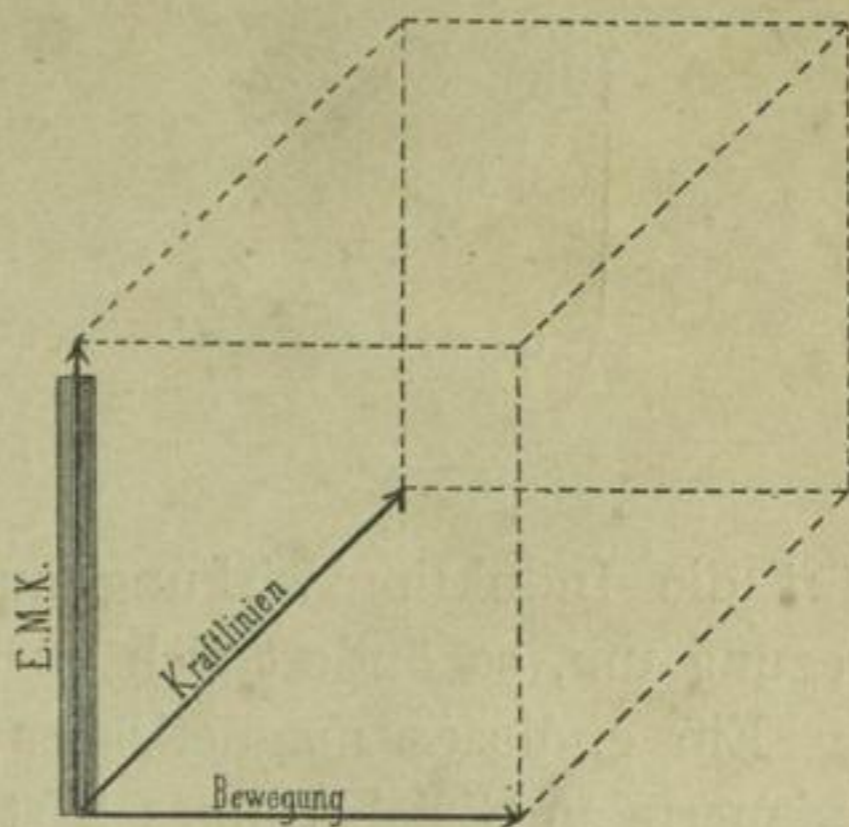


Fig. 1.

Es sei in Fig. 2 ein magnetisches Feld durch zwei gegenüberstehende ungleichnamige Pole gegeben. Der Nordpol stehe über der Papierebene, so daß die Kraftlinien in dieselbe eintreten, von

<sup>1)</sup> Die von Faraday angegebene Regel lautet: Denkt man sich im magnetischen Felde befindlich, so daß die Kraftlinien bei den Füßen ein- und durch den Kopf austreten, blickt man ferner nach der Richtung, in welcher der Leiter bewegt wird, so wirkt die induzierte elektromotorische Kraft nach rechts.

Nord nach Süd positiv verlaufend. Bewegt sich nun ein Leiter in der Lage  $ab$  und in der Richtung des Doppelpfeiles durch das gegebene Feld, so wird in demselben eine in der Pfeilrichtung positiv verlaufende elektromotorische Kraft induziert. Um einen geschlossenen Stromkreis herzustellen, ist vorausgesetzt, daß der Leiter  $ab$  bei seiner Bewegung auf zwei festen Schienen  $AB$  und  $CD$  gleite, deren Endpunkte durch die Leiter  $AmC$  und  $BnD$  verbunden sind; es entsteht dann ein Strom in der Richtung der Pfeile.

Einen andauernden gleichgerichteten Strom könnte man auf diese Weise nur erhalten, wenn das magnetische Feld unbegrenzt groß wäre; denn sobald der Leiter das magnetische Feld verläßt,

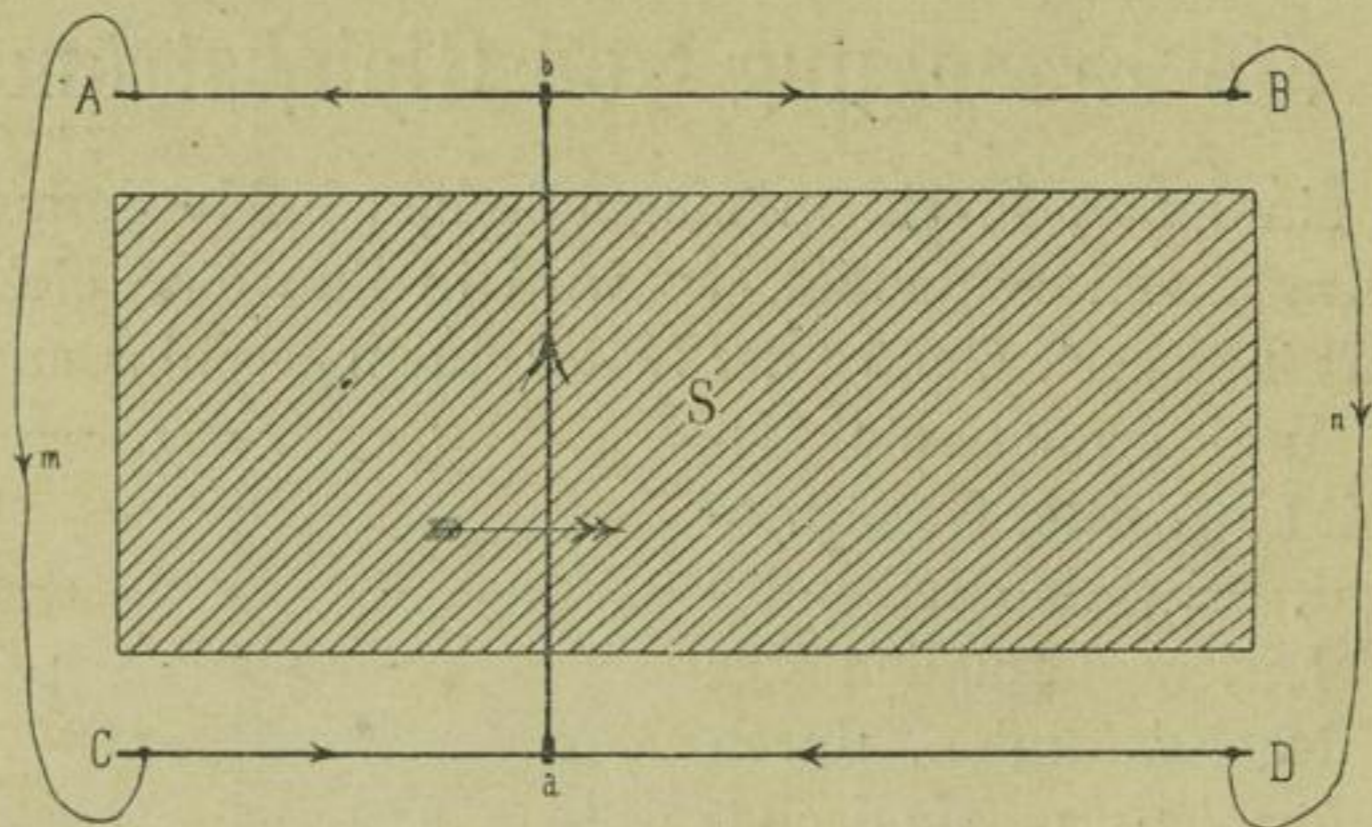


Fig. 2.

hört die Induktionswirkung auf; kehrt aber derselbe seine Bewegung um, so ändert sich auch die Stromrichtung.

Ein endloses magnetisches Feld, sowie die Erzeugung eines andauernden Gleichstromes läßt sich jedoch erreichen, indem wir die Anordnung (Fig. 2) auf einem Cylinder aufrollen und die geradlinige Bewegung des Leiters  $ab$  in eine kreisförmige überführen.

Die dadurch entstehende gegenseitige Lage der Pole (in Vorderansicht) ist aus Fig. 3 und der Stromverlauf aus Fig. 4 ersichtlich. Dieselben enthalten die Grundzüge einer sogen. Unipolarmaschine.

Die Größe der induzierten elektromotorischen Kraft ist abhängig von der Intensität des magnetischen Feldes, von der Geschwindigkeit und der Länge des induzierten Leiters. Die ersten beiden Größen können ein gewisses Maß nicht überschreiten, eine

beliebige Erhöhung der elektromotorischen Kraft kann daher nur durch Vergrößerung der induzierten Leiterlänge erreicht werden. Aber auch hier treten gewisse Schwierigkeiten auf.

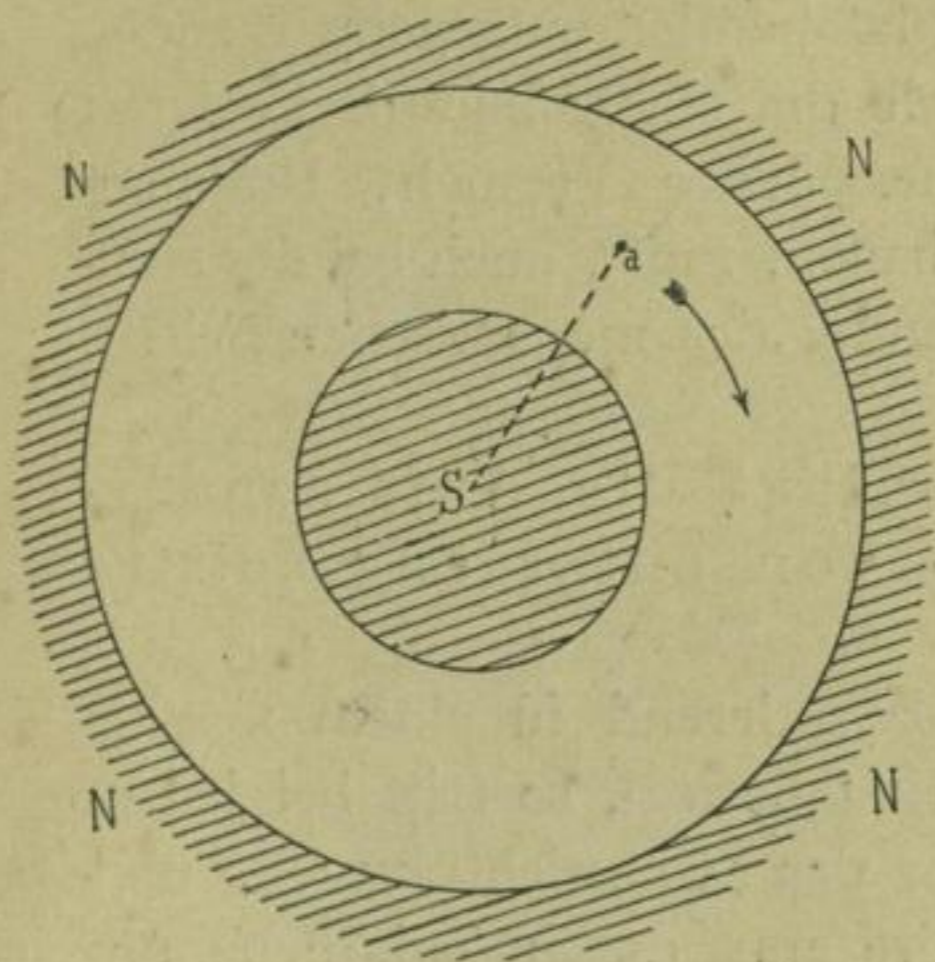


Fig. 3.

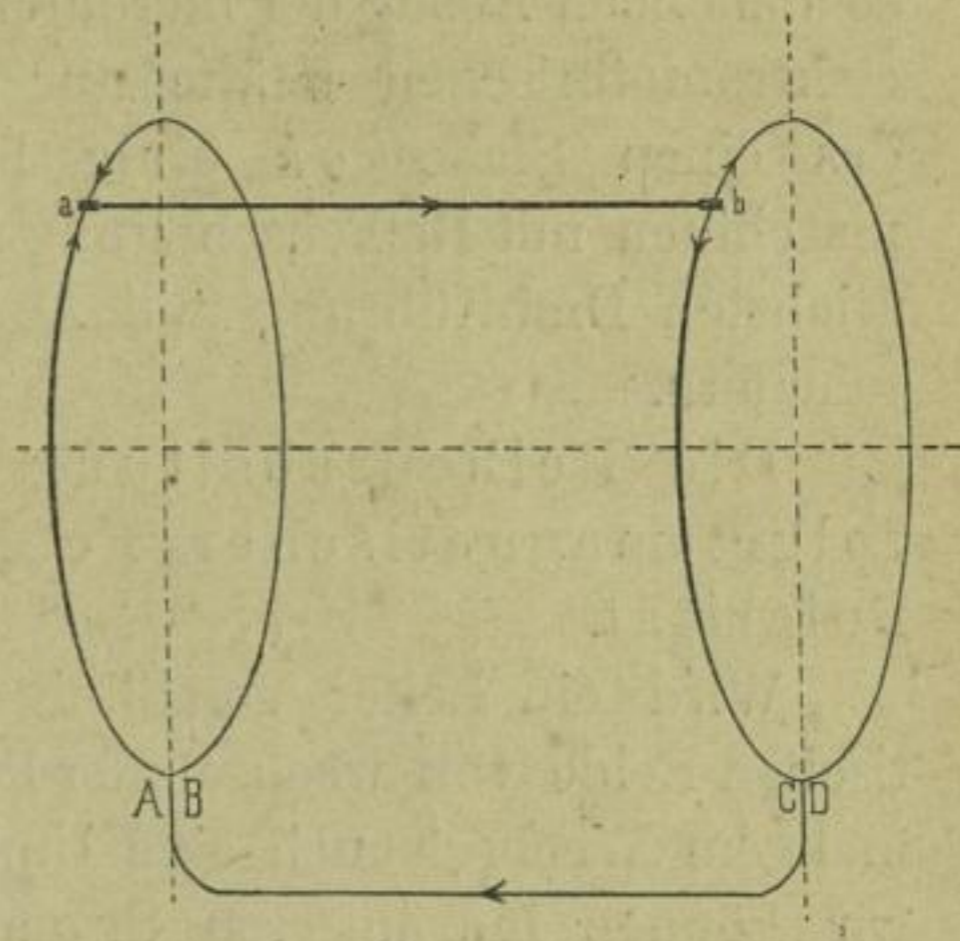


Fig. 4.

Die Anwendung eines einzigen geradlinigen Leiters (*ab* Fig. 4) ist nur für die Erzeugung von kleinen elektromotorischen Kräften ausführbar, grössere elektromotorische Kräfte müssen durch Samm-

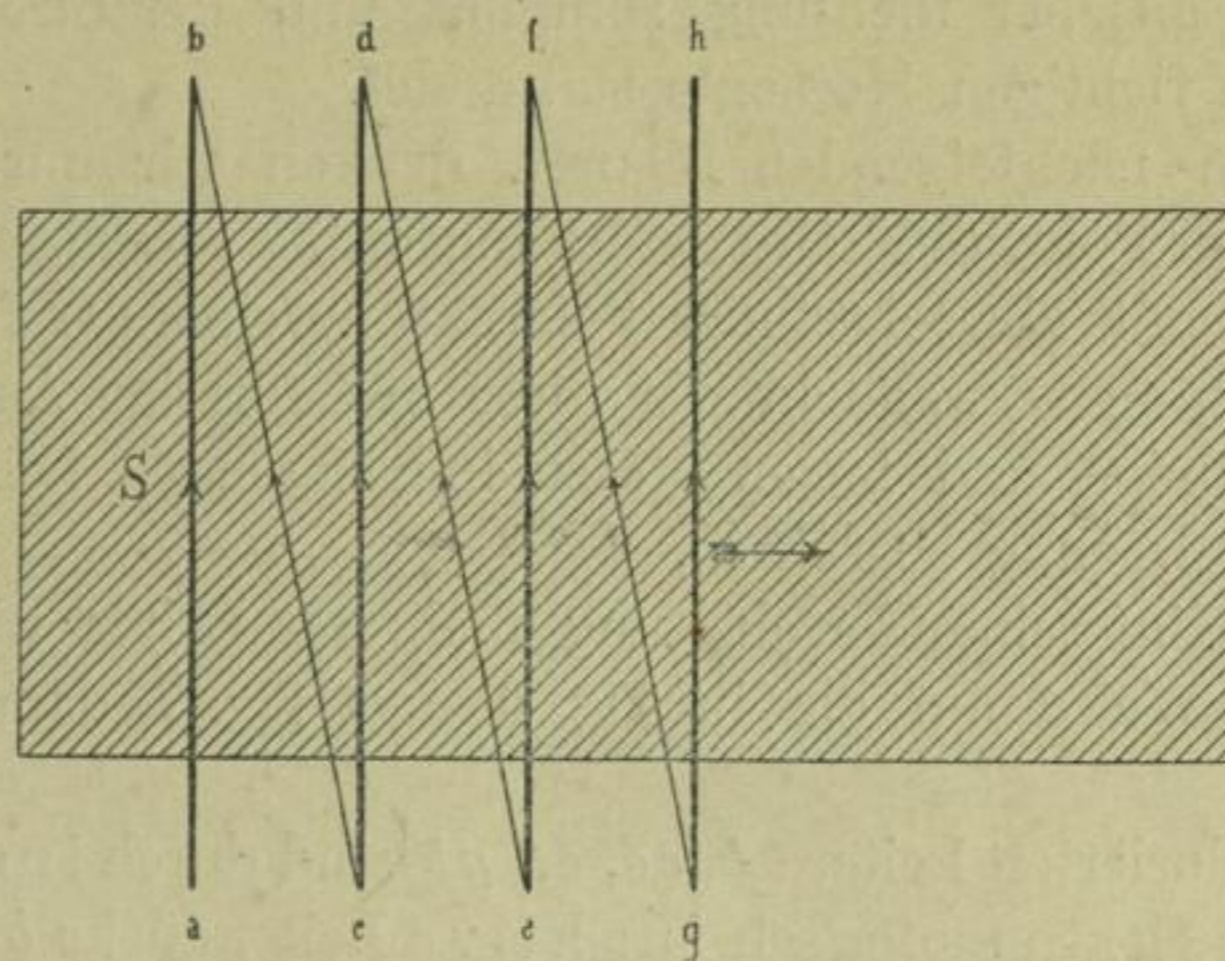


Fig. 5.

lung der in mehreren Leitern induzierten Impulse erhalten werden, d. h. durch Reihen- oder Hintereinanderschaltung.

Die unipolare Induktion, wie dieselbe in den Figuren 2, 3 und 4 dargestellt wurde, ermöglicht keine Reihenschaltung. Denn würde man z. B. in Fig. 5 mehrere Stäbe *ab*, *cd*, *ef*, *gh* durch

die Querverbindungen  $bc$ ,  $de$ ,  $fg$  hintereinander schalten, so würden, da der Nordpol dem Südpol gegenüber liegt, die Querverbindungen bei ihrer Bewegung ebenfalls Kraftlinien schneiden, so daß nach Abzug der hierdurch entstehenden entgegenwirkenden elektromotorischen Kräfte nur noch die elektromotorische Kraft des einen Stabes  $gh$  übrig bliebe. Jeder Versuch, Unipolarmaschinen mit Reihenschaltung zu bauen, muß, auch bei der sinnreichsten Drahtführung und Anordnung des magnetischen Feldes, scheitern.

Die Reihenschaltung bedingt die Aufeinanderfolge magnetischer Felder von entgegengesetzter Polarität.

Wird ein Leiter geradlinig oder rotierend in einem magnetischen Felde von wechselnder Polarität bewegt, so tritt bei jedesmaligem Wechsel auch eine Umkehr der Stromrichtung ein, und wir können im äußeren Stromkreise nur durch Zuhilfenahme eines Stromwenders oder Kollektors einen gleichgerichteten Strom erhalten. Die Hintereinanderschaltung mehrerer Stäbe und die Verbindung derselben mit dem Stromwender muß dann in solcher Weise ausgeführt sein, daß die elektromotorische Kraft in allen Stäben in gleicher Richtung zunimmt und der Stromrichtungswechsel im richtigen Momente stattfindet.

In den nachfolgenden Figuren denken wir uns eine Reihe magnetischer Pole im Kreise derart angeordnet, daß sie in gleichen Abständen mit abwechselnder Polarität aufeinander folgen. Für die Darstellung verwandeln wir diese kreisförmige Anordnung in eine geradlinige und lassen die zu induzierenden Leiter eine geradlinige Bewegung ausführen.

Eine Hintereinanderschaltung mehrerer Leiter wird dann in einfachster Weise auf die in Fig. 6 und Fig. 7 dargestellte Art erreicht.

Die induzierten Leiter  $ab$ ,  $cd$ ,  $ef$ ,  $gh$  sind durch induktionsfreie oder elektromotorisch inaktive Leiterstücke  $bd$ ,  $ce$ ,  $fh$  zu einer Zickzackform derart vereinigt, daß sich die elektromotorischen Kräfte, deren Richtungen durch Pfeile angedeutet sind, addieren.

In Fig. 6 ist der Abstand der induzierten Leiter gleich dem doppelten, in Fig. 7 gleich dem einfachen Polabstande. Die punktierte Lage entspricht dem Momente des Stromwechsels.

Die Querverbindungen lassen sich durch eine schräge Lage der induzierten Leiter vermeiden, wie durch Fig. 8 veranschaulicht wird.

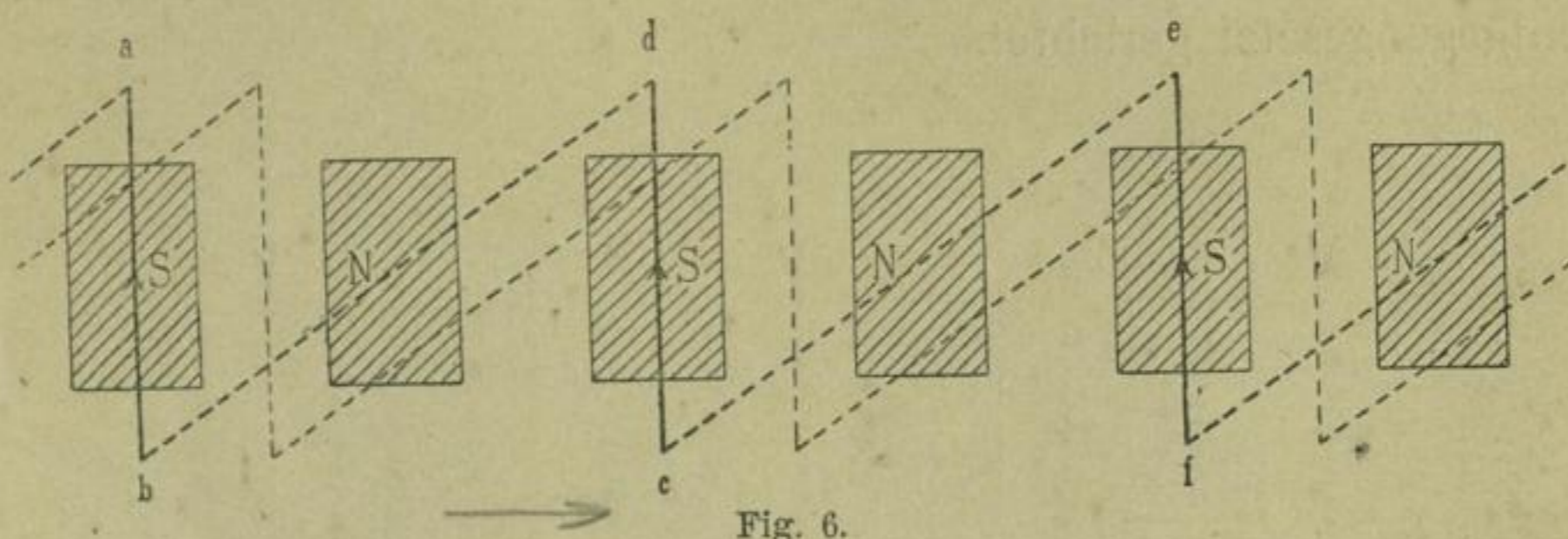


Fig. 6.

Damit aber ein Leiter nicht gleichzeitig in zwei magnetische Felder zu liegen kommt, und einander entgegengewirkende elektro-

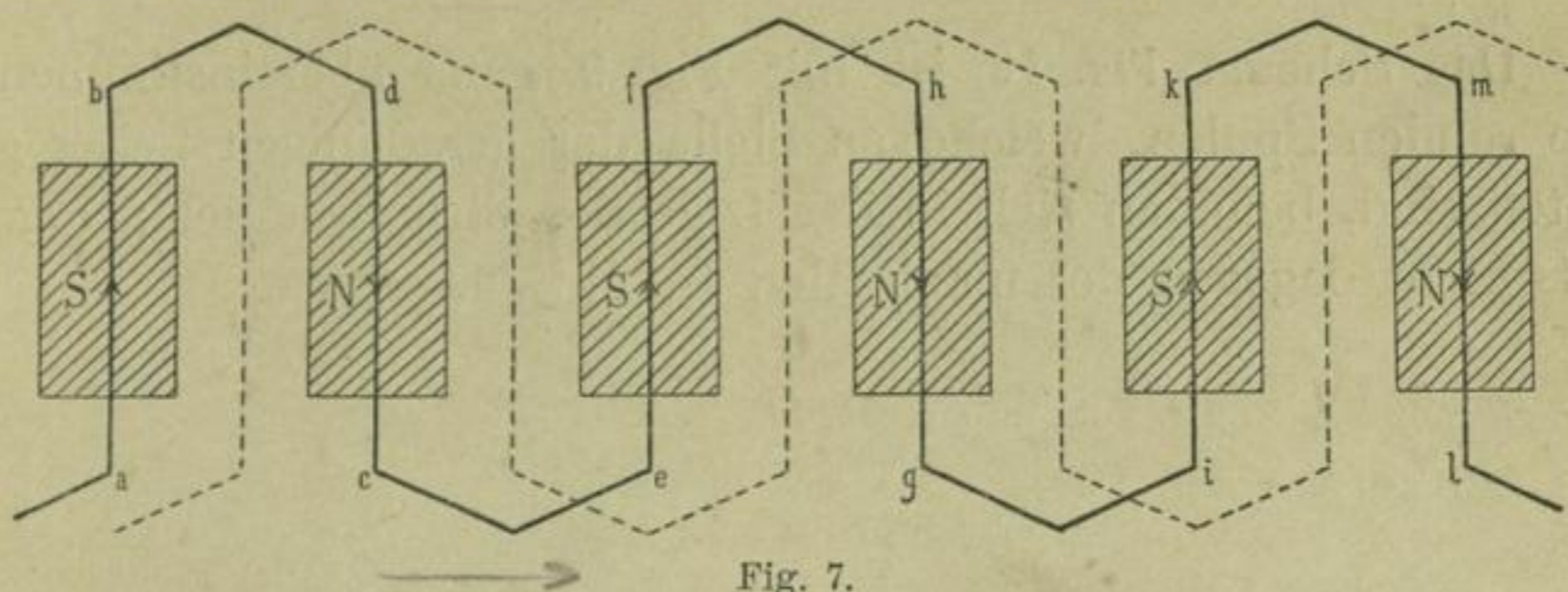


Fig. 7.

motorische Kräfte entstehen, müssen die Polschuhe eine rautenförmige Gestalt annehmen. Die punktierte Lage entspricht wiederum dem Eintritte des Stromwechsels.

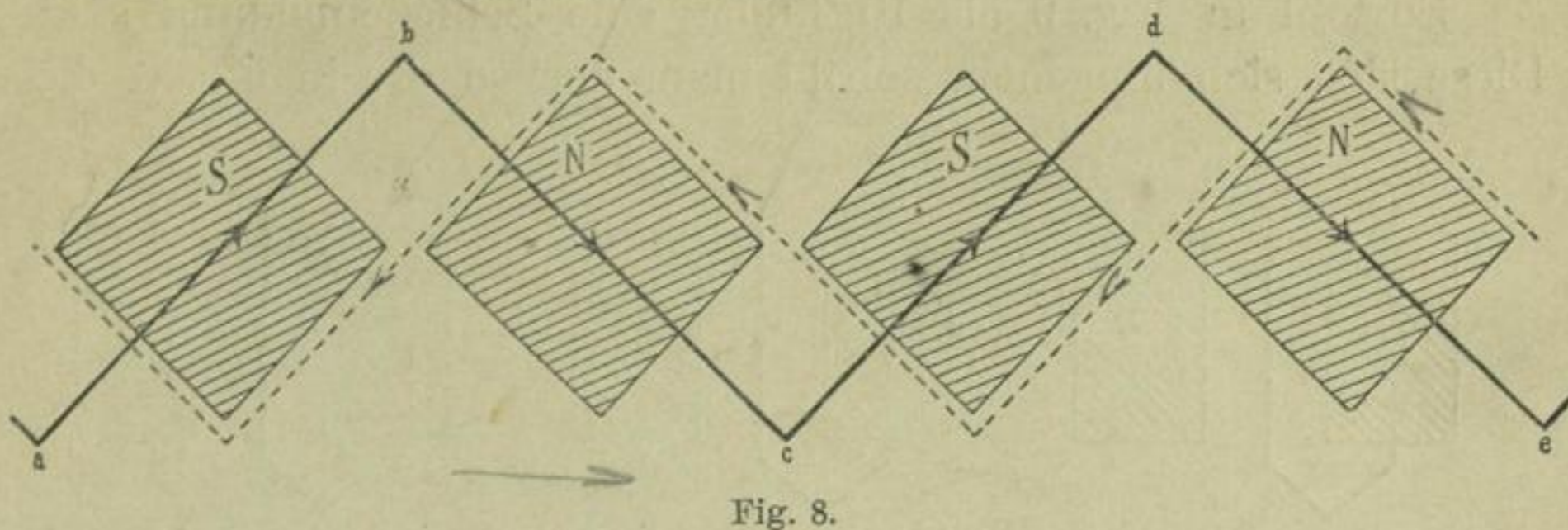


Fig. 8.

Verbindet man in Fig. 7 die Leiter, z. B.  $ab$  und  $cd$ , nicht direkt, sondern wie in Fig. 9 durch  $bghikd$ , indem man das magnetische Feld zweimal durchschreitet, so werden die Leiter  $ab$  und  $gh$ , ferner  $cd$  und  $ik$  u. s. f. abwechselnd induziert. Die

Entfernung derselben muß mindestens gleich der Polschuhbreite sein, denn sobald beide innerhalb desselben magnetischen Feldes zu liegen kommen, sind die induzierten elektromotorischen Kräfte entgegengesetzt gerichtet.

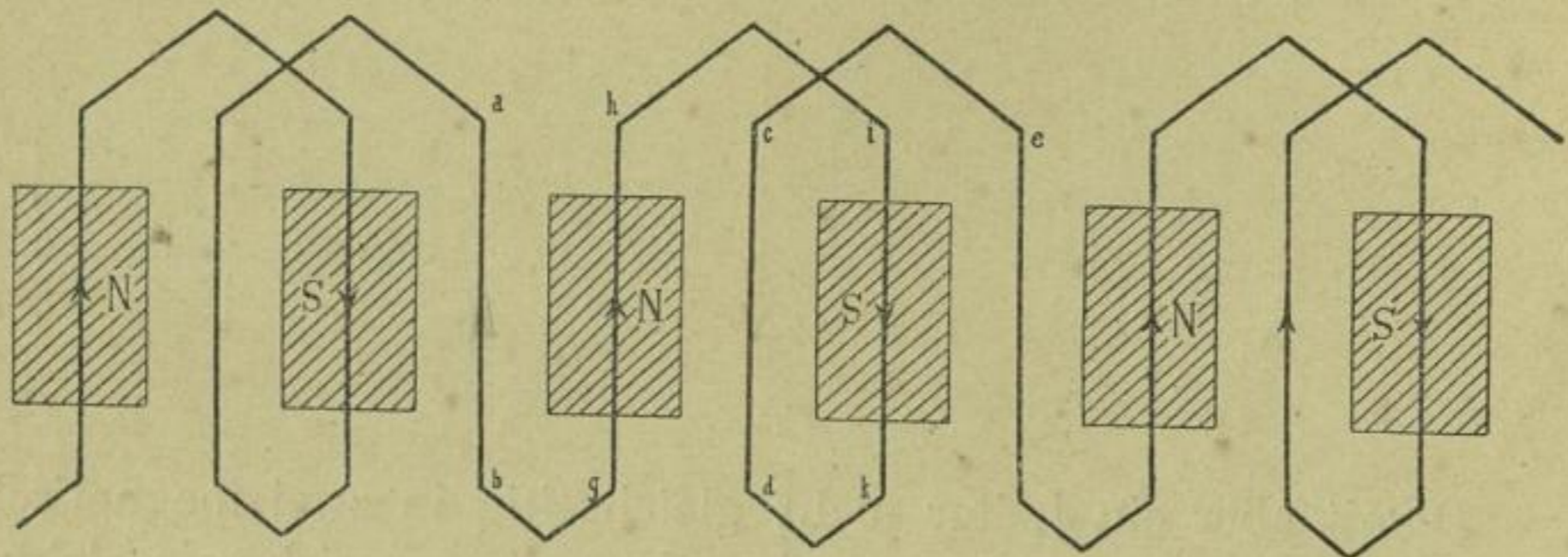


Fig. 9.

Das Schema Fig. 10 ist mit Fig. 9 ganz übereinstimmend. Die runden Spulen, welche an Stelle der geradlinigen Leiter getreten sind, befinden sich in der Lage des Stromwechsels; Fig. 9 entspricht dagegen der maximalen Induktion.

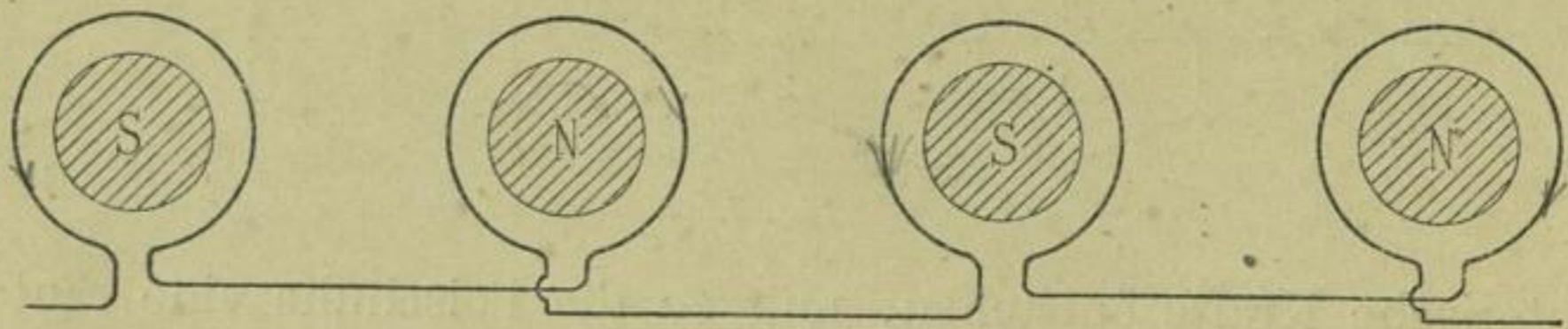


Fig. 10.

Sowohl in Fig. 9 als 10 findet eine Schleifenbildung statt. Diese läßt sich umgehen, sobald man, ebenso wie in Fig. 6, die

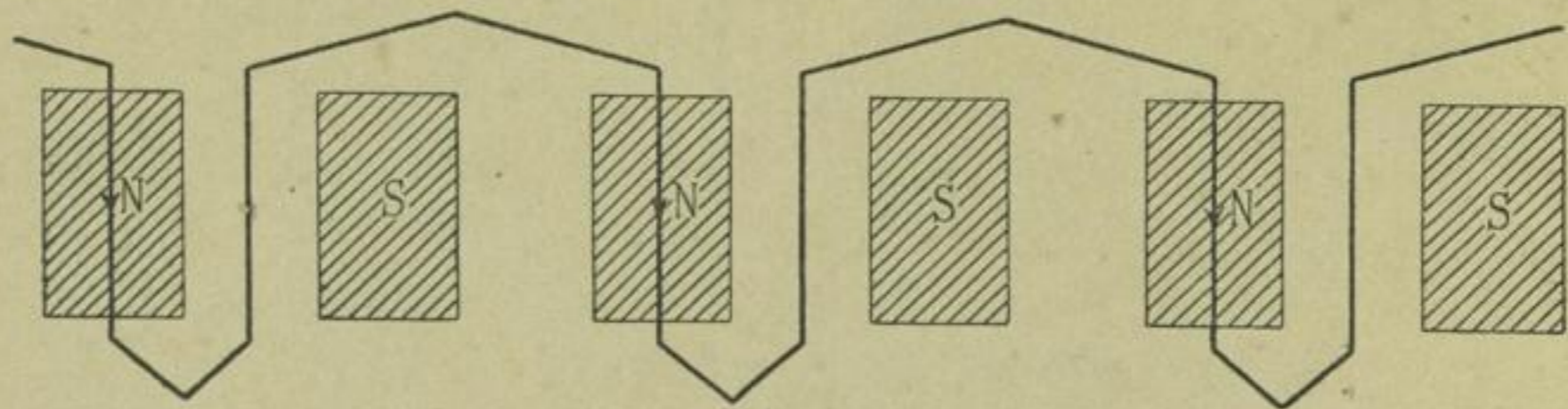


Fig. 11.

jenigen Leiter mit einander verbindet, die sich in gleichnamigen magnetischen Feldern befinden, oder wenn man in Fig. 9 von *h* direkt nach *e* übergeht; es entsteht dann das Schema Fig. 11.



Die oben angeführten Reihenschaltungen eignen sich nicht zur Erzeugung eines Gleichstromes von konstanter Spannung und Stärke, weil der in allen Leitern gleichzeitig eintretende Stromwechsel erhebliche Schwankungen verursachen wird. Wir müssen, um einen konstanten Gleichstrom zu erzeugen, eine gröfsere Zahl von Leitern in den verschiedensten Lagen bezüglich der magnetischen Felder so anordnen, dafs ein Teil derselben der gröfsten, ein Teil geringerer und ein Teil gar keiner Induktion ausgesetzt ist. Alsdann kann man erstens, sämtliche Leiter so untereinander verbinden, dafs dieselben eine in sich geschlossene oder endlose Wicklung bilden und dafs zwischen den Stromabnahmestellen in keiner Lage entgegenwirkende elektromotorische Kräfte entstehen. Die Verbindung mit dem äufseren Stromkreise ist so

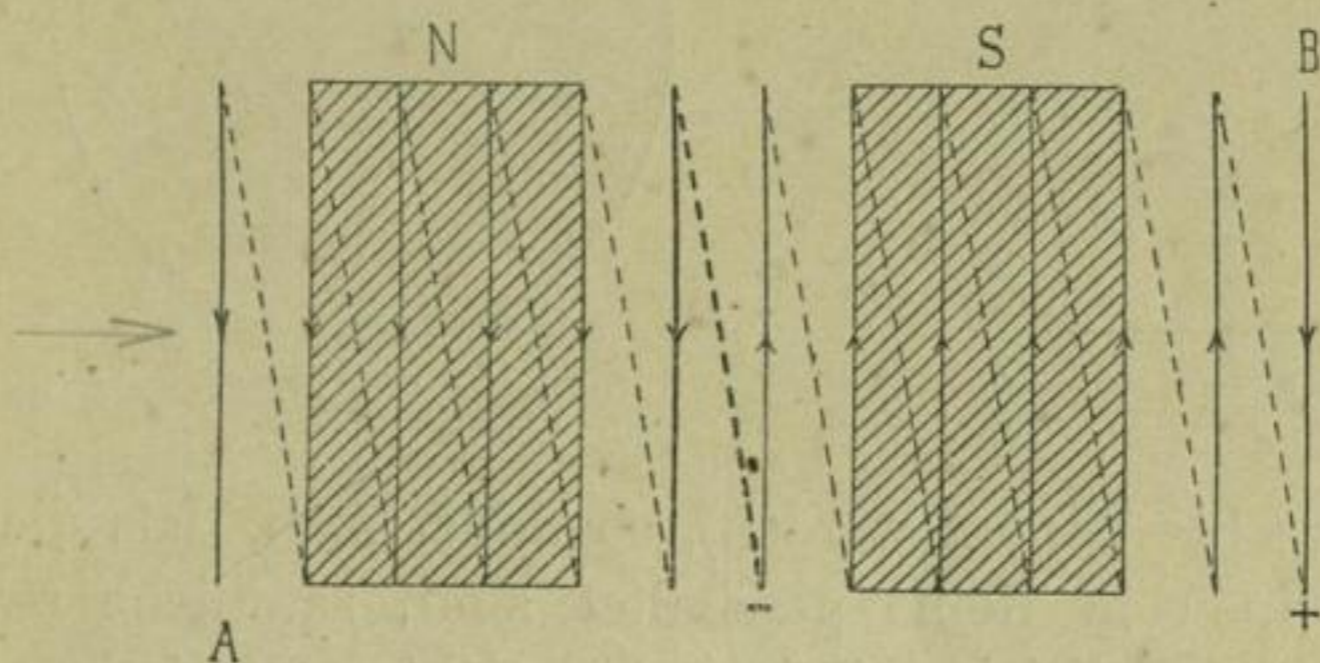


Fig. 12.

herzustellen, dafs nur in denjenigen Leitern sich ein Stromwechsel vollzieht, auf welche keine Induktionswirkung ausgeübt wird. Eine derartige Schaltung wird als geschlossene Wicklung bezeichnet. Zweitens kann man nur diejenigen Stäbe zu einer Gruppe vereinigen und hintereinander schalten, welche bezüglich des magnetischen Feldes ganz dieselbe Lage haben, und jeweilen nur diejenigen Gruppen in den äufseren Stromkreis einschalten, welche in dem betreffenden Momente die maximale oder nahezu die maximale Induktionswirkung erfahren, während die übrigen Gruppen ganz ausgeschaltet sind. Auf diese Weise erhält man die sog. offene Wicklung. Wir wollen uns zunächst mit den geschlossenen Wicklungen beschäftigen.

In Fig. 12 folgen zwei magnetische Felder entgegengesetzter Polarität aufeinander, und über die ganze Strecke sind die zu induzierenden Leiter in gleichen Abständen verteilt.

Nehmen wir nun ferner an, daß die Kraftlinien zwischen den benachbarten Polen  $N$  und  $S$  verlaufen, so können wir die Reihenschaltung derart ausführen, daß wir die entgegengesetzten Enden benachbarter Stäbe oder Leiter durch elektromotorisch inaktive Drähte verbinden, d. h. durch Drähte, die so geführt sind, daß sie keine Kraftlinien schneiden. Dieselben sind in der Figur durch punktierte Linien angedeutet, ihre Lage hat man sich im Raume vorzustellen, etwa wie Fig. 13 als Seitenansicht angibt. Stellt man die Querverbindungen für sämtliche Stäbe her und markiert die Stromrichtungen durch Pfeile (es ist angenommen, daß die

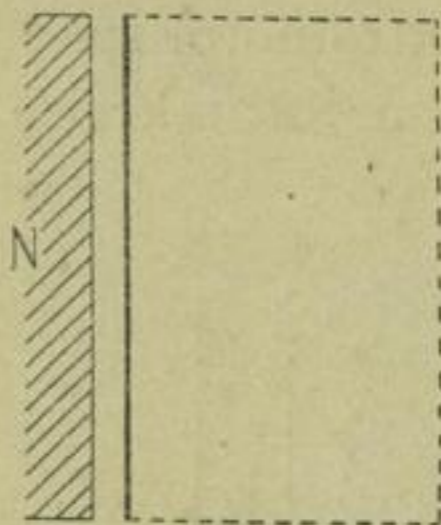


Fig. 13.

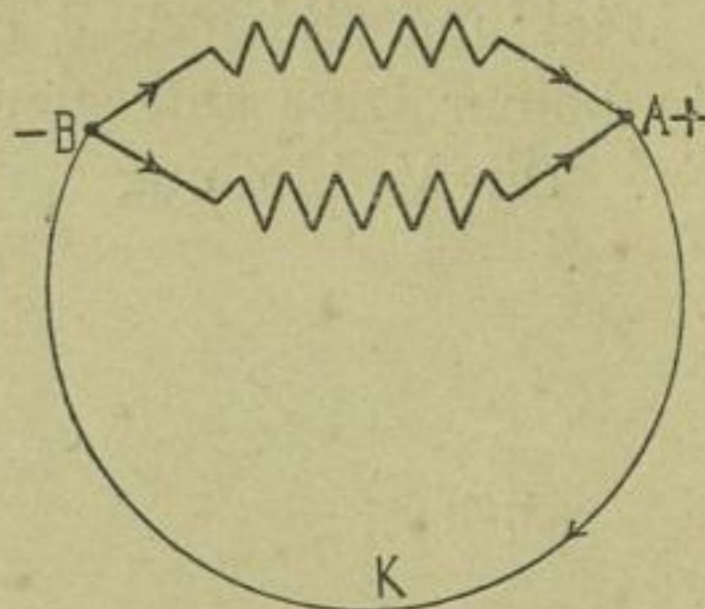


Fig. 14.

Leiter nach rechts bewegt werden), so findet man, daß die Stäbe zu zwei Gruppen in Reihe geschaltet sind, sämtliche zwischen einem (+) und (-) Zeichen induzierten elektromotorischen Kräfte addieren sich.

Wird das Schema Fig. 12 in Kreisform gebracht und  $A$  mit  $B$  verbunden, so erhält man eine endlose Spirale mit den feststehenden Stromabnahmestellen (+) und (-). Nunmehr wird in den induzierten Stäben nicht mehr gleichzeitig, sondern einzeln in dem Momente, in welchem dieselben an den Stromabnahmestellen vorbeigehen, ein Stromrichtungswechsel eintreten. Bei genügend großer Stabzahl ist der durch die Rotation der Spirale erzeugte Strom von konstanter Spannung und Stärke. Derselbe teilt sich an der (-) Abnahmestelle in zwei Zweige, und an der (+) Abnahmestelle findet die Vereinigung beider Stromimpulse statt.

Eine solche Stromverzweigung ist jeder geschlossenen Wicklung eigen, d. h. es lassen sich höchstens die Hälfte sämtlicher Stäbe oder Spulen hintereinander schalten. Das Verzweigungsschema Fig. 14 charakterisiert diesen Fall.  $AKB$  stellt den äußeren Stromkreis dar.

Fig. 15 gibt ein vierpoliges Schema, welches man sich durch Verdoppelung der Fig. 12 entstanden denken kann.

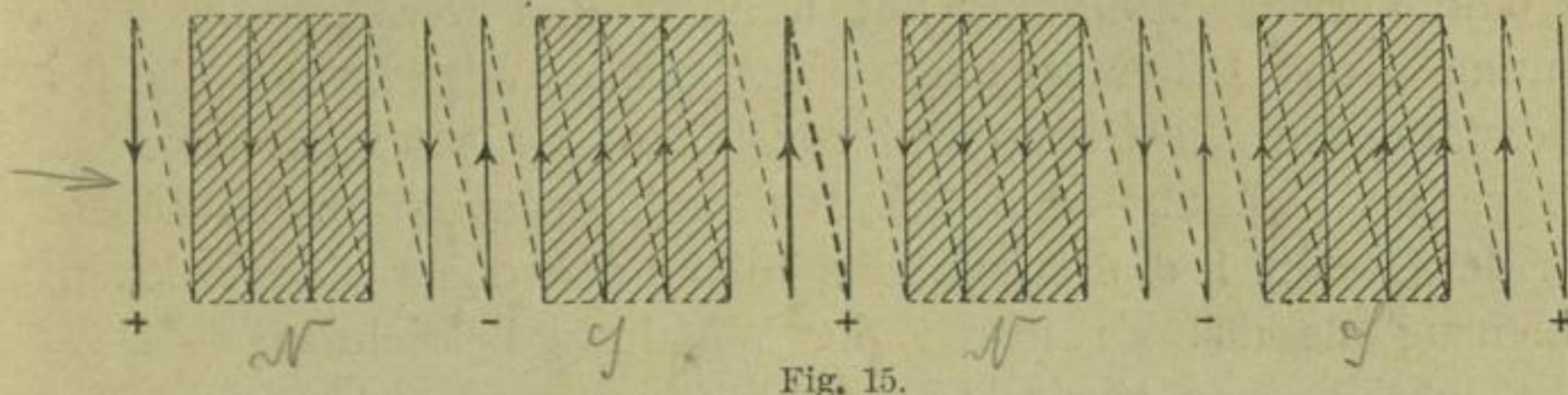


Fig. 15.

Es findet eine zweifache Stromverzweigung statt. Entsprechend dem Verzweigungsschema Fig. 16 werden die induzierten Stäbe in vier gleiche Gruppen geteilt, die Stäbe einer Gruppe sind hintereinander geschaltet, die Gruppen unter sich aber parallel verbunden. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist daher die zu erreichende elektromotorische Kraft derjenigen des Schemas Fig. 12 gleichwertig.

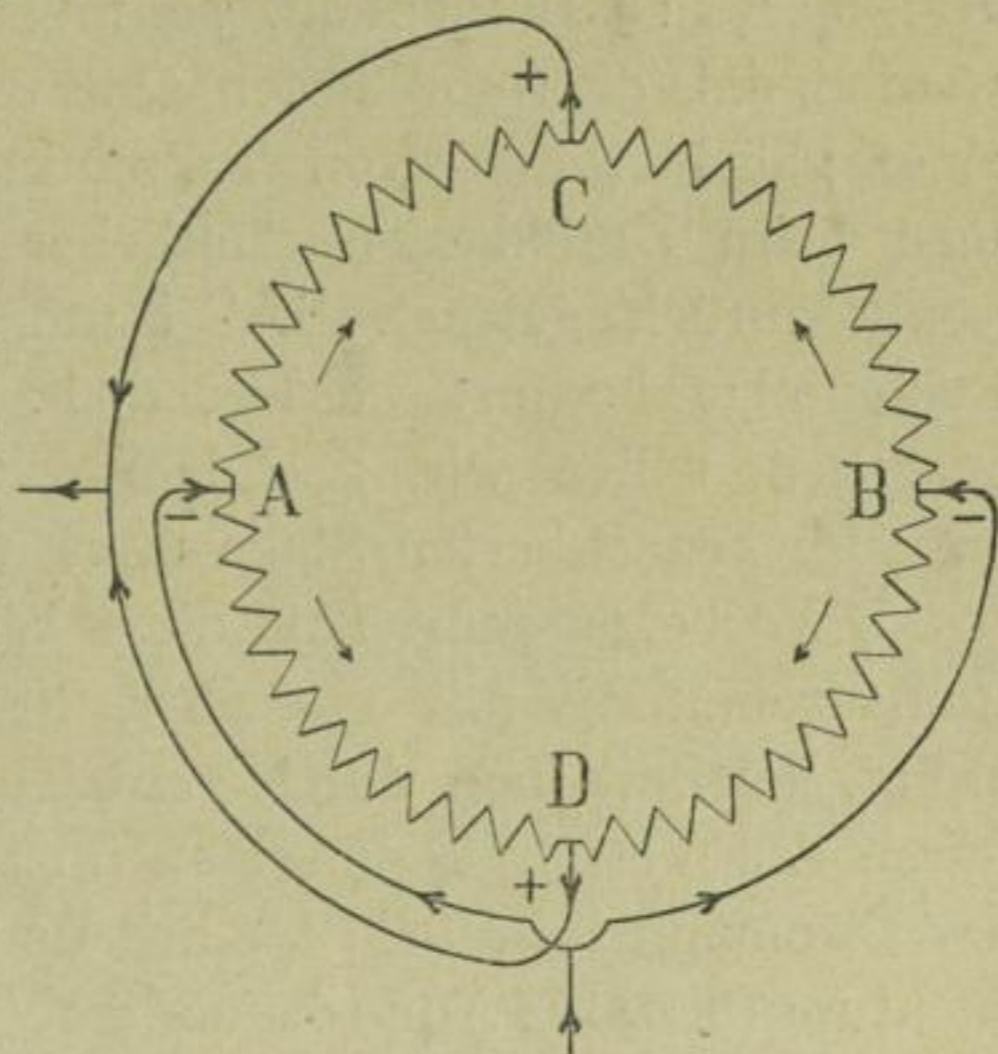


Fig. 16.

Die Stäbe können aber auch so miteinander zu einer geschlossenen Wicklung vereinigt werden, dafs nur eine einzige Stromverzweigung eintritt, dafs also die Hälfte sämtlicher Stäbe hintereinander geschaltet

ist, wodurch eine Verdoppelung der elektromotorischen Kraft erreicht wird. In Fig. 17 ist eine solche Wicklungsmethode dargestellt.

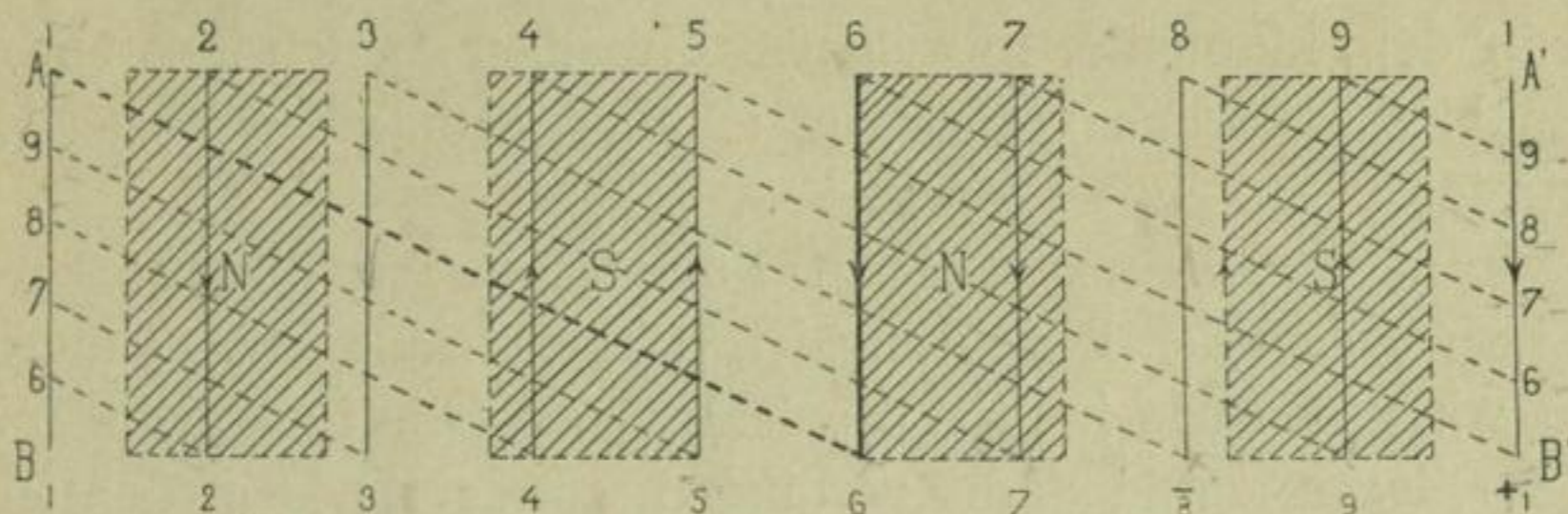


Fig. 17.

ist, wodurch eine Verdoppelung der elektromotorischen Kraft erreicht wird. In Fig. 17 ist eine solche Wicklungsmethode dargestellt.

Die Verbindung der im Schema aufeinander folgenden Leiter ist mit derjenigen in Fig. 6 übereinstimmend, und es kann Fig. 17 als eine Vervielfachung der Fig. 6 angesehen werden. Die Entfernung dieser Leiter ist aber etwas größer oder kleiner als die Poldistanz, und die Gesamtzahl derselben ist nicht mehr beliebig. Die ganze Wicklung setzt sich aus lauter winkelförmigen Zügen von der Gestalt 1, 6, 6 zusammen, man kann daher einen solchen Linienzug als das Element der Wicklung bezeichnen. — Dasselbe enthält einen einzigen der Induktion ausgesetzten Stab.

Denken wir uns das Schema so auf einen Cylinder aufgerollt oder auf einer Scheibe so zur Kreisform gebogen, daß  $A$  mit  $A'$  und  $B$  mit  $B'$  zusammenfällt, so muß die Stabzahl derart gewählt werden, daß die (punktirten) Querverbindungen sich stets zwischen einer gleichen Zahl von Teilpunkten erstrecken müssen, damit man beim Durchlaufen sämtlicher Stäbe wieder zum Ausgangspunkt zurück gelangt. Dabei müssen die Stäbe in natürlicher Reihenfolge berührt werden, d. h. wenn wir z. B. vom Stabe 6 ausgehen, sollen wir, nachdem das Schema einmal durchlaufen ist, zum benachbarten Stabe links (5) oder rechts (7) gelangen.

Die Überzeugung, daß diese Wicklungsmethode eine richtige Reihenschaltung mit einfacher Stromverzweigung nach Fig. 14 ergibt, gewinnt man durch Einzeichnen der Stromrichtungen und durch das Verfolgen derselben im Schema. Gehen wir z. B. von der Stromabnahmestelle (8) aus und bewegen uns einmal in der Richtung (8, 8, 4 . . .) und das andere Mal in der Richtung (8, 3, 3, 7 . . .), so gelangen wir, immer dem Strome folgend und jedesmal die Hälfte der Stäbe berührend, zur zweiten Stromabnahmestelle (+). Der Stromwechsel tritt gleichzeitig nur in zwei Stäben ein, und zwar in dem Momente, in welchem dieselben an den feststehenden Stromabnahmestellen vorbei von einem Stromzweige zum andern übertreten.

Ein neues Schema, welches für den Bau mehrpoliger Maschinen von hervorragender Bedeutung ist, läßt sich aus Fig. 17 ableiten, wenn wir nicht wie in Fig. 6 solche Stäbe, die in gleichnamigen Feldern liegen, miteinander verbinden, sondern wie in den Fig. 7 und 8 alle Pole der Reihe nach durchlaufen.

Die Zahl der Stäbe und die Zahl der Teilpunkte, welche zwischen zwei zu verbindenden Stäben liegt, ist wieder so zu wählen, daß ein ununterbrochener Linienzug (im aufgerollten

Schema) entsteht und dafs, nachdem sämtliche Teilpunkte berührt sind, man wieder zum Ausgangspunkt zurück gelangt.

Die in diesem Sinne erfolgte Vervielfachung der Fig. 7 und Fig. 8 ergibt die Schemata Fig. 18 und Fig. 19.

Jedem Wicklungselement gehören zwei induzierte Stäbe an, welche durch starke Linien hervorgehoben sind.

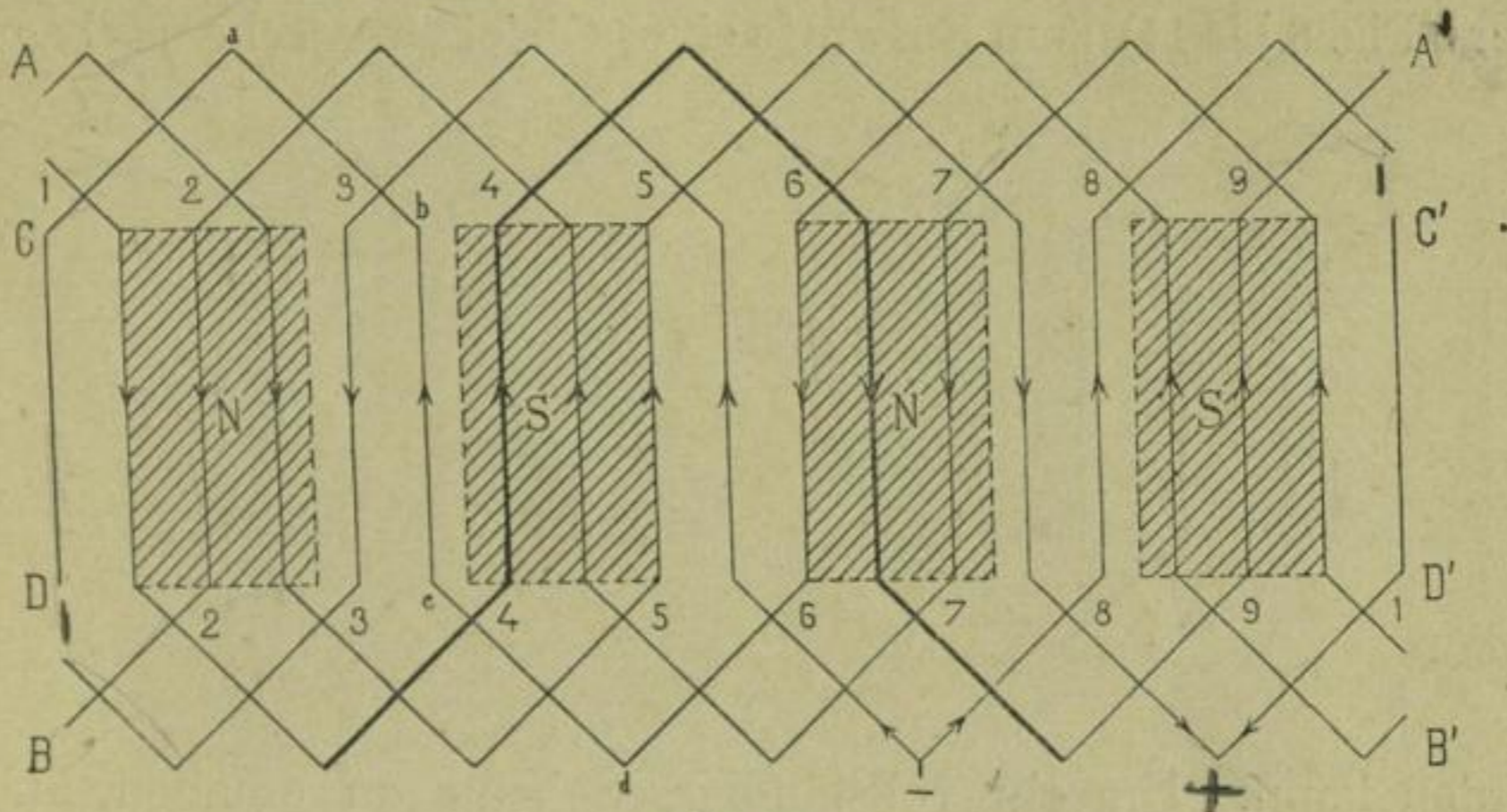


Fig. 18.

Merken wir uns wieder die Richtung des Stromlaufes durch Pfeile und folgen wir dieser Richtung längs des Linienzuges, so ergeben sich nur zwei Stellen, bei denen die Ströme nach entgegengesetzter Richtung verlaufen; es sind dieses die Berührungspunkte für die Stromableitung nach dem äußeren Stromkreise. —

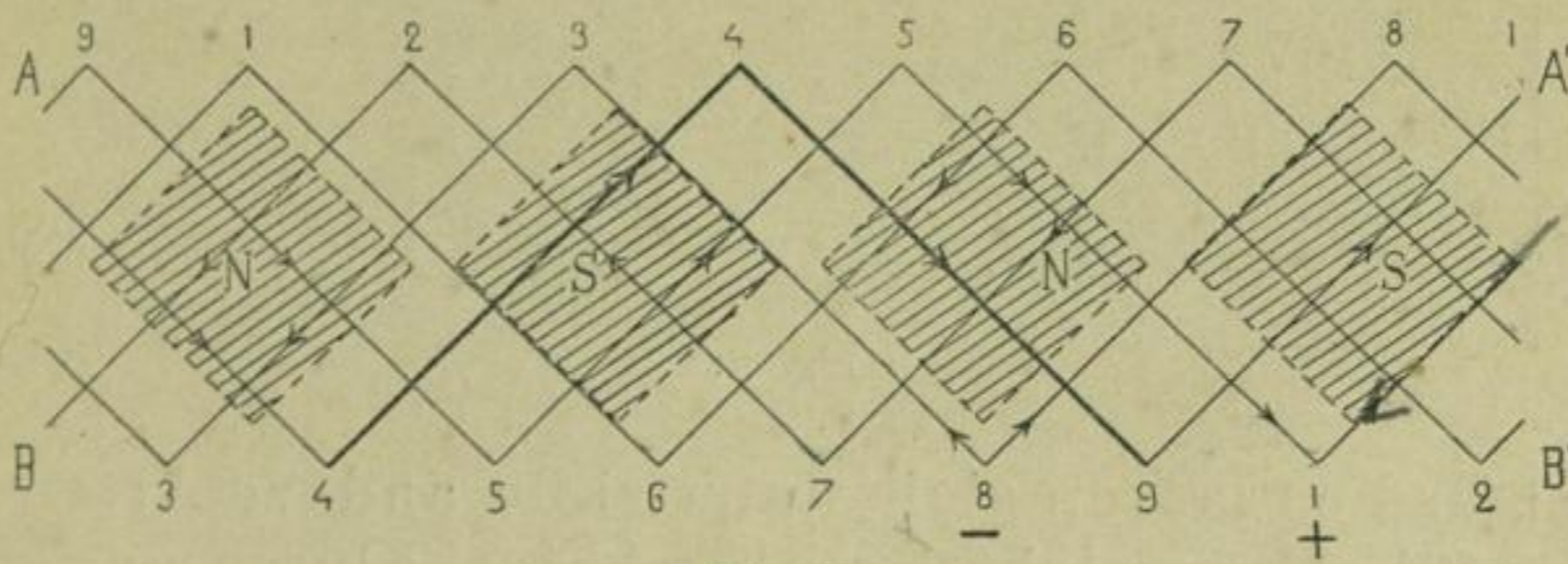


Fig. 19.

Wir können nun das Problem der Reihenschaltung ganz allgemein für eine beliebige Zahl von Polpaaren lösen, indem wir mehrere der in Fig. 17, 18 und 19 erhaltenen Schemata aneinanderreihen. Es wird sich immer ergeben, dafs bei dieser Schaltungsweise die Hälfte der Stäbe in Reihenschaltung

verbunden werden kann, und alsdann nur zwei Stromabnahmestellen erforderlich sind.

Aus den letzten drei Schemata können wir ferner schließen, daß jeder Linienzug, der so durch magnetische Felder abwechselnder Polarität geführt ist, daß sich bei jeder Lage desselben die einzelnen längs des Linienzuges wirkend gedachten Stromimpulse addieren (siehe Fig. 6 bis 11), zum Entwurfe eines Gleichstromschemas benutzt

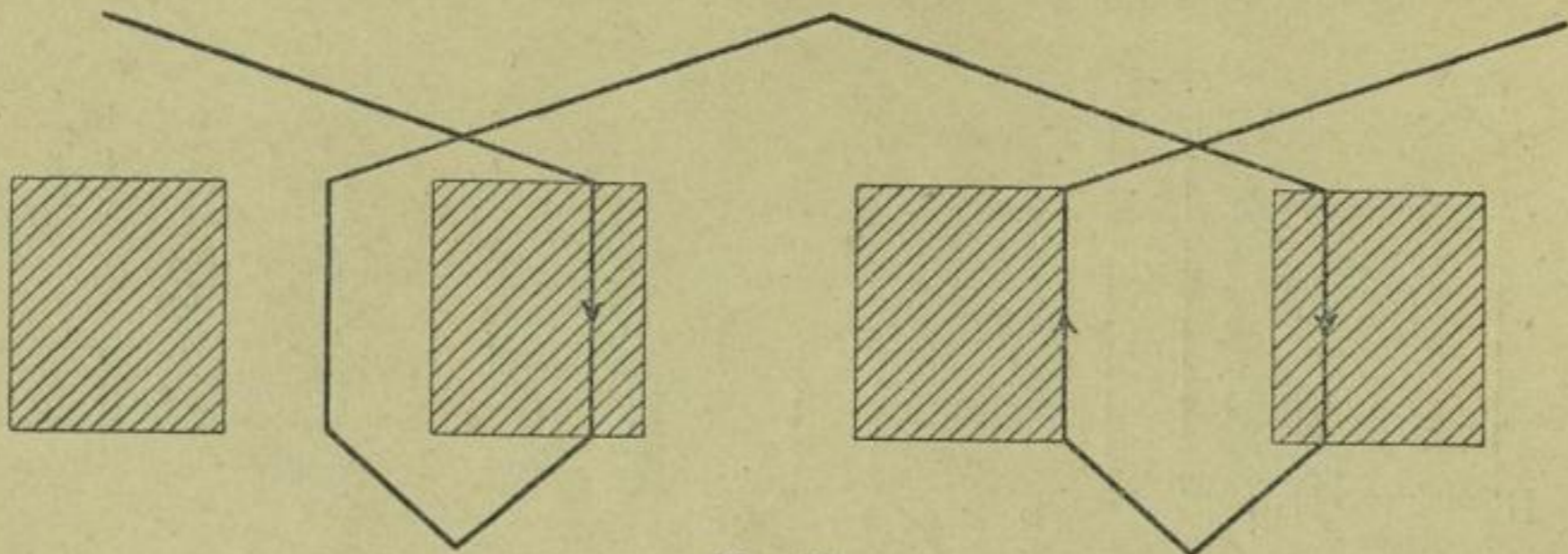


Fig. 20.

werden kann. Um ein vollständiges Schema zu erhalten, haben wir nur nötig, mehrere solcher Linienzüge zu einer geschlossenen Wicklung derart zu verbinden, daß keine Abweichungen von der angenommenen Form des Linienzuges stattfinden.

Die in den Figuren 9, 10 und 11 dargestellten Linienzüge müssen sich somit ebenfalls zur Bildung eines Gleichstromschemas

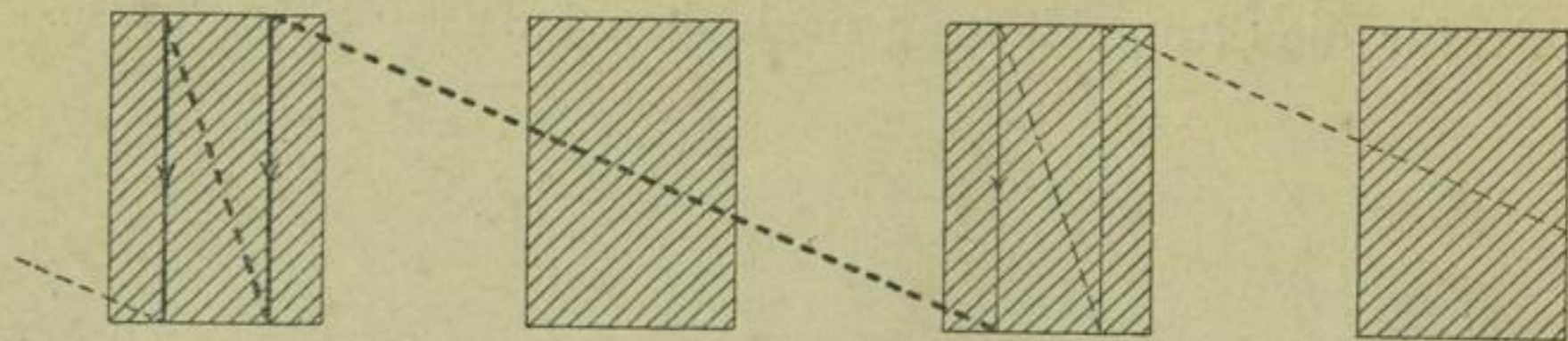


Fig. 21.

eignen, und es lassen sich noch viele andere Arten der Linienführung, welche dieselbe Aufgabe lösen, angeben. Die Fig. 20 und 21 veranschaulichen z. B. zwei derartige Drahtführungen. Fig. 20 kann man aus Fig. 9, und Fig. 21 aus der Verbindung der Schemas Fig. 6 und 12 entstanden denken.

In Fig. 22 ist ein Schema mit Linienzug Fig. 9 und in Fig. 23 ein solches mit Linienzug Fig. 11 ausgeführt. Ein Wicklungselement des Schemas Fig. 22 enthält vier induzierte Stäbe.

Eine von der in den oben behandelten Schemata wesentlich verschiedene Art der Stromsammlung entsteht durch die in Fig. 24 dargestellte Wicklungsmethode.

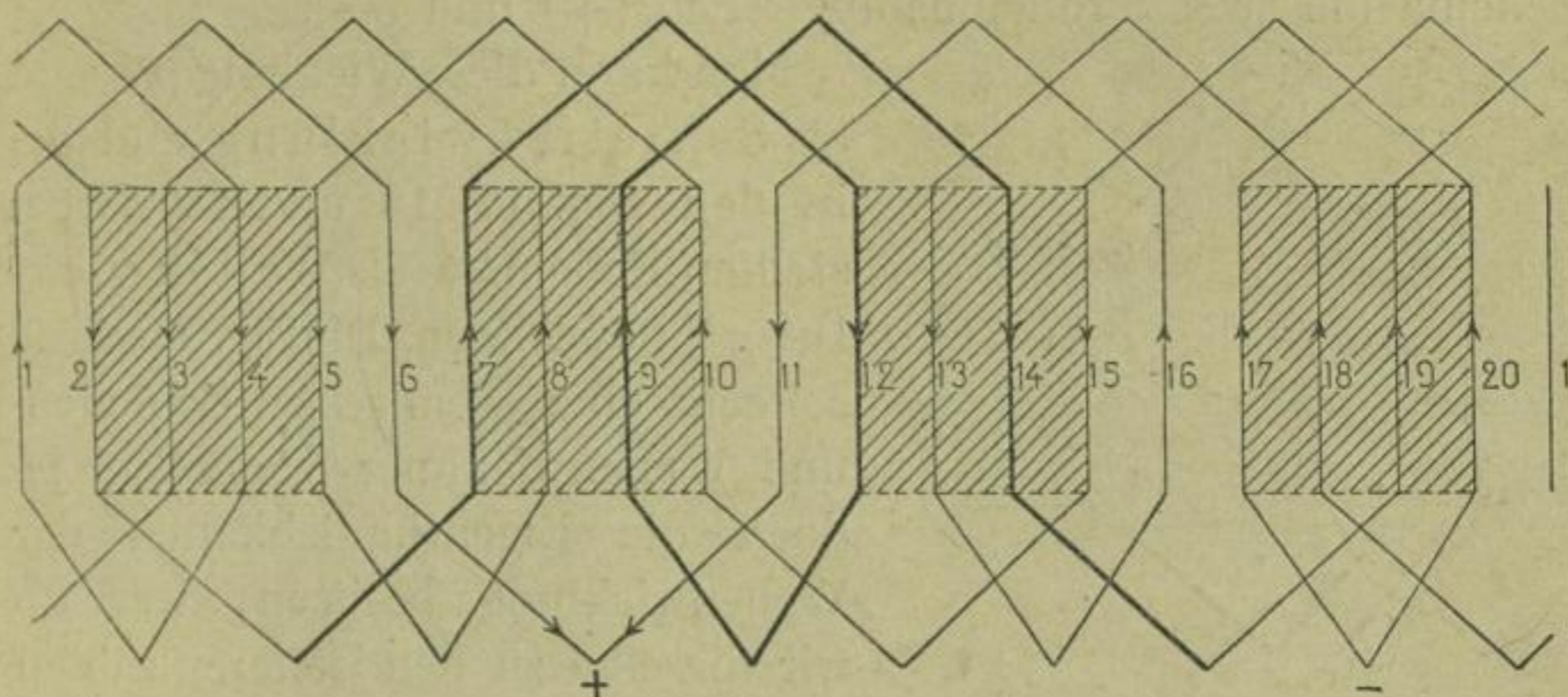


Fig. 22.

Während in den Schemata Fig. 17, 18 und 19 die Wicklung in Zickzackform stets vorwärts schreitend durch das magnetische Feld führt, bewegt sich dieselbe in Fig. 24 abwechselnd vor- und rückwärts. Der Draht wird längs der gebrochenen Linie 1, 2, 3,

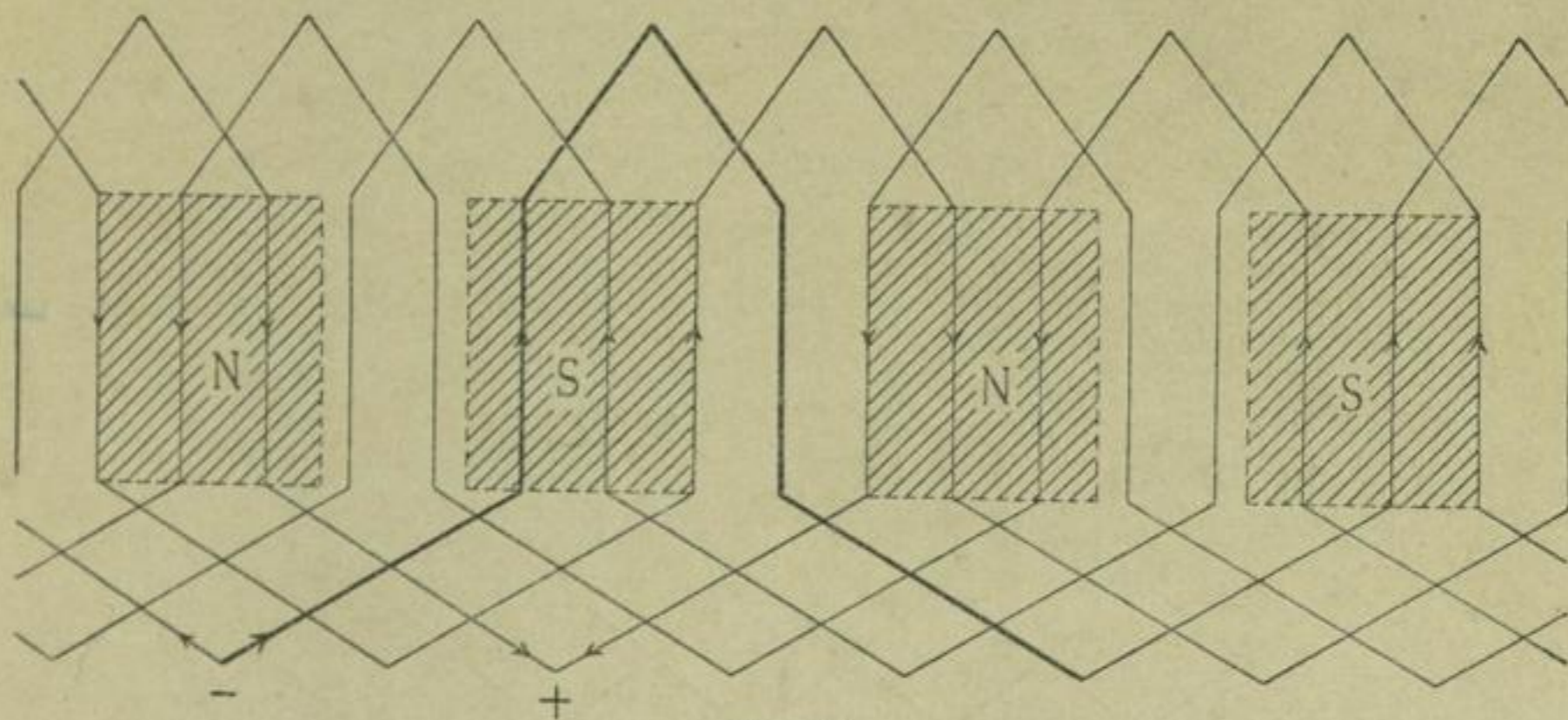


Fig. 23.

4, 5, 6, 7 gebogen und bildet eine sechseckige (oder auch viereckige) Schleife, welche in den benachbarten Teilpunkten 1 und 7 endigt.

Fügen wir, von 7 ausgehend, neue Schleifen von derselben Form hinzu, bis schliesslich sämtliche Teilpunkte in natürlicher Reihenfolge durchlaufen sind, wobei die letzte Schleife im Ausgangspunkte 1 endigen muss, so erhalten wir das in Fig. 25 dargestellte Schema.

Wie aus der Figur ersichtlich, wird jede Schleife der Wirkung zweier Pole von ungleicher Polarität ausgesetzt. Durch Einzeichnen und Verfolgen der Stromrichtung ergeben sich für das zweipolige Schema die zwei Stromabnahmestellen (+) und (-).

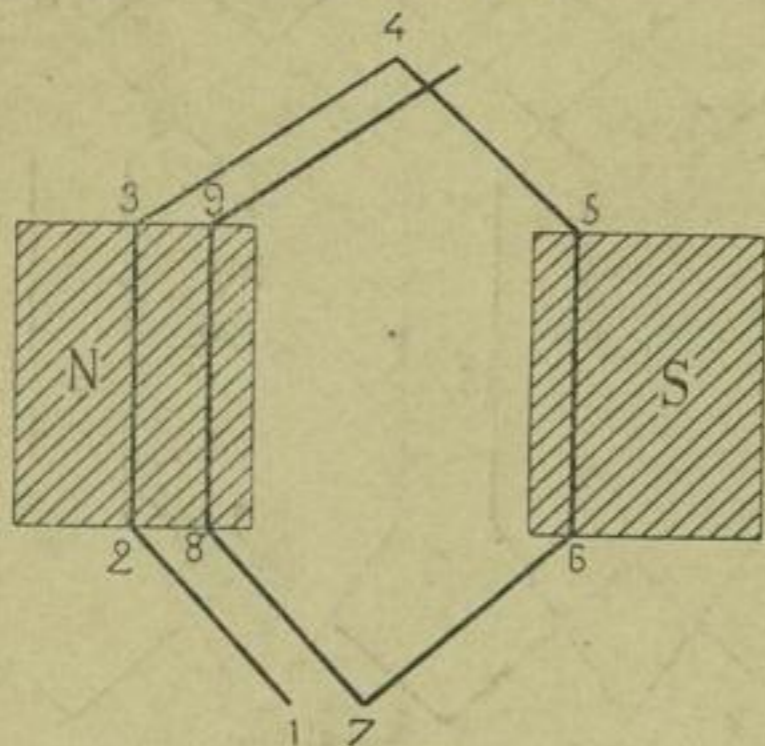


Fig. 24.

Man kann diese Wicklung passend als Schleifenwicklung und die in den Fig. 17, 18 und 19 dargestellten Schemata als Wellenwicklung<sup>1)</sup> bezeichnen. Die Fig. 22 würde sonach eine gemischte Schleifen- und Wellenwicklung vorstellen, jedoch die Eigentümlichkeiten der Wellenwicklung besitzen, weshalb wir dieselbe zu den letzteren zählen wollen.

Der charakteristische Unterschied zwischen der Schleifenwicklung und der Wellenwicklung geht sofort hervor, wenn wir einerseits zwei oder mehrere Schemata nach Fig. 25 und andererseits z. B. mehrere Schemata nach Fig. 18 aneinander reihen. Während nun die Wellenwicklung, unabhängig von der Zahl der magnetischen

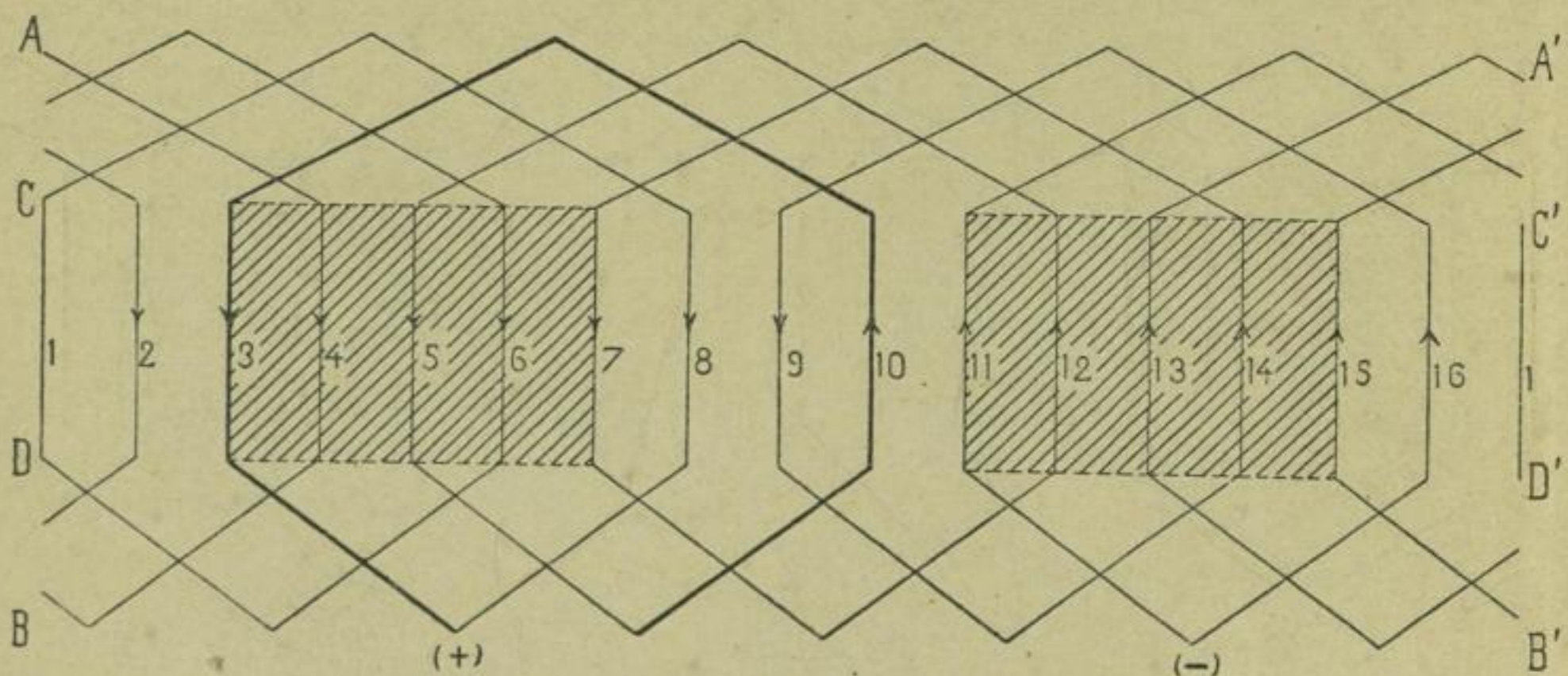


Fig. 25.

Felder, nur zwei Stromabnahmestellen erfordert, erhalten wir bei der Schleifenwicklung ebenso viele Abnahmestellen als magnetische Felder. Die obige Wellenwicklung ergibt daher für mehrpolige Maschinen eine Reihenschaltung, die Schleifenwicklung dagegen

<sup>1)</sup> Vgl. W. Fritsche, Die Gleichstrom-Dynamomaschinen. Berlin. 1889.



eine Parallelschaltung. Fig. 15 ist somit als Schleifenwicklung (Spiralwicklung) aufzufassen.

Ist  $s$  die Anzahl der Stäbe, welche sich im magnetischen Felde bewegen und  $2p$  die Anzahl der magnetischen Felder, so ist bei der Wellenwicklung mit Reihenschaltung die Zahl der hinter einander verbundenen Stäbe  $= \frac{s}{2}$ , bei der Schleifenwicklung dagegen  $= \frac{s}{2p}$ . Unter sonst gleichen Verhältnissen wird also die elektromotorische Kraft im ersteren Falle  $p$  mal größer sein.

Bei der Reihenschaltung sind die Stäbe in zwei Gruppen, entsprechend einer einzigen Stromverzweigung, geteilt; bei der Schleifenwicklung dagegen in  $2p$  Gruppen, denen  $2p$  Ankerstromzweige entsprechen.

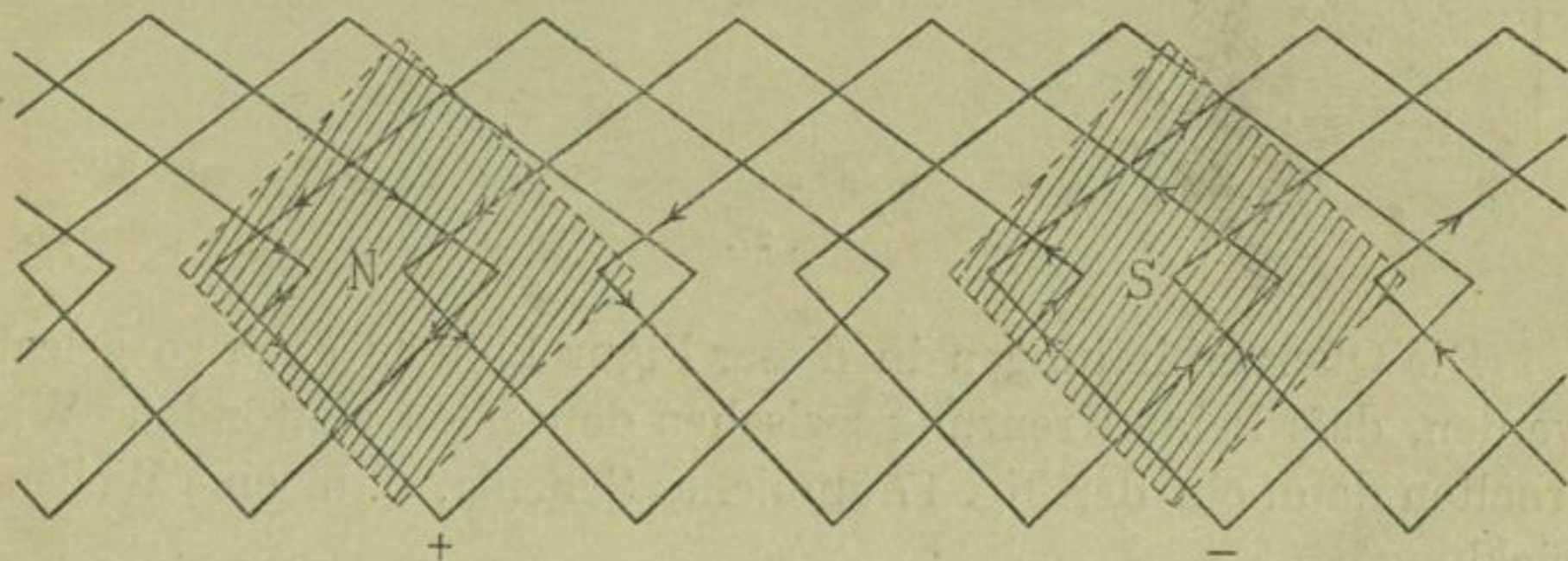


Fig. 26.

Die Stäbe der einzelnen Gruppen sind in Reihe, die Gruppen unter sich aber parallel geschaltet. Wie später gezeigt wird, eignet sich die Wellenwicklung auch für Parallelschaltung; dagegen bleibt die Schleifenwicklung für Reihenschaltung unbrauchbar.

Zu der in Fig. 25 angenommenen Schleifenform lassen sich noch andere hinzufügen. Nach W. Fritsche läßt sich Fig. 25 in der Weise abändern, daß man die innerhalb des Rechteckes  $CC'DD'$  liegenden Teile beseitigt und die außerhalb desselben liegenden Stäbe zusammenschiebt. Die Schleifen bekommen dann eine rhombische Form (Fig. 26), und um die Entstehung entgegenwirkender elektromotorischer Kräfte zu vermeiden, müssen die Polschuhe ebenfalls rhombische Gestalt erhalten.

Die Schleife kann auch eine solche Form annehmen, daß dieselbe in der Wirkungssphäre von zwei gleichnamigen Polen liegt.

Fig. 27 veranschaulicht solch ein Schema. Hierbei tritt die Eigentümlichkeit zu Tage, daß sich dasselbe nur für 4-, 8-, 12- u. s. w. polige Anordnungen eignet und daß nicht, wie bei den ersten Schleifenwicklungen  $\frac{s}{2p}$ , sondern je  $\frac{s}{p}$  Stäbe hintereinander geschaltet sind. Für ein vierpoliges Schema ( $n = 4$ ) erhalten wir demnach, ebenso wie bei der Wellenwicklung, nur zwei Stromabnahmestellen.

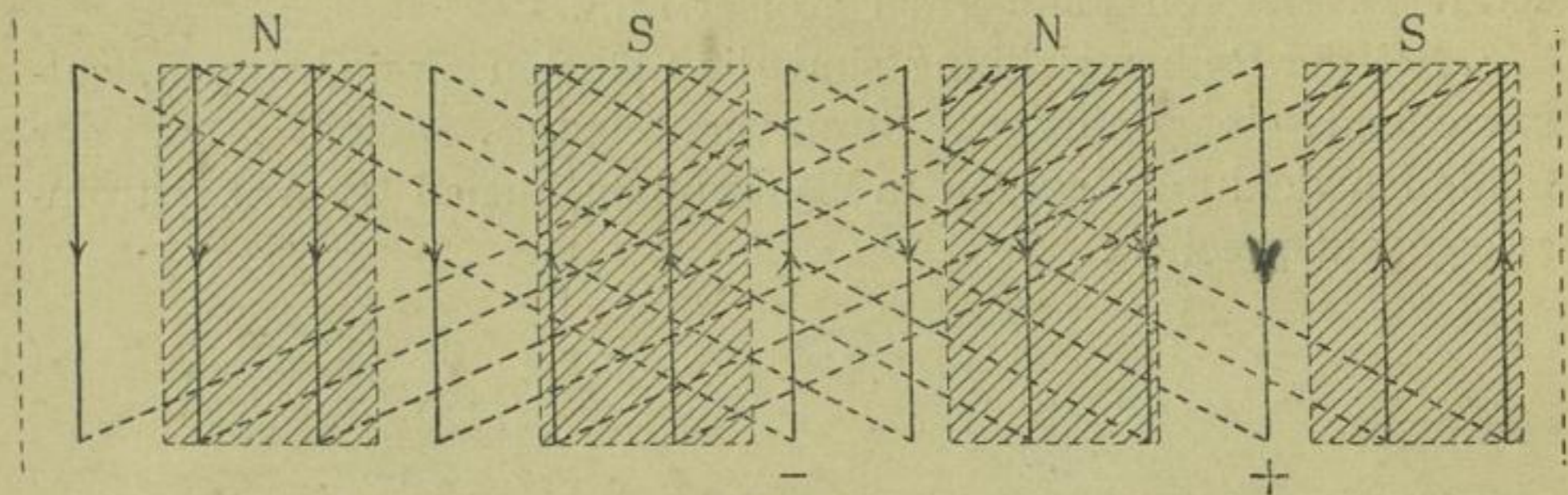


Fig. 27.

Die Querverbindungen in dieser Figur können auch so gelegt werden, daß keine Kreuzung zwischen denselben stattfindet. Wir erhalten dann ein der Fig. 17 ähnliches Schema, d. h. eine Wellenwicklung.

Über die offenen Wicklungen ist an dieser Stelle nichts beizufügen, es sei nur auf das Kapitel, welches dieselben besonders behandelt, verwiesen.

Wir wenden uns jetzt zu der Anwendung der allgemein betrachteten Schemata auf die Ankerwicklung der Gleichstrommaschinen.

---

## A. Geschlossene Ankerwicklungen.

### Aufstellung der Schaltungsregel für die geschlossenen Ankerwicklungen.

Betrachten wir die Schaltungsarten der Anker zwei und mehrpoliger Maschinen für Parallel- und Reihenschaltungen und angewendet für Ring-, Trommel- und Scheibenanker, so ergibt sich auf den ersten Blick eine so große Mannigfaltigkeit, daß es unmöglich erscheint, alle unter eine gemeinsame Wicklungsregel zusammenzufassen. Eine eingehende Prüfung zeigt aber, daß in der That eine einfache Formel uns für alle Schaltungen, d. h. für Parallel- und Reihenschaltung der Ankerwicklung zwei- und mehrpoliger Maschinen, und zwar für Ring-, Trommel- und Scheibenanker anzeigt, in welcher Weise die Ankerspulen oder Ankerstäbe untereinander zu verbinden sind, um die gewünschte Anordnung zu erhalten.

Aus den im ersten Kapitel angestellten Betrachtungen geht hervor, daß eine richtige Schaltung dann entsteht, wenn die in gleichen Abständen im magnetischen Felde befindlichen Spulen oder Stäbe derart miteinander verbunden werden, daß stets eine gleiche Anzahl Stäbe oder Teilpunkte zwischen zwei zu verbindenden Stäben liegt, und daß, nachdem sämtliche Stäbe so durchlaufen sind, daß in den einzelnen Stromzweigen sich die Stromimpulse addieren, man wieder zum Ausgangspunkte zurückgelangt. Die Entfernung der unmittelbar miteinander zu verbindenden Stäbe wird durch die Poldistanz bestimmt.

Aus den Fig. 17 bis 19 ist ersichtlich, daß man sich beim Verfolgen des Schemas abwechselnd zwischen den Teilpunkten von zwei Geraden  $AA'$  und  $BB'$  bewegt. Rollen wir eine der Figuren

z. B. 19 hochkant derart zur Kreisform zusammen, daß  $BB'$  zum inneren und  $AA'$  zum äusseren Kreise wird, so ist die schematische Ausführung der Wicklung identisch mit folgender geometrischen Aufgabe:

Es seien zwei konzentrische Kreise gegeben, und jeder Kreisumfang sei in  $\frac{s}{2}$  gleiche Teile geteilt.

Zwischen den  $s$  Teilpunkten ist ein Linienzug derart einzuzeichnen, daß, je nach den gemachten Annahmen, entweder ein geschlossener Linienzug oder mehrere in sich geschlossene Linienzüge entstehen, und daß jeder Linienzug bei einmaliger Bewegung im Kreise eine bestimmte, durch die Annahmen änderbare Zahl von Schnitt- oder Knotenpunkten liefert.

Die Aufgabe wird gelöst, wenn die Zahl  $y$  der Teilstrecken, welche auf jedem Kreise zwischen zwei im Linienzuge aufeinanderfolgenden Knoten- oder Eckpunkten liegen, der Gleichung

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right)$$

genügt.

Hierin bedeuten:

$p$  und  $a$  ganze Zahlen,

$c$  die Zahl der zwischen je zwei im Linienzuge aufeinanderfolgenden Knotenpunkten des Kreises liegenden Stäbe,

$s$  die Gesamtzahl der Stäbe oder die Zahl der Knotenpunkte auf beiden Kreisen.

In Fig. 28 ist für

$$s = 20; \quad p = 3; \quad a = 1; \quad c = 2;$$

und 
$$y = \frac{1}{3} \left( \frac{20}{2} - 1 \right) = 3$$

ein solcher Linienzug dargestellt.

Numerieren wir die Teilpunkte des äusseren Kreises fortlaufend von 1 bis 10, so haben wir, da je  $y = 3$  Teilstrecken zwischen zwei Knotenpunkten liegen sollen, Punkt 1 mit  $1 + 3 = 4$ , Punkt 4 mit  $4 + 3 = 7$  u. s. f. zu verbinden. Am inneren Kreise beobachten wir dieselbe Regel. Der 20te Stab  $h$  1 führt dann wieder zum Ausgangspunkte zurück.

Zwischen je zwei im Linienzuge aufeinander folgenden Knotenpunkten desselben Kreises, z. B. 1 und 4, liegen die zwei ( $c = 2$ ) Stäbe  $1a$  und  $a4$ . Verbinden wir 1 direkt mit 4, so wird  $c = 1$ , und  $s$  bedeutet alsdann die Zahl der Teilpunkte auf dem äußeren Kreise. Der innere Kreis ist für die Konstruktion jetzt nicht mehr erforderlich.

Gehen wir von 1 aus, so erhalten wir bei einmaliger Bewegung im Kreise längs des Linienzuges die Knotenpunkte  $a, 4,$

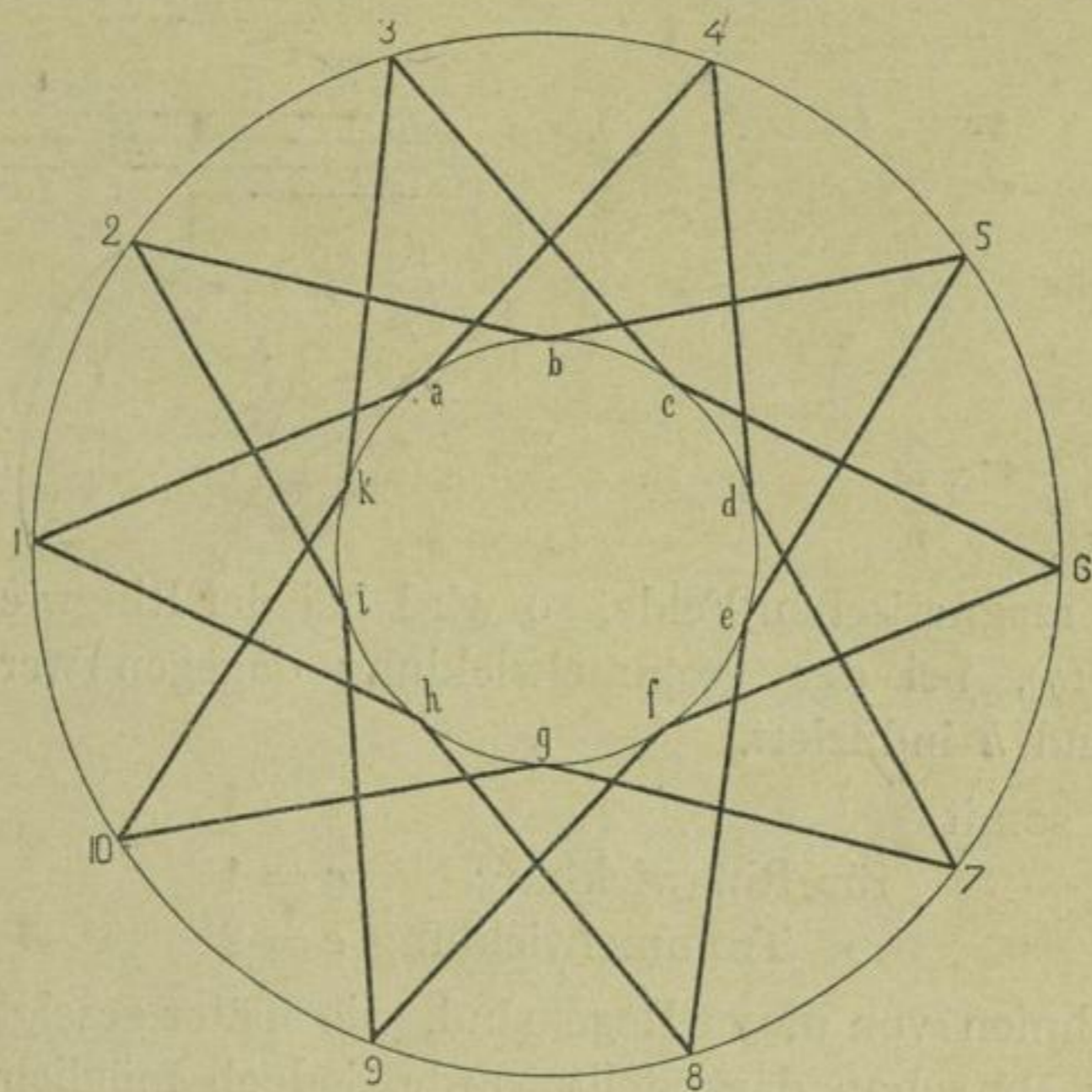


Fig. 28.

$d, 7, g, 10$ . Die Zahl derselben und die Anzahl der in sich geschlossenen Linienzüge oder die Zahl der Schließungen sind bei gegebenem  $p$  und  $c$  von der Wahl der Größen  $s$  und  $a$  abhängig.

Es bezeichne, auf die Ankerwicklungen übergehend,

$p$  die halbe Anzahl der Pole oder die Zahl der Polpaare,  
 $s$  die Zahl der am Umfange eines Ankers liegenden Seiten sämtlicher Wicklungselemente,

$y$  den sogenannten Wicklungsschritt,

$2a$  die Zahl der Ankerstromzweige. In Fig. 14 ist z. B.  $2a = 2$ , in Fig. 16  $2a = 4$ ,

$c$  die Zahl der induzierten Seiten eines Wicklungselementes.

Ein Wicklungselement besteht aus denjenigen Armaturdrähten oder -Stäben, welche zwischen zwei im Wicklungsschema aufeinanderfolgenden Kollektorlamellen liegen.

In Fig. 29 ist ein Wicklungselement für Ringwicklung und in Fig. 30 ein solches für Trommelwicklung dargestellt. Ein solches Wicklungselement heißt auch Armaturspule. — Rotieren diese

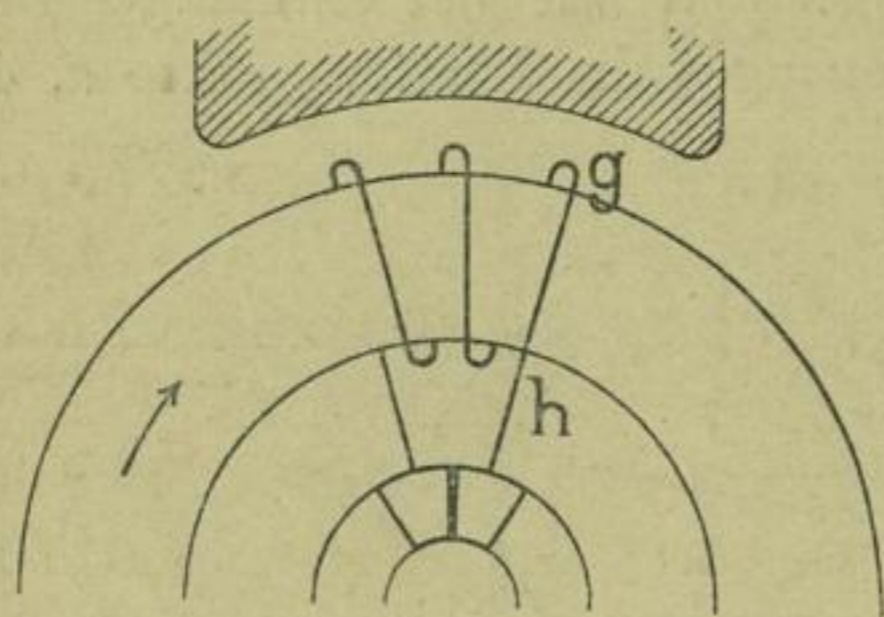


Fig. 29.

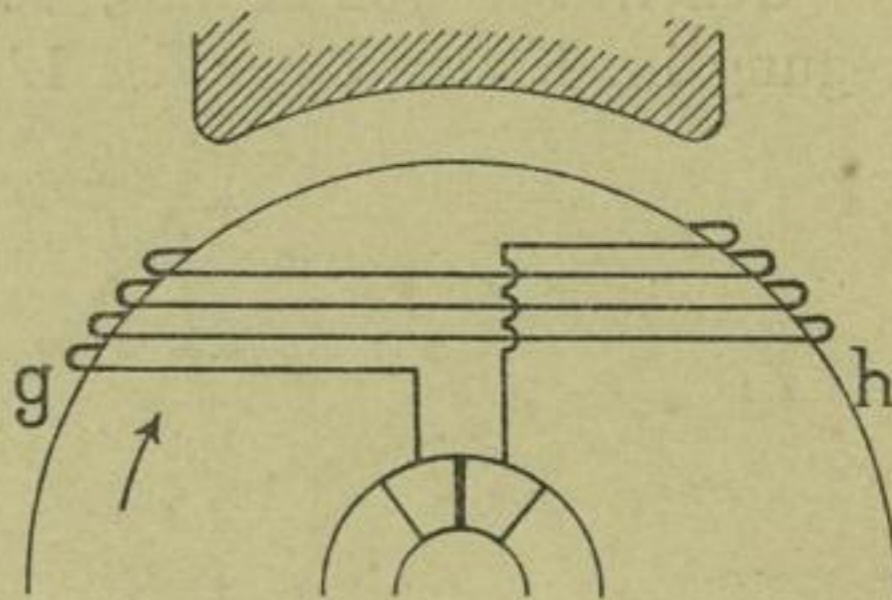


Fig. 30.

Spulen im magnetischen Felde, so wird bei der Ringwicklung nur eine Seite (*g*), bei der Trommelwicklung dagegen werden beide Seiten *g* und *h* induziert.

Es ist somit

$$\begin{aligned} &\text{für Ringwicklung} && c = 1 \\ &\text{» Trommelwicklung} && c = 2 \end{aligned}$$

Ausnahmen von dieser Regel sind, wie später gezeigt wird und wie in Fig. 22 schon dargestellt wurde, jedoch möglich.

Bezeichnet

*z* die Zahl der Spulen,

*w* die Zahl der Windungen pro Spule

(in Fig. 29 ist  $w = 3$ ),

*N* die totale Zahl der Drähte am Umfange der Armatur,

so ist

$$s = c \cdot z; \quad N = c \cdot z \cdot w \quad \text{und} \quad z = \frac{s}{c}$$

Hat z. B. eine Armatur 20 Spulen von je 5 Windungen, so wird für Trommelwicklung die Zahl der induzierten Seiten

$$s = 40; \quad N = 2 \cdot 20 \cdot 5 = 200$$

und für Ringwicklung

$$s = 20; \quad N = 20 \cdot 5 = 100.$$

Für die Verbindungsart der Spulen untereinander ist die Zahl  $s$  und nicht die Drahtzahl  $N$  zu berücksichtigen.

Wir erhalten nun für geschlossene Ankerwicklungen ganz allgemein

$$1) \quad y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right)$$

$$\text{oder} \quad s = c (p y \pm a)$$

$$\text{und } 2) \quad cy = \frac{s \pm ac}{p}$$

Die allgemeine Schaltungsregel lautet dann, wenn  $x$  ein beliebiges Wicklungselement bezeichnet:

**Schaltungsregel I.** Man verbinde das Ende (Anfang) des  $x$ ten Wicklungselementes mit dem Anfange (Ende) des  $(x + y)$ ten Wicklungselementes.

Die Zahl  $y$  gibt somit die Anzahl der Spulen, um welche man in der Schaltungsrichtung vorwärts schreiten muß, um zu derjenigen Spule zu gelangen, deren Anfang mit dem Ende jener Spule, von welcher man ausgegangen ist, verbunden werden soll. Man kann somit die Zahl  $y$  den Schritt der Wicklung nennen.

Mit Hilfe der Formel

$$cy = \frac{s \pm ac}{p}$$

läßt sich die Schaltungsregel noch anders ausdrücken. Die GröÙe  $cy$  gibt die Zahl der induzierten Seiten der Armaturspulen oder die Zahl der Wicklungsfelder, welche bei jedem Wicklungsschritte übersprungen werden müssen. Bei der Ringwicklung wird der ganze Schritt  $cy$  nur auf der Kollektorseite, bei Trommelwicklung dagegen auf der vordern und hintern Seite der Armatur ausgeführt. Bezeichnet daher für Trommelwicklung

$y_1$  die Zahl der Wicklungsfelder, welche auf der Kollektorseite, und

$y_2$  die Zahl der Wicklungsfelder, welche auf der hintern Seite überschritten werden müssen (oder umgekehrt), so ist

$$cy = y_1 + y_2 = \frac{s \pm ac}{p}$$

Entsprechend dem  $+$  und  $-$  Zeichen ergeben sich 2 Werte für  $y_1$  und 2 Werte für  $y_2$ . —

Schreiten wir um  $y_1$  und  $y_2$  in gleicher Richtung vorwärts, so entsteht eine Wellenwicklung.

Schreiten wir dagegen um  $y_1$  vorwärts und um  $y_2$  rückwärts und ist

$$y_1 - y_2 = \pm 2,$$

so entsteht eine Schleifenwicklung.

Denken wir uns nun jede Spulenseite durch einen einfachen Stab ersetzt, so liegen am Umfange des Ankers, parallel zu dessen Axe,  $s$  Stäbe mit  $s$  vordern und  $s$  hintern Enden und die Schaltungsregel lautet jetzt:

**Schaltungsregel II.** Bei Trommelankerwicklungen verbinde man das vordere Ende des  $x$ ten Stabes mit dem vordern Ende des  $(x + y_1)$ ten Stabes, dann das hintere Ende des  $(x + y_1)$ ten Stabes mit dem hinteren Ende des  $(x + y_1 \pm y_2)$ ten Stabes u. s. w.

Während die Schaltungsregel I, welche auf der Einteilung der Wicklung in Spulen beruht, allgemein gilt, hat die Schaltungsregel II nur für Trommelanker Gültigkeit. Ich werde für die Trommelanker, je nach Zweckmäßigkeit die Regel I oder II gebrauchen. Bei Anwendung der Schaltungsregel I sind die Spulenanfänge mit 1, 2, 3, . . . die Spulenden mit 1', 2', 3' . . . u. s. f. zu bezeichnen, bei Anwendung der Schaltungsregel II sind dagegen die am Umfange des Ankers liegenden, induzierten Seiten der Spulen fortlaufend zu numerieren.

### Einteilung der geschlossenen Ankerwicklungen.

Die Schaltungsarten der zwei- und mehrpoligen Anker lassen sich mit Hilfe der abgeleiteten drei Gleichungen übersichtlich bestimmen. Wir benützen hierzu die allgemeine, für sämtliche Wicklungen gültige Gleichung

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right) \cdot \dots \cdot \quad (1)$$

und die speziell für Trommelwicklungen geeignete Form

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm ac}{p} \cdot \dots \cdot \quad (2)$$

Wir unterscheiden folgende vier Hauptgruppen von Schaltungen:

1. Die Parallelschaltung (mit  $2p$  Ankerstromzweigen). Diese zerfällt in

a) die Parallelschaltung mit Spiralwicklung (nach Pacinotti-Gramme) und Schleifenwicklung.



Aus der Formel 1) gehen diese Schaltungen hervor, wenn wir für einen Anker von beliebiger Polzahl, in die Formel stets setzen

$$p = 1 \text{ und } a = 1.$$

Es wird dann

$$y = \frac{s}{c} \pm 1 \dots \dots \dots (1a)$$

Aus der Formel 1) erhalten wir ferner für Trommelanker eine Parallelschaltung mit Schleifenwicklung, wenn

$$a = p \text{ und}$$

$$y_1 = \frac{s}{2p} + 1; \quad y_2 = \frac{s}{2p} - 1 \dots \dots (2a)$$

gesetzt wird.

Die aus den Formeln 2a) hervorgehenden Schleifenwicklungen sind in der allgemeinen Formel 1a) ebenfalls enthalten.

b. die Parallelschaltung mit Wellenwicklung. Für diese Schaltung bestehen die Bedingungen

$$a = p$$

$$y = \frac{s}{p \cdot c} \pm 1 \dots \dots \dots (1b)$$

Für Trommelwicklungen bestehen noch die speziellen Gleichungen

$$y_1 + y_2 = \frac{s}{p} \pm 2 \dots \dots \dots (2b)$$

und

$$y_1 = y_2.$$

2. Die Reihenschaltung (mit zwei Ankerstromzweigen). Für diese Schaltung ist allgemein

$$a = 1$$

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm 1 \right) \dots \dots \dots (1d)$$

Für Trommelwicklungen wird speziell

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm 2}{p} \dots \dots \dots (2d)$$

$y_1$  und  $y_2$  sind ungerade.

3. Die mehrfache Parallelschaltung. Diese Schaltungen gehen aus der allgemeinen Gleichung 1) hervor, wenn unabhängig von der Polzahl stets

$$p = 1, \text{ aber } a > 1$$

gesetzt wird. Es wird dann

$$y = \frac{s}{c} \pm a.$$

Für Ringanker erhalten wir eine Spiralwicklung und für Trommelanker eine Schleifenwicklung. Die Zahl der Ankerstromzweige ist  $= 2 a \cdot p$ , d. h. ein Vielfaches derjenigen der einfachen Parallelschaltung.

4. Die Reihen-Parallelschaltung. Während die mit 3) angeführten Wicklungen aus mehreren einfachen Parallelschaltungen gebildet werden, bestehen diese Wicklungen aus mehreren parallel verbundenen Reihenschaltungen.

Aus der Formel

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right)$$

lassen sich diese Wicklungen ableiten, wenn

$$a > 1$$

gesetzt wird. Die Zahl der parallel verbundenen Reihenschaltungen ist  $= a$ , und die Zahl der Ankerstromzweige daher  $= 2 a$ . Für den speziellen Fall  $a = p$  ergibt sich die unter 1b) angeführte Parallelschaltung mit Wellenwicklung. — Für Trommelanker haben wir speziell

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm 2a}{p} \quad \text{worin } a > 1.$$

### Einfach und mehrfach geschlossene Wicklungen.

Bei den sämtlichen Wicklungen, welche aus den Schaltungsregeln hervorgehen, müssen wir ferner unterscheiden, ob dieselben einfach oder mehrfach geschlossen sind. Das Zahlenverhältnis der Größen  $y$ ,  $s$  und  $a$  ist hierfür entscheidend.

Nehmen wir an, es seien in den Gleichungen

$$y' = \frac{1}{p} \left( \frac{s'}{c} \pm a' \right)$$

$$\text{oder } y_1' + y_2' = \frac{s' \pm a' c}{p}$$

die Werte  $y'$  bzw.  $y_1'$   $y_2'$   $s'$  und  $a'$  so gewählt, daß eine einfach geschlossene Wicklung entsteht. In diesem Falle bilden sämtliche Armaturspulen eine einzige in sich geschlossene Wicklung, d. h. wenn wir von irgend einem Stabe ausgehen und der Wicklung folgen, gelangen wir erst, nachdem alle Stäbe durchlaufen sind, wieder zum ersten Stabe zurück.

Bringen wir eine Anzahl  $i$  solcher Wicklungen auf die Armatur, so erhalten wir eine  $i$ fach geschlossene Wicklung. Wir haben für diesen Fall die Gleichungen

$$i y' = \frac{1}{p} \left( i \cdot \frac{s'}{c} \pm i a' \right) \quad \text{und}$$

$$i \cdot \frac{y_1' + y_2'}{c} = \frac{i \cdot \frac{s'}{c} \pm i a'}{p}.$$

Eine mehrfache oder einemehrfach geschlossene Wicklung entsteht somit dann, wenn die Grössen  $y$ ,  $\frac{s}{c}$  und  $a$  oder  $\frac{y_1 + y_2}{c}$ ,  $\frac{s}{c}$  und  $a$  einen gemeinschaftlichen Teiler haben.

Ist z. B.

$$y = i \cdot m$$

$$\frac{s}{c} = i \cdot n$$

$$a = i \cdot o,$$

wobei  $m$  und  $n$  oder  $n$  und  $o$  teilerfremd sind, so ergibt das Wicklungsschema  $i$  von einander unabhängige Wicklungen. Die Zahl der Ankerstromzweige ist auch hier  $= 2a$ .

Für jede einzelne der  $i$  Wicklungen müssen ausserdem die für die verschiedenen Schaltungsarten gegebenen Bedingungen erfüllt sein. Für Reihenschaltung ist z. B. die Summe  $(y_1 + y_2)$  in zwei ungerade Zahlen zu zerlegen.

Die gebräuchlichen Wicklungen sind fast immer einfach geschlossene Wicklungen, es ist daher bei dem Entwurf derselben darauf zu achten, dass obige Bedingung erfüllt ist.

Im Nachfolgenden sollen nun die Ring-, Trommel- und Scheibenanker behandelt und die Richtigkeit der obigen Regeln geprüft werden. Es wird sich dabei zeigen, dass ein genaues Einhalten der Schaltungsregel stets zu einem richtigen Schema führt und dass das Entwerfen eines Schemas dadurch wesentlich erleichtert wird.

Die gewählte Darstellungsmethode ist eine verschiedene. In den meisten Schemata behalten wir die Kreisform bei und denken uns den Anker von der Kollektorseite aus gesehen. Die Verbindungen auf der vorderen Stirnfläche werden durch voll ausgezogene Linien, diejenigen auf der hinteren Seite dagegen mit

punktierten Linien oder gar nicht angedeutet. Diese meist übliche Methode der Darstellung hat vor anderen den großen Vorzug, daß die praktische Ausführung der Wicklung angedeutet werden kann, und daß der Übergang von Ring- zu Trommel- und Scheibenankerwicklungen die beste Übersichtlichkeit gewährt.

Wo es sich jedoch darum handelt, die Verwandtschaft verschiedener Wicklungen nachzuweisen, ist die von W. Fritsche zuerst eingeführte<sup>1)</sup> Methode der Darstellung zu Hilfe genommen. Dieselbe liefert in die Ebene abgerollte Schemata, wie solche im ersten Kapitel abgeleitet wurden.

---

<sup>1)</sup> Centralblatt für Elektrotechnik 1887 p. 648.

# Die Ringankerwicklungen.

## 1. Zweipolige Ringanker.

Der Ringanker von Pacinotti-Gramme. Wir betrachten zunächst das einfache zweipolige Schema eines Pacinotti<sup>1)</sup>-Gramme<sup>2)</sup>schen Ringankers mit 12 Spulen, Fig. 31. Sämtliche Spulen sind so unter-

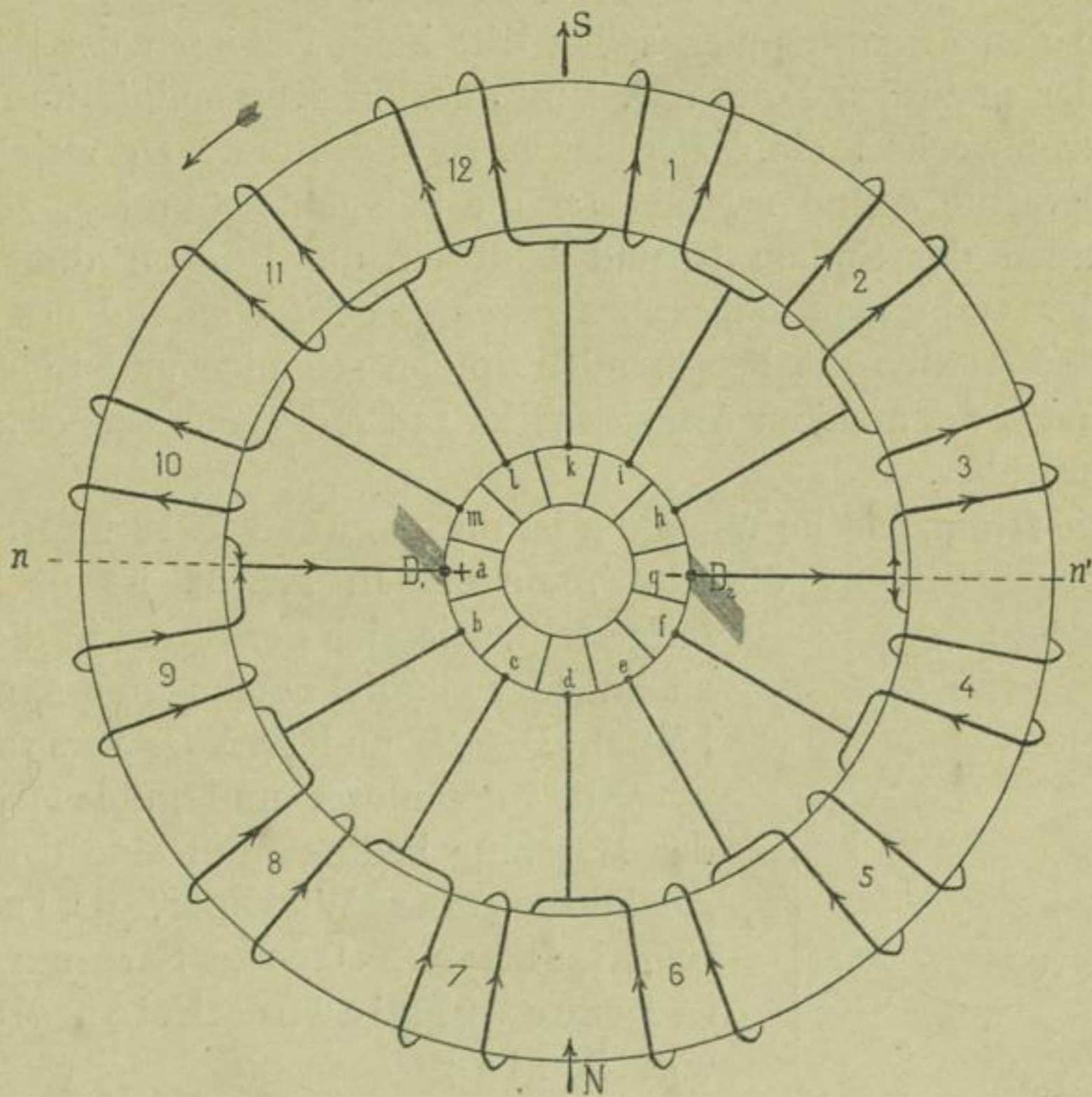


Fig. 31.

<sup>1)</sup> Nuovo Cimento 19 p. 378. 1865. Die erste Konstruktion eines Ringankers durch Pacinotti fällt in das Jahr 1860.

<sup>2)</sup> Gramme, Compt. rend. 73 p. 175. 1871.

einander verbunden, daß dieselben eine endlose Spirale bilden. Von jeder Verbindungsstelle zweier Spulen führt eine Abzweigung nach dem Kollektor, der aus ebenfalls 12, von einander isolierten Segmenten besteht, welche an der Rotation teilnehmen.

Bei der angenommenen Lage der Pole und der gegebenen Drehrichtung des Ankers wird in den Spulen ein Strom induziert, dessen positive Richtung durch Pfeile markiert ist. Die feststehenden Bürsten, welche den Strom nach dem äußeren Stromkreise ableiten, schleifen bei  $D_1$  und  $D_2$  auf dem Kollektor und man erhält im äußeren Stromkreise einen Strom von konstanter Richtung und, bei genügend großer Spulenzahl, von konstanter Stärke.

Gehen wir von der negativen Bürste aus, so entspricht der augenblicklichen Lage des Ringes das Stromverzweigungsschema:

$$-q \left\langle \begin{array}{cccccc} 3 & 2 & 1 & 12 & 11 & 10 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{array} \right\rangle + a.$$

In den Armaturspulen selbst tritt beim Passieren der Bürsten, bzw. der neutralen Zone  $nn'$ , zunächst ein Kurzschluß und dann ein Stromwechsel ein. Berührt z. B. die Bürste  $D_1$  gleichzeitig die Segmente  $a$  und  $m$ , und  $D_2$  die Segmente  $f$  und  $g$ , so sind die Enden der Spulen 10 und 4 durch die Bürsten direkt mit einander verbunden oder kurz geschlossen. Während des Kurzschlusses werden die betreffenden Spulen stromlos und treten alsdann nach der anderen Armaturhälfte mit entgegengesetzter Stromrichtung über.

Die Gramme'sche Wicklung ist mit dem in Fig. 12 und Fig. 14 erläuterten Schema übereinstimmend. In Fig. 32 ist nochmals dargestellt, wie sich der Strom in die zwei zu einander parallel geschalteten Armaturhälften  $D_1SD_2$  und  $D_1ND_2$  verzweigt.

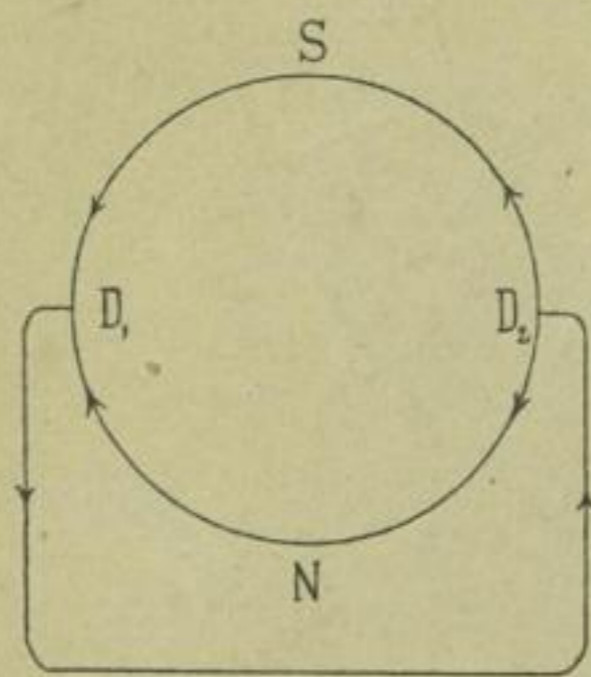


Fig. 32.

Ein funkenloses und gutes Arbeiten der Maschine bedingt nun eine derartige Ausführung der Wicklung, daß die parallel geschalteten Stromzweige in Bezug auf die Induktion gleichwertig sind.

Beide Armaturhälften müssen sonach gleichen Widerstand bzw. gleiche Drahtlänge besitzen und eine gleich große induzierte elektromotorische Kraft ergeben, d. h. es müssen sich gleiche induzierte Draht-

längen mit gleicher mittlerer Geschwindigkeit in magnetischen Feldern von gleicher Intensität bewegen.

Für Ringwicklungen ergibt die Anwendung der allgemeinen Schaltungsregel zunächst  $c = 1$ .

Für  $a = 1$  und  $p = 1$  folgt  $y = s \pm 1$   
 und für  $s = 12$   $y = 12 \pm 1 = \begin{matrix} 13 \\ 11 \end{matrix}$ .

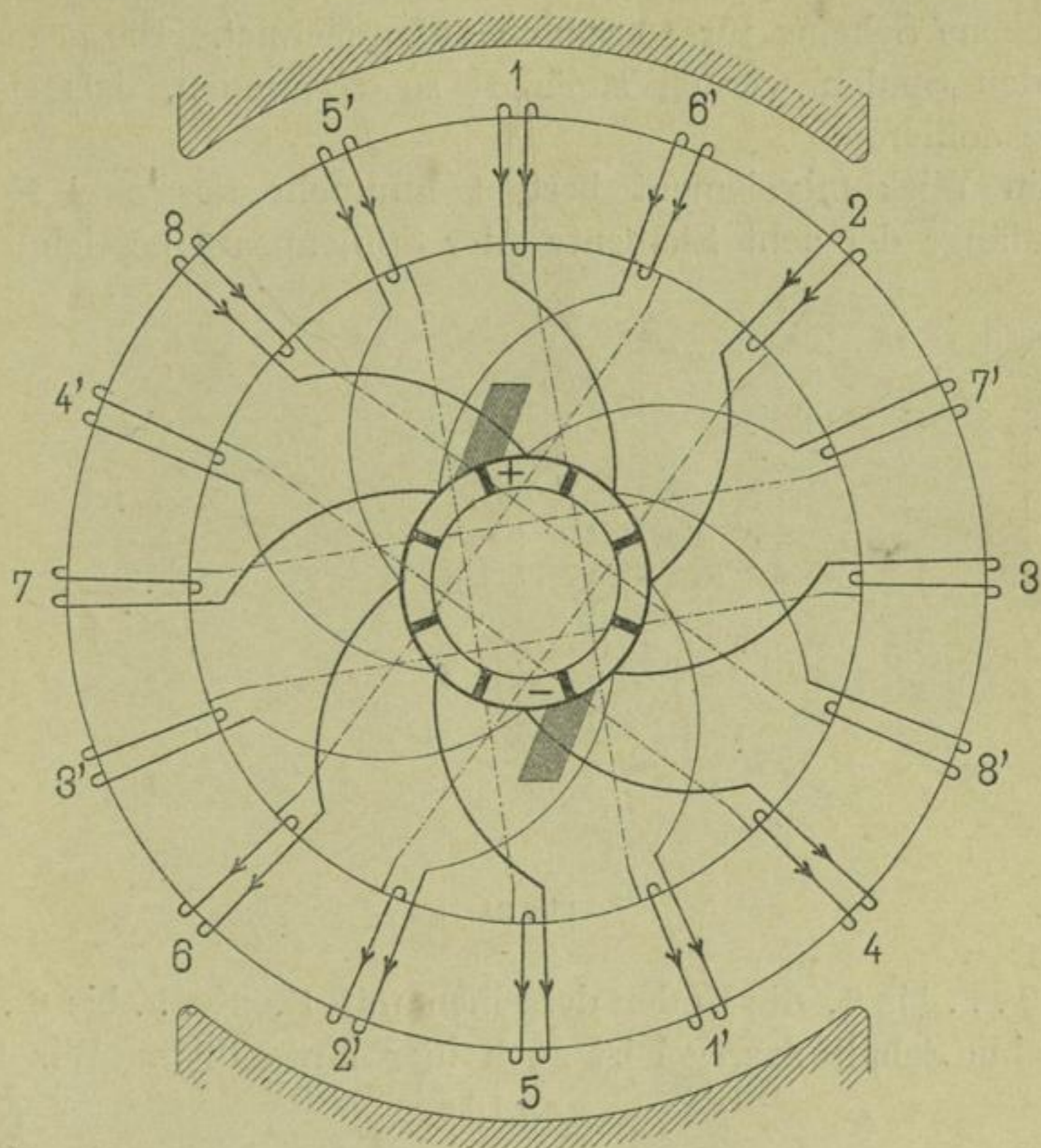


Fig. 33.

Der Anfang der  $x$ ten Spule ist für  $y = 11$  mit dem Ende der  $(x + 11)$ ten zu verbinden, also z. B. Anfang von 1 mit Ende von 12. Für  $y = 13$  ergibt sich, dass 1 mit 14 ( $= 12 + 2$ ) oder mit Spule 2 zu verbinden ist, was unserem Schema ebenfalls entspricht.

Für  $a = 2$  und

$$y = s - 2 = 10$$

wäre Spule 1 mit  $1 + 10 = 11$  und entsprechend  $y = s + 2 = 14$  mit  $1 + 14 = 12 + 3$  oder mit Spule 3 zu verbinden. Wir würden

somit zwei von einander unabhängige Wicklungen mit je einem Kollektor erhalten; der einen Wicklung gehören die Spulen mit ungeraden, der andern die Spulen mit geraden Zahlen an.

**Die Ringankerwicklung von Wodicka.** Die zweipolige Ringankerwicklung läßt sich nach Wodicka<sup>1)</sup> und, wie M. J. Swinburne<sup>2)</sup> ebenfalls angibt, auch so ausführen, daß die Kollektorlamellenzahl gleich der halben Spulenzahl ist. In Fig. 33 ist das von Wodicka angegebene Schema für 16 Spulen aufgezeichnet. Die gegenüberliegenden Spulen werden zunächst so verbunden, daß sich die Ströme addieren.

Ein Wicklungselement besteht nunmehr aus zwei Spulen; die Anfänge der acht Elemente oder Spulenpaare bezeichnen wir

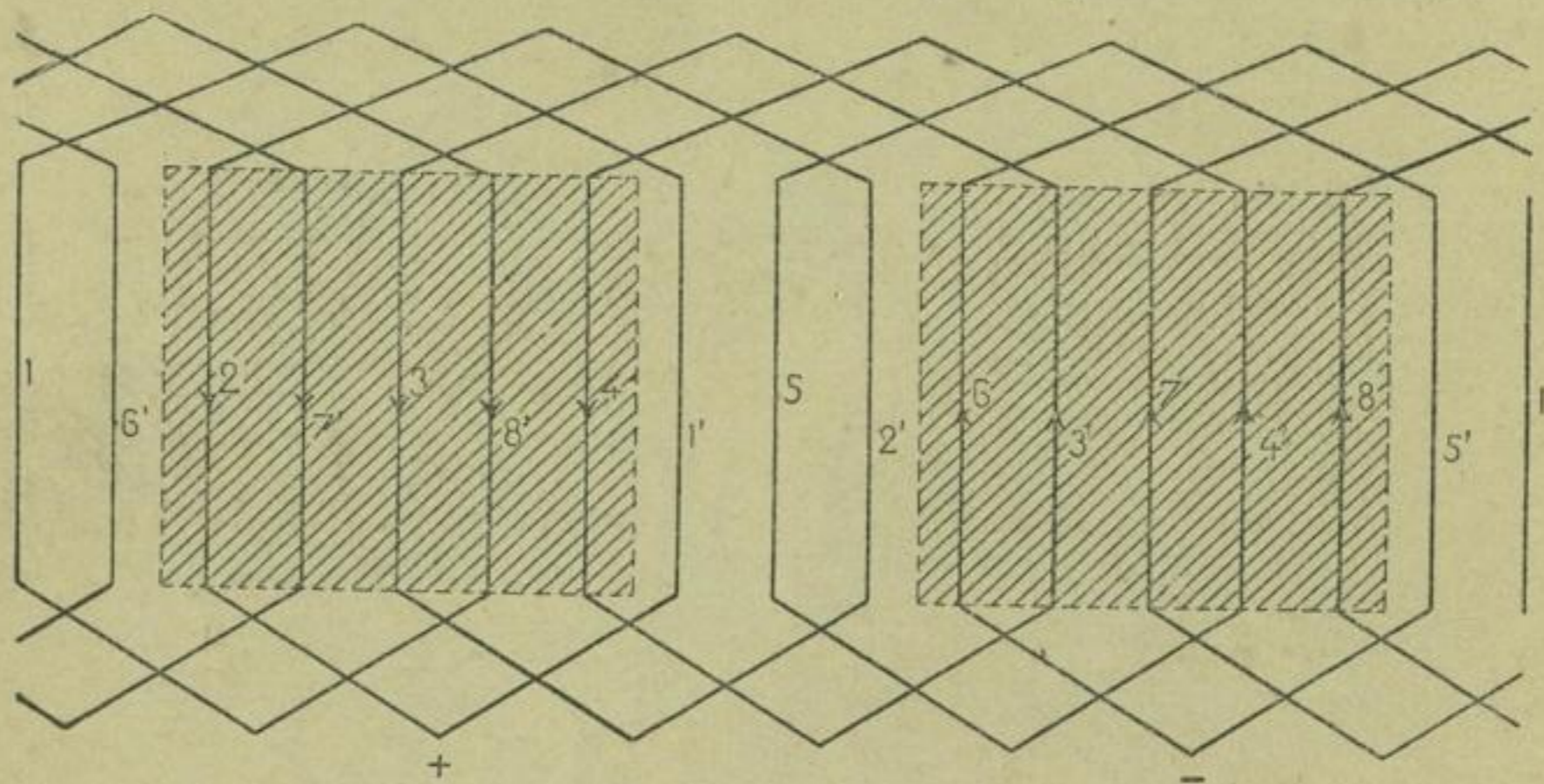


Fig. 34.

mit 1, 2 . . . bis 8, die Enden derselben mit 1', 2' . . . bis 8'. Die allgemeine Schaltungsregel ist auch hier anwendbar. Wir haben

$$s = 16$$

$$c = 2, \quad p = 1, \quad y = \frac{s}{c} - 1 = 7.$$

Der Anfang des Spulenpaares 1 ist mit dem Ende des Spulenpaares  $(1 + 7) = 8$ , d. h. mit 8' zu verbinden u. s. f.

Wir erhalten für die angenommene Lage des Ankers die Stromverzweigung

$$- \left\langle \begin{array}{cccccccc} 6' & 6 & 5' & 5 & 4' & 4 & 3' & 3 \\ 7 & 7' & 8 & 8' & 1 & 1' & 2 & 2' \end{array} \right\rangle +$$

<sup>1)</sup> Lum. électrique 1887. T. 25 p. 44.

<sup>2)</sup> do. 1887. T. 26. p. 157.



Der Unterschied zwischen einer Gramme'schen Wicklung und derjenigen von Wodicka tritt noch deutlicher hervor, wenn wir uns den Ring aufgeschnitten und samt der Wicklung in die Papierebene ausgestreckt denken. In Fig. 34 ist das geschehen. Die Spulen sind durch gerade und die Verbindungsdrähte durch gebrochene Linien dargestellt; die Lage der Pole ist durch Schraffur markiert. Ein Vergleich dieser Figur mit dem Schema Fig. 73 der Hefner-Alteneck'schen Trommelwicklung zeigt, daß beide identisch sind.

## 2. Mehrpolige Ringanker mit Parallelschaltung.

Mehrpole Ringanker mit Pacinotti-Gramme'scher Wicklung. Die Verbindungen der einzelnen Spulen untereinander können für Parallelschaltung in derselben Weise ausgeführt werden, wie bei

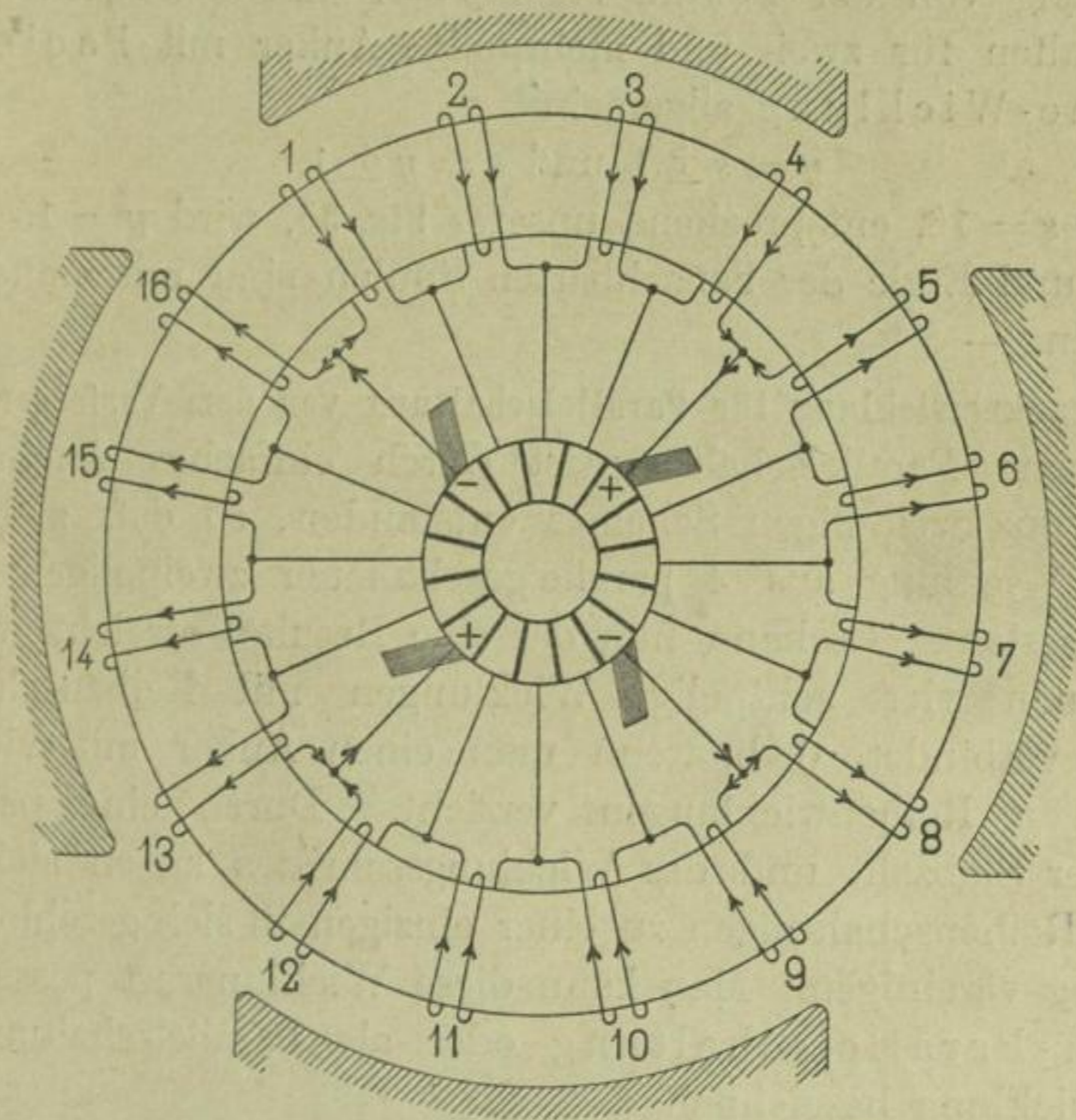


Fig. 35.

einem zweipoligen Ringanker. Die Wicklung bildet dann, unabhängig von der Polzahl, eine kontinuierlich fortlaufende Spirale mit in gleichen Abständen verteilten Abzweigungen nach dem

Kollektor. Die Stromverzweigung entspricht dem Schema Fig. 16. Die Spulen eines jeden Zweiges folgen auf dem Ringe unmittelbar aufeinander und liegen im gleichen magnetischen Felde. — Die Zahl der Bürsten und die Zahl der Ankerstromzweige ist gleich der Polzahl.

Diese Schaltung stimmt mit derjenigen des zweipoligen Schemas Fig. 31 überein, und wir können uns eine vier- oder mehrpolige Maschine einfach durch Aneinanderreihen von zweipoligen Maschinen entstanden denken. Derselbe Anker kann in magnetischen Feldern gebraucht werden, die eine verschiedene Polzahl haben, man braucht nur die Zahl der Bürsten entsprechend der Polzahl zu ändern. Wir haben daher in die allgemeine Schaltungsformel

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right)$$

unabhängig von der Polzahl stets  $p = 1$  und  $a = 1$  einzusetzen und erhalten für zwei- und mehrpolige Anker mit Pacinotti-Gramme-Wicklung allgemein

$$y = s \pm 1 \text{ und } s = y \pm 1.$$

Für  $s = 16$ , entsprechend unserer Fig. 35, wird  $y = 15$ , d. h. Anfang und Ende der benachbarten Spulen sind miteinander zu verbinden. —

**Ringankerwicklung für Parallelschaltung von dem Verfasser.** Die besprochene Parallelschaltung ist durch einfaches Aneinanderreihen von zweipoligen Schemas entstanden, so daß z. B. eine 8polige Wicklung aus 4 parallelgeschalteten zweipoligen Wicklungen besteht. Es kann nun dasselbe Resultat erreicht werden, wenn man vier achtpolige Wicklungen mit Reihenschaltung parallel verbindet, d. h. wenn man einen Anker mit vier unabhängigen Reihenschaltungen versieht. Durch eine passende Wahl der Stabzahl und des Wicklungsschrittes lassen sich aber die vier Reihenschaltungen zu einer einzigen in sich geschlossenen Wicklung vereinigen. Man kann diese Wicklungsart passend als Reihen-Parallelschaltung oder als Parallelschaltung mit Wellenwicklung bezeichnen.

Aus der allgemeinen Schaltungsregel geht diese Wicklung hervor, wenn  $a = p$  gesetzt wird. Da ferner für Ringwicklung  $c = 1$ , folgt

$$y = \frac{s}{p} \pm 1 \text{ und } s = p \cdot y \pm 1.$$

Hierbei muß  $s:p$  eine ganze Zahl sein. Eine einfach geschlossene Wicklung erhalten wir nur, wenn  $s$  und  $y$  teilerfremd sind. Ist  $p$  ungerade, so kann  $s$  auch gerade sein.

Nehmen wir z. B.

$s = 21$ ,  $p = a = 3$ , so wird

$$y = \frac{21}{3} \pm 1 = \begin{cases} 6 \\ 8 \end{cases};$$

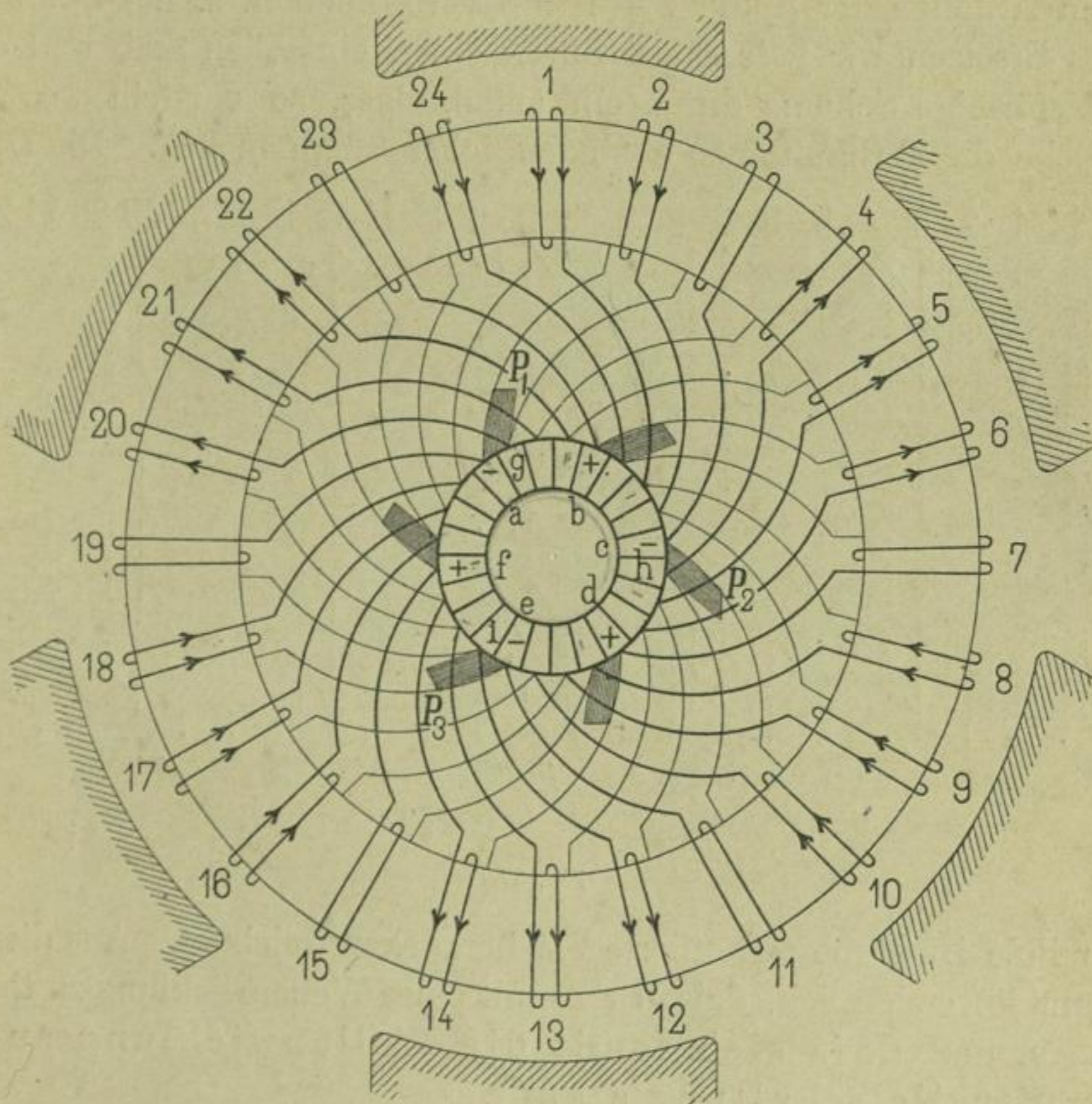


Fig. 36.

nur der Schritt 8 ergibt in diesem Falle eine einfach geschlossene Wicklung, der Schritt  $y = 6$  liefert drei unabhängige Reihenschaltungen, weil  $s = 21$ ,  $y = 6$  und  $a = 3$  den gemeinschaftlichen Teiler 3 haben. —

Als weiteres Beispiel diene eine 6polige Armatur mit 24 Spulen. Es wird

$$y = \frac{24}{3} \pm 1 = \begin{cases} 9 \\ 7 \end{cases}$$

Die Entfernung zwischen zwei gleichnamigen Polen beträgt 8 Teilstrecken, mit  $y = 9$  erhalten wir daher eine voreilende, mit  $y = 7$  eine zurückbleibende Wicklung. Im ersten Falle ist  $p y$  grösser, im zweiten Falle kleiner als der Armaturumfang.

Wegen des geringeren Raumbedarfs der Querverbindungen ist die Wicklung mit dem kürzeren Schritte vorzuziehen. In Fig. 36 ist dieselbe aufgezeichnet. Das Ende der Spule 1 ist mit dem Anfange der Spule  $7 + 1 = 8$  verbunden u. s. f. —

Ersetzen wir jede Spule durch einen einfachen Stab und das kreisförmige Schema durch ein geradliniges, so entsteht Fig. 37, welche die Verbindungen noch deutlicher erkennen läßt. Die Lage

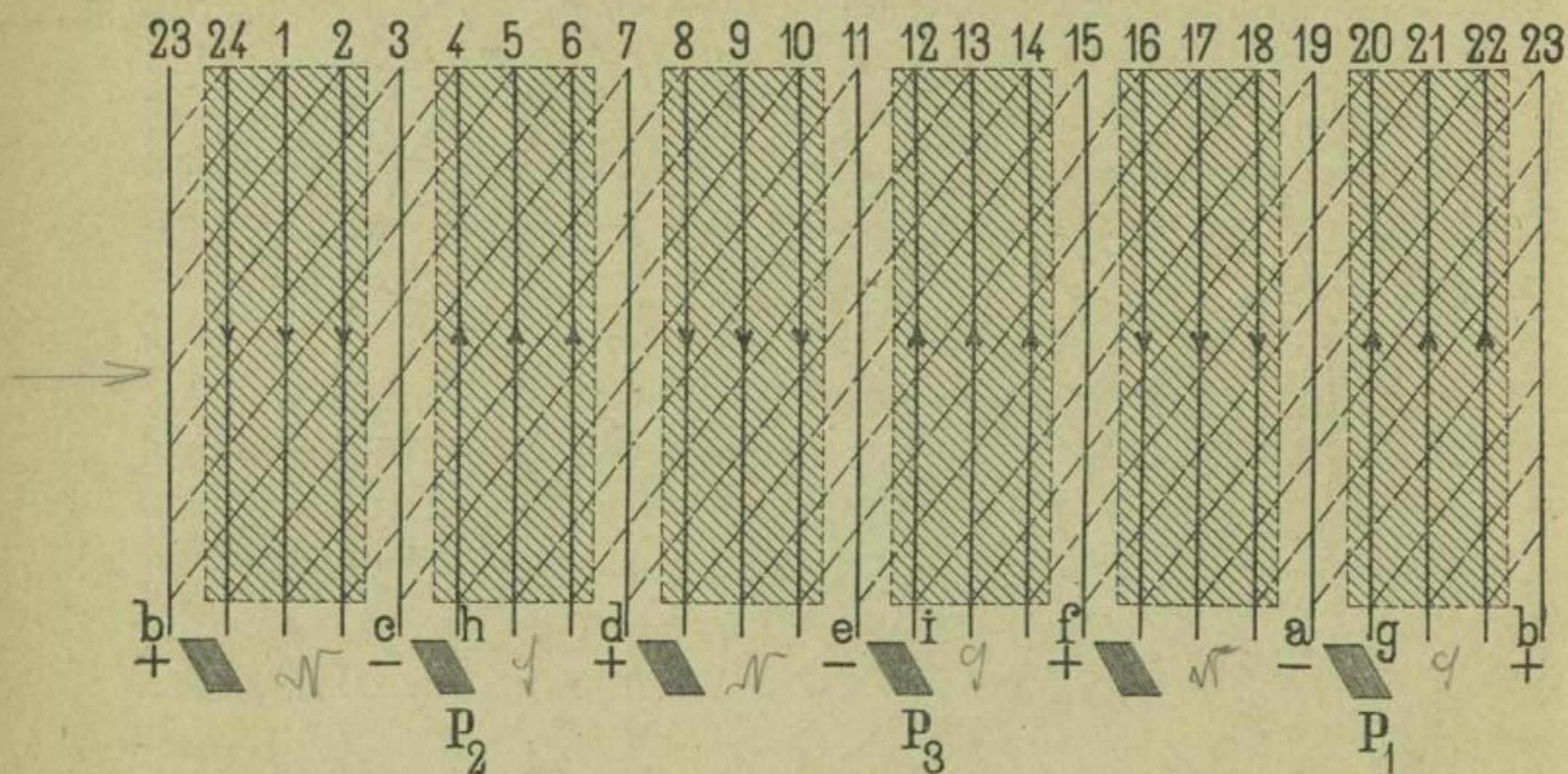


Fig. 37.

der Pole ist durch schraffierte Flächen gekennzeichnet. Aus dieser Figur ist ersichtlich, daß wir es mit einer Wellenwicklung zu thun haben, und daß sich somit die Wellenwicklung auch für Parallelschaltung eignet.

Um die Lage der Bürsten zu bestimmen, markiert man die Stromrichtung in den Spulen durch Pfeile. Ein Verfolgen derselben führt zu den mit (+) und (-) bezeichneten 6 Bürstenlagen *a* bis *f*.

Diese Wicklung hat verschiedene Eigentümlichkeiten, und zwar  
1. Zunächst liegen die zu einem einzelnen Ankerstromkreise gehörenden Spulen nicht mehr nebeneinander, sondern dieselben sind am Umfange des Ankers auf sämtliche Magnetfelder gleicher Polarität verteilt. Von der negativen Bürste  $P_1$  ausgehend erhalten wir z. B. die Stromkreise

$$-a \begin{cases} 2 & 9 & 16 & 23 & + b \\ 19 & 12 & 5 & 22 & + f \end{cases}$$

Durch diese Anordnung wird verhindert, daß infolge Ungleichheit der magnetischen Felder, welche aus verschiedenen Ursachen vorhanden sein kann, in den einzelnen Ankerstromkreisen ungleiche elektromotorische Kräfte induziert werden, welche zur Entstehung von Strömen im Innern der Wicklung und zur Funkenbildung am Kollektor Veranlassung geben.

Nehmen wir z. B. an, daß bei einer mehrpoligen Maschine infolge ungenauer Montierung, oder durch Abnutzung der Lager oder infolge einer Blase im Gusse der Unterschied in der Zahl der Kraftlinien, welche von den Polen ausgehen, 10% betrage, so würden in einem Anker mit Gramme'scher Wicklung, dessen Widerstand bei normaler Stromstärke 3 bis 3 1/2% Spannungsverlust ergibt, die schädlichen innern Ströme ungefähr die 1 1/2 fache<sup>1)</sup> Stärke des normalen Stromes erreichen. Der Strom würde daher in derjenigen Spule, welche sich im starken Felde befindet, die 2 1/2 fache Stärke haben und in den Windungen, welche sich im schwachen Felde befinden, würde ein Strom von halber Stärke in entgegengesetzter Richtung fließen. Eine so starke Verschiebung der Stromverteilung würde zwar durch die Armaturrückwirkung verhindert, aber keineswegs ganz unterdrückt werden. Der Spannungsverlust und besonders die Erwärmung der Maschine und die Funkenbildung am Kollektor können unter solchen Umständen zu Betriebsschwierigkeiten führen.

Die Ausführung der hier gegebenen Wicklung, welche obige Übelstände vermeidet, ist einfach, weil sich sämtliche Querverbindungen in zwei Ebenen unterbringen lassen. Dasselbe gilt für die später zu besprechende Trommelwicklung, Fig. 94.

2. Die Zahl der Spulen, welche gleichzeitig kurz geschlossen werden, ist =  $p$ , und die kurz geschlossenen Spulen werden durch die Bürsten in Serie geschaltet; eine Bürste allein kann eine Spule nicht kurz schliessen.

In der Fig. 36 sind bei der gezeichneten Stellung der Bürsten die Spulen 3, 11 und 19 kurz geschlossen und wir haben für den Kurzschluß den Stromkreis

$$a \quad g \quad 3 \quad c \quad h \quad 11 \quad e \quad i \quad 19 \quad a$$

<sup>1)</sup> Kapp, Dynamomaschinen 1894, pag. 116.

die Lamellen  $a-g$ ,  $c-h$  und  $e-i$  sind durch die Bürsten leitend verbunden.

3. Es kann, ohne die Leistung der Maschine zu beeinträchtigen oder die Verteilung der Belastung am Armaturumfang zu ändern, die Zahl der Bürsten kleiner als die Polzahl genommen werden. Es ist z. B. in der Fig. 36 eine der negativen Bürsten etwa  $P_3$  entbehrlich, denn die Lamelle  $i$  steht durch die induktionsfreie Spule 19 mit der Bürste  $P_1$ , und die Lamelle  $e$  durch die induktionsfreie Spule 11 mit der Bürste  $P_2$  in Verbindung. Ebenso kann die positive Bürste  $d$  fortbleiben. —

Die Auflagebreite der bleibenden Bürsten muß aber, um den Kurzschluß der Spulen zu ermöglichen und Funkenbildung zu vermeiden, vergrößert werden. Bei genügend großer Lamellenzahl und Auflagebreite der Bürsten könnten mehrpolige Anker mit Parallelschaltung mit nur zwei Bürsten versehen werden, eine so weit gehende Verminderung ist aber keineswegs ratsam.

In der nachfolgenden Tabelle sind für 4, 6, 8 und 10polige Wicklungen und verschiedene mögliche Spulenzahlen diejenigen Werte des Schrittes  $y$  enthalten, welche eine einfach geschlossene Wicklung nach dem Schema Fig. 36 ergeben:

4 Pole Spulenzahl $s =$	8 Pole Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$	6 Pole Spulenzahl $s =$	10 Pole Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$
60	120	29 oder 31	90	150	29 oder 31
64	128	31 » 33	93	155	32
68	136	33 » 35	96	160	31
72	144	35 » 37	99	165	32 oder 34
76	152	37 » 39	102	170	35
80	160	39 » 41	105	175	34
84	168	41 » 43	108	180	35 oder 37
88	176	43 » 45	111	185	38
92	184	45 » 47	114	190	37
96	192	47 » 49	117	195	38 oder 40
100	200	49 » 51	120	200	41
104	208	51 » 53	123	205	40
108	216	53 » 55	126	210	41 oder 43
112	224	55 » 57	129	215	44
116	232	57 » 59	132	220	43

4 Pole Spulenzahl $s =$	8 Pole Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$	6 Pole Spulenzahl $s =$	10 Pole Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$
120	240	59 » 61	135	225	44 oder 46
124	248	61 » 63	138	230	47
128	256	63 » 65	141	235	46
132	264	65 » 67	144	240	47 oder 49
136	272	67 » 69	147	245	50
140	280	69 » 71	150	250	49
144	288	71 » 73	153	255	50 oder 52
148	296	73 » 75	156	260	53
152	304	75 » 77	159	265	52
156	312	77 » 79	162	270	53 oder 55
160	320	79 » 81	165	275	56
164	328	81 » 83	168	280	55
168	336	83 » 85	171	285	56 oder 58
172	344	85 » 87	174	290	59
176	352	87 » 89	177	295	58
180	360	89 » 91	180	300	59 oder 61
184	368	91 » 93	183	305	62
188	376	93 » 95	186	310	61
192	384	95 » 97	189	315	62 oder 64
196	392	97 » 99	192	320	65
200	400	99 » 101	195	325	64
204	408	101 » 103	198	330	65 oder 67
208	416	103 » 105	201	335	68
212	424	105 » 107	204	340	67
216	432	107 » 109	207	345	68 oder 70
220	440	109 » 111	210	350	71
224	448	111 » 113	213	355	70
228	456	113 » 115	216	360	71 oder 73
232	464	115 » 117	219	365	74
236	472	117 » 119	222	370	73
240	480	119 » 121	225	375	74 oder 76
244	488	121 » 123	228	380	77
248	496	123 » 125	231	385	76
252	504	125 » 127	234	390	77 oder 79
256	512	127 » 129	237	395	80
260	520	129 » 131	240	400	79

u. s. f.

Ringankerwicklung mit Querverbindungen nach Mordey. Die große Bürstenzahl, welche die mehrpoligen Parallelschaltungen ergeben, läßt sich, sofern es wünschenswert ist, nach einer von Mordey bei der Viktoria-Maschine der Brush Comp. zuerst angewendeten Methode vermeiden. Man verbindet zu dem Zwecke die

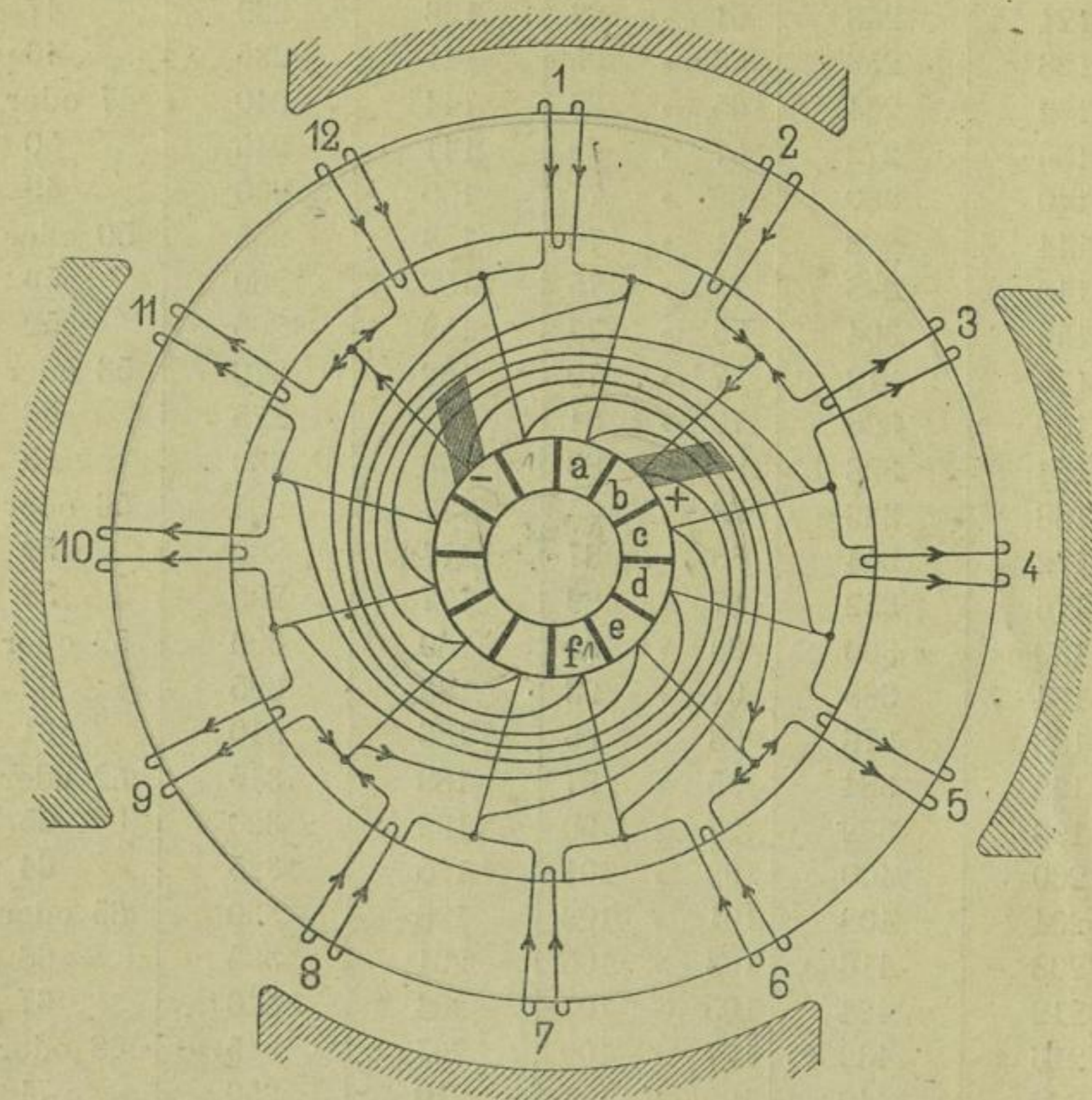


Fig. 38.

symmetrisch zum magnetischen Felde gelegenen Kollektor-segmente leitend mit einander und erhält dann, unabhängig von der Polzahl, stets zwei Bürsten.

In Fig. 38 ist ein solches Schema für eine vierpolige Wicklung dargestellt. Die Bürsten liegen unter einem Winkel von  $90^\circ$  und je zwei gegenüberliegende Kollektorlamellen sind leitend mit einander verbunden.

Die Verbindungen können, besonders bei mehr als 4 Polen, zweckmäÙig im Innern des Kollektors untergebracht und in zwei



Ebenen angeordnet werden. In Fig. 39 ist ein Kollektor mit solchen Querverbindungen übereinstimmend mit Fig. 38 dargestellt. Die stark ausgezogenen Verbindungen können in der vordern, die punktiert angedeuteten in einer dahinter stehenden Ebene liegen. Die Seitenansicht einer aus Kupferblech hergestellten Verbindungslamelle ist nebenstehend abgebildet.

Ist die Zahl der Polpaare allgemein  $p$ , so sind  $p$  Kollektor-segmente, welche unter einem Winkel von  $360:p$  Grad stehen,

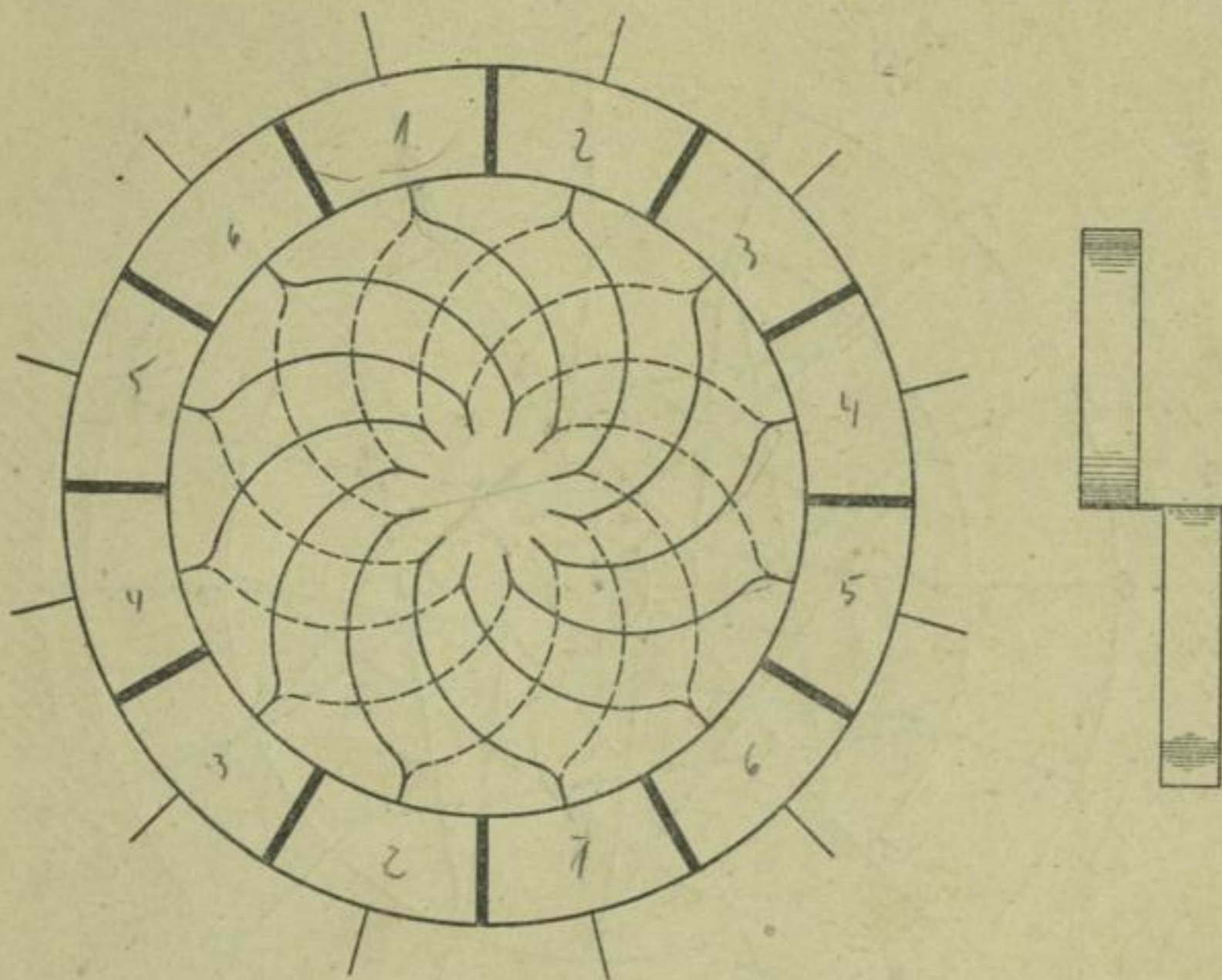


Fig. 39.

leitend miteinander zu verbinden. Der Bürstenwinkel ist gleich  $180:p$  oder ein ungerades Vielfache davon.

Die Mordeyschaltung kann bei vielpoligen Dynamos zweckmäßig zur Verminderung der Bürstenzahl Anwendung finden; bei Maschinen mit horizontaler Welle werden dann diejenigen Bürsten fortgelassen, welche schwer oder unbequem zugänglich sind. Allfällige Spannungsdifferenzen zwischen gleichnamigen Bürsten werden durch die Mordeyschaltung ausgeglichen.

Ringwicklung für Parallelschaltung nach dem Trommelschema. Für die durch Fig. 33 dargestellte Wicklungsart von Wodicka wurde nachgewiesen, daß dieselbe mit dem Schema einer Trommelwicklung übereinstimmt, dieselbe kann daher auch bei vielpoligen

Maschinen nach diesem Schema ausgeführt werden. Bezeichnet  $w$  die Zahl der Wicklungsfelder,  $p$  die Zahl der Polpaare, so sind diejenigen Spulen zu einem Paare zu verbinden, zwischen denen  $\frac{w}{2p} \pm 1$  Wicklungsfelder liegen. In Fig. 40 ist  $s = w = 16$  und  $p = 2$  gewählt. Zwischen jedem Spulenpaare (z. B. zwischen 1—1') liegen  $\frac{w}{2p} \pm 1 = 5$  Wicklungsfelder. Die Enden der Spulenpaare

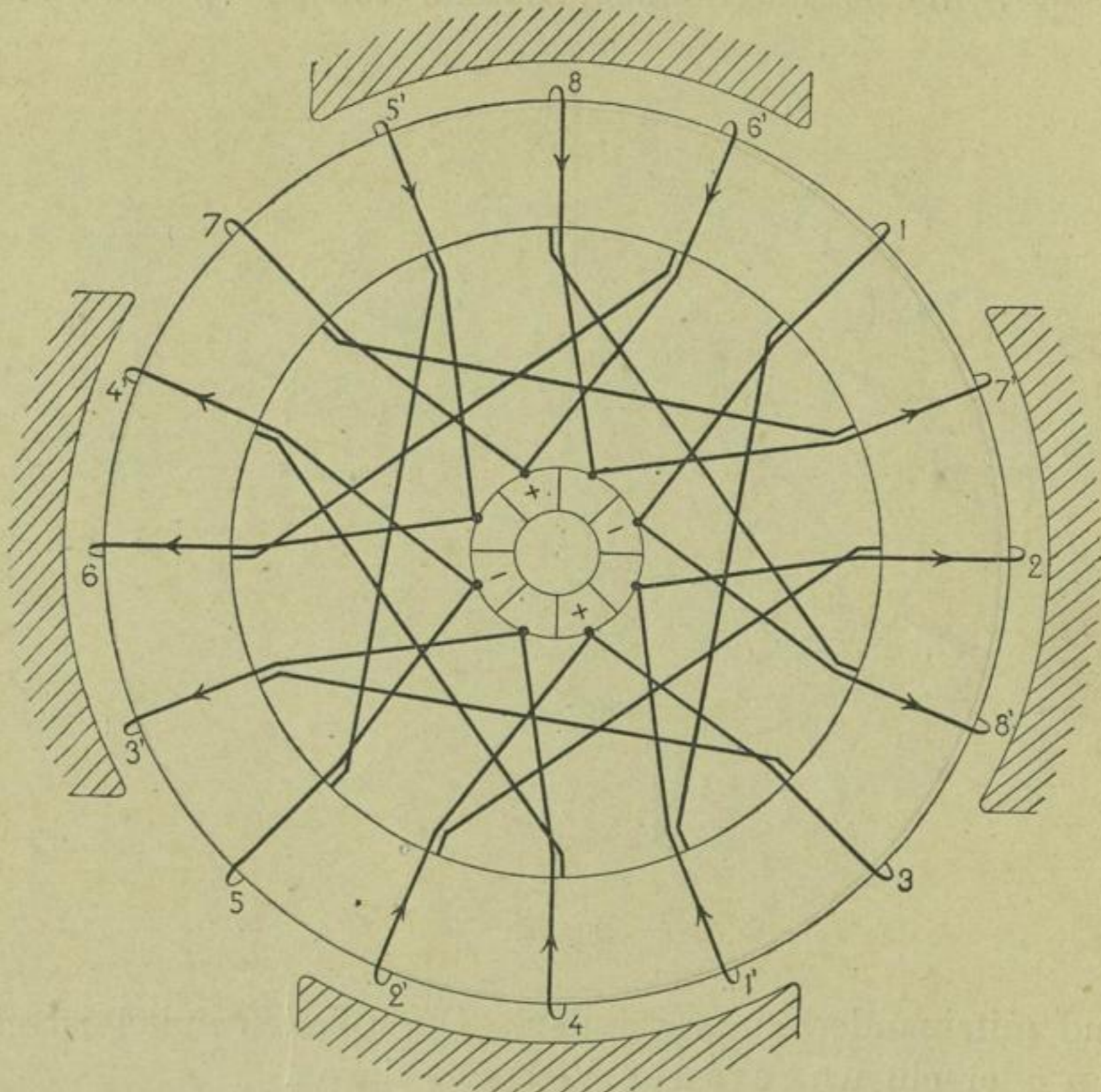


Fig. 40.

werden nach dem Schema Fig. 35 verbunden, also 1' mit 2, 2' mit 3 u. s. w. In der allgemeinen Formel ist auch hier, unabhängig von der Polzahl, stets  $p = 1$  einzusetzen; ferner ist  $c = 2$ ,  $a = \pm 1$ . Rollet man das Schema in die Papierebene ab, so ergibt sich Fig. 41.

Das von Wodicka angegebene Verfahren läßt sich insofern erweitern, als wir bei  $2p$  Polen  $2p$  Spulen zu einer Gruppe in Reihenschaltung zusammenfassen können. Jeder Gruppe entspricht ein Kollektorsegment; die Zahl derselben wird somit  $= \frac{s}{2p}$ . Die Zahl

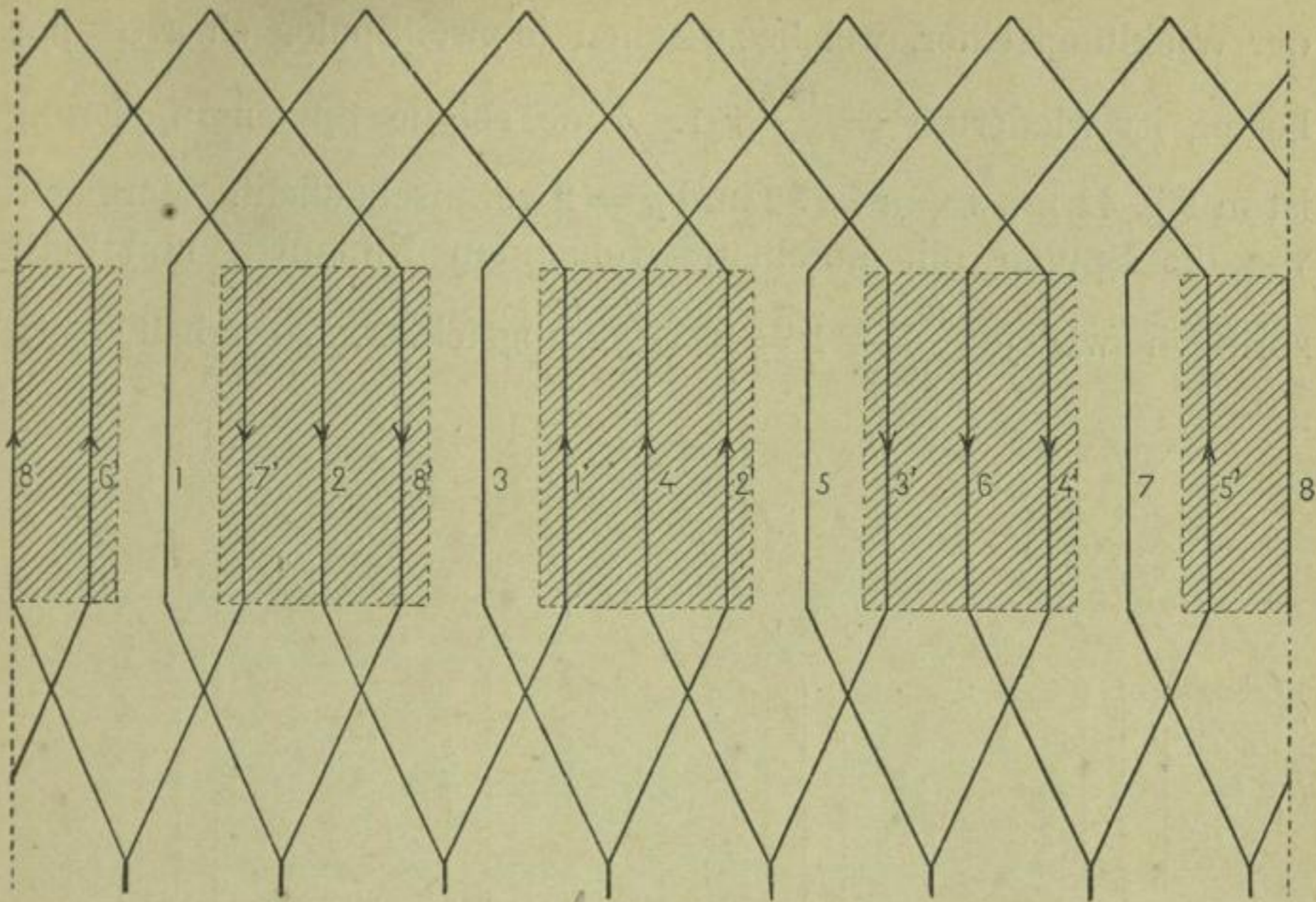


Fig. 41.

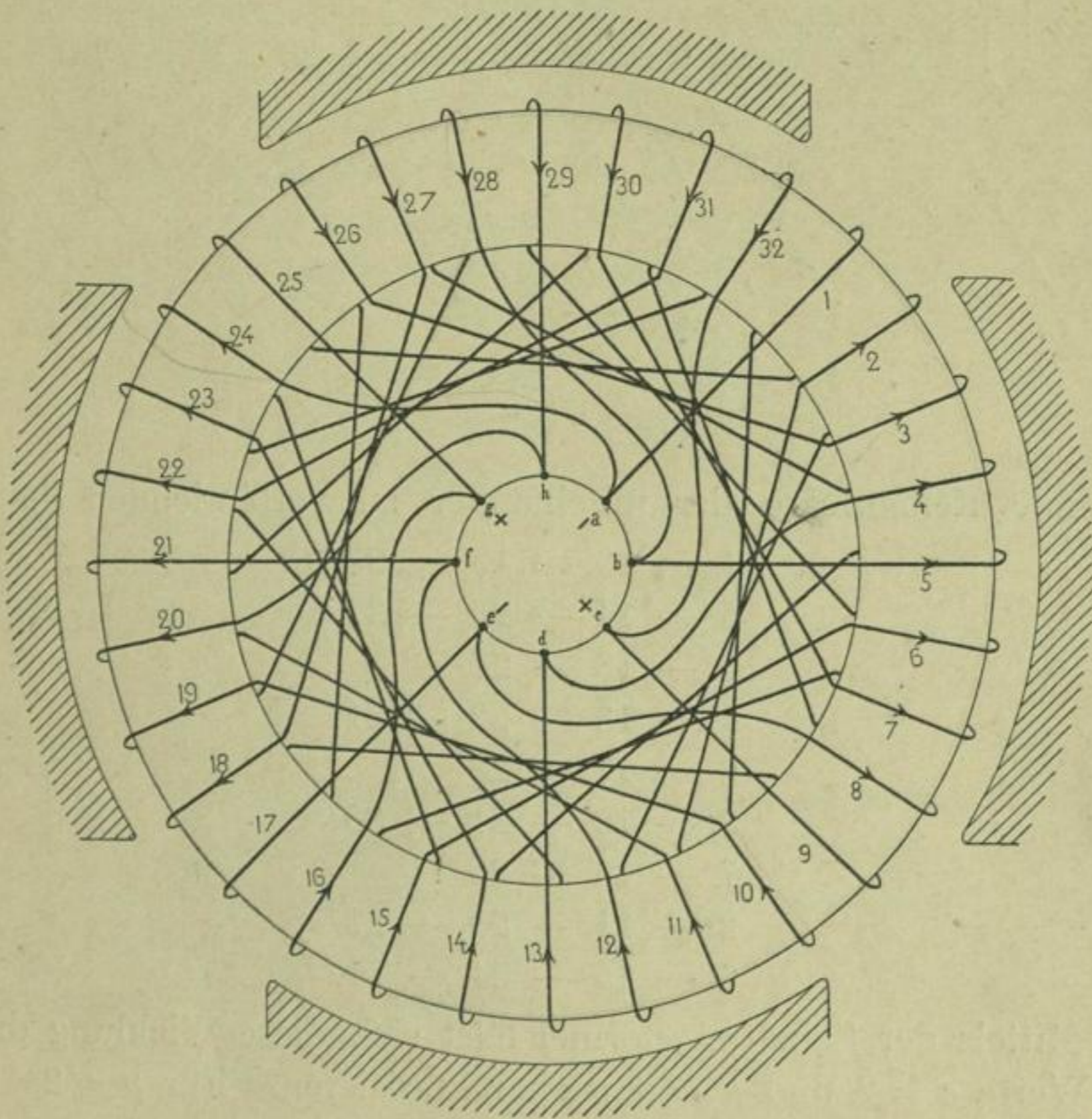


Fig. 42.

Handwritten mark resembling a stylized 'V' or 'W'.

der Wicklungsfelder, welche zwischen je zwei Spulen einer Gruppe liegen, ist wiederum  $= \frac{w}{2p} \pm 1$ . Eine solche Spulengruppierung ist in Fig. 42 mit  $s = w = 32$  und  $p = 2$  veranschaulicht. Markieren wir die Spulen mit aufeinanderfolgenden Nummern und überspringen wir je  $\frac{w}{2p} + 1 = 9$  Wicklungsfelder, so erhalten wir

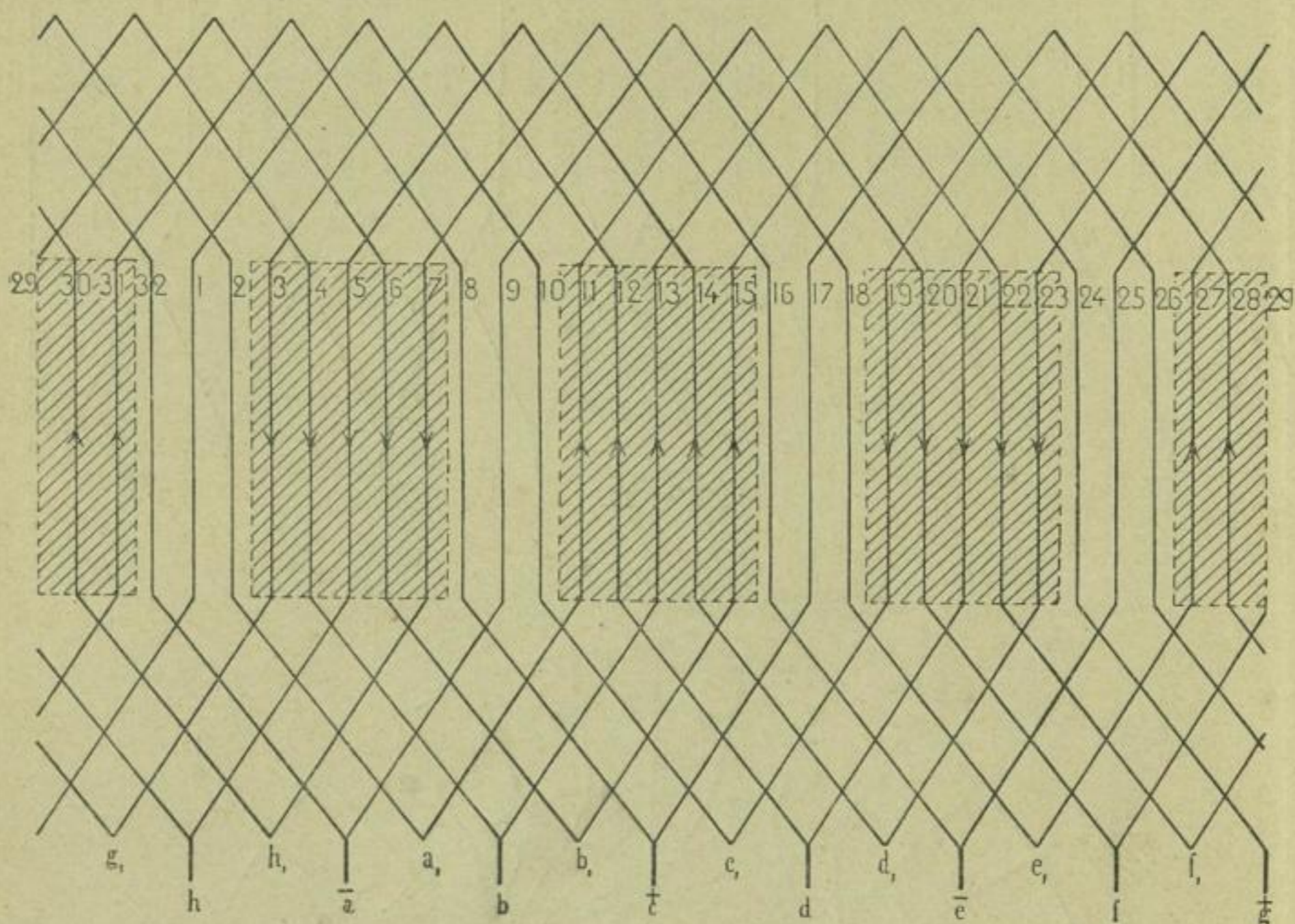


Fig. 43.

folgende Reihenfolge der miteinander zu verbindenden Spulen:

1	—	10	—	19	—	28
5	—	14	—	23	—	32
9	—	18	—	27		
4	—	13	—	22	—	31
8	—	17	—	26		
3	—	12	—	21	—	30
7	—	16	—	25		
2	—	11	—	20	—	29
6	—	15	—	24	—	1.

Mittels der Schaltungsformel läßt sich diese Wicklung durch die Werte  $c = 2$  und  $a = \pm p$  charakterisieren. Für  $p = 2$ ,

$s = 32$  wird

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{32}{2} + 2 \right) = 9.$$

Das abgewickelte Schema Fig. 43 zeigt, daß wir es mit einer mit der Wellenwicklung übereinstimmenden Verbindungsweise zu thun haben. Unter Beibehaltung derselben Wicklungsart kann, wie aus Fig. 43 ersichtlich, die Zahl der Kollektorteile verdoppelt werden, indem man die in  $a_1 b_1 . . . h_1$  zusammenstossenden Drähte ebenfalls an den Kollektor anschliesst. —

Diese Schaltung, welche auch in der ersten Auflage dieses Buches enthalten ist, steht in Übereinstimmung mit der Wicklung von Ch. Stanley<sup>1)</sup>, deren Patent seither erschienen ist.

### 3. Mehrpolige Ringanker mit Reihenschaltung.

Während bei der Parallelschaltung mehrpoliger Anker stets ebenso viele Stromzweige als Pole vorhanden sind, ergibt die Reihenschaltung nur zwei Stromzweige und daher stets nur zwei Bürsten. Das für zweipolige Anker gültige Stromschema Fig. 32 ist somit auch für mehrpolige Anker mit Reihenschaltung bezeichnend.

Sämtliche Spulen werden, von den Bürsten ausgehend, in zwei Gruppen mit entgegengesetzter Stromrichtung geteilt; beide Gruppen sollen in Bezug auf die Induktion gleichwertig sein.

Unter sonst gleichen Verhältnissen und bei gleicher Zahl der Ankerwindungen ist die elektromotorische Kraft, welche bei Reihenschaltung erreicht wird,  $p$  mal so groß als bei Parallelschaltung, die Stromstärke dagegen  $p$  mal kleiner. Die Reihenschaltung wird also da anzuwenden sein, wo hohe Stromspannung oder geringe Umfangsgeschwindigkeit des Ankers bedingt ist.

Da die Reihenschaltung eine einfachere Konstruktion des Bürstenapparates ermöglicht, so eignet sich dieselbe in gewissen Fällen auch da, wo Parallelschaltung angewendet werden könnte.

**Ableitung der Reihenschaltung aus der zweipoligen Wicklung.** Ein Schema für Reihenschaltung läßt sich in einfacher Weise aus der Parallelschaltung ableiten, wenn wir bei einer geraden Spulenzahl die symmetrisch und in gleichsinnigen magnetischen Feldern gelegenen Spulen so miteinander verbinden, daß dieselben als

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 56258 vom 10. Juli 1889, ausgegeben den 23. April 1891.

eine einzige Spule betrachtet werden können, denen auch nur ein Kollektorsegment entspricht. Da die Anzahl der symmetrisch und gleichsinnig gelegenen Spulen =  $p$  ist, so wird die Zahl  $k$  der Kollektorsegmente

$$k = \frac{s}{p}.$$

In Fig. 44 ist ein solches Schema für  $p = 2$ ,  $s = 12$ ,  $k = 6$  entworfen.

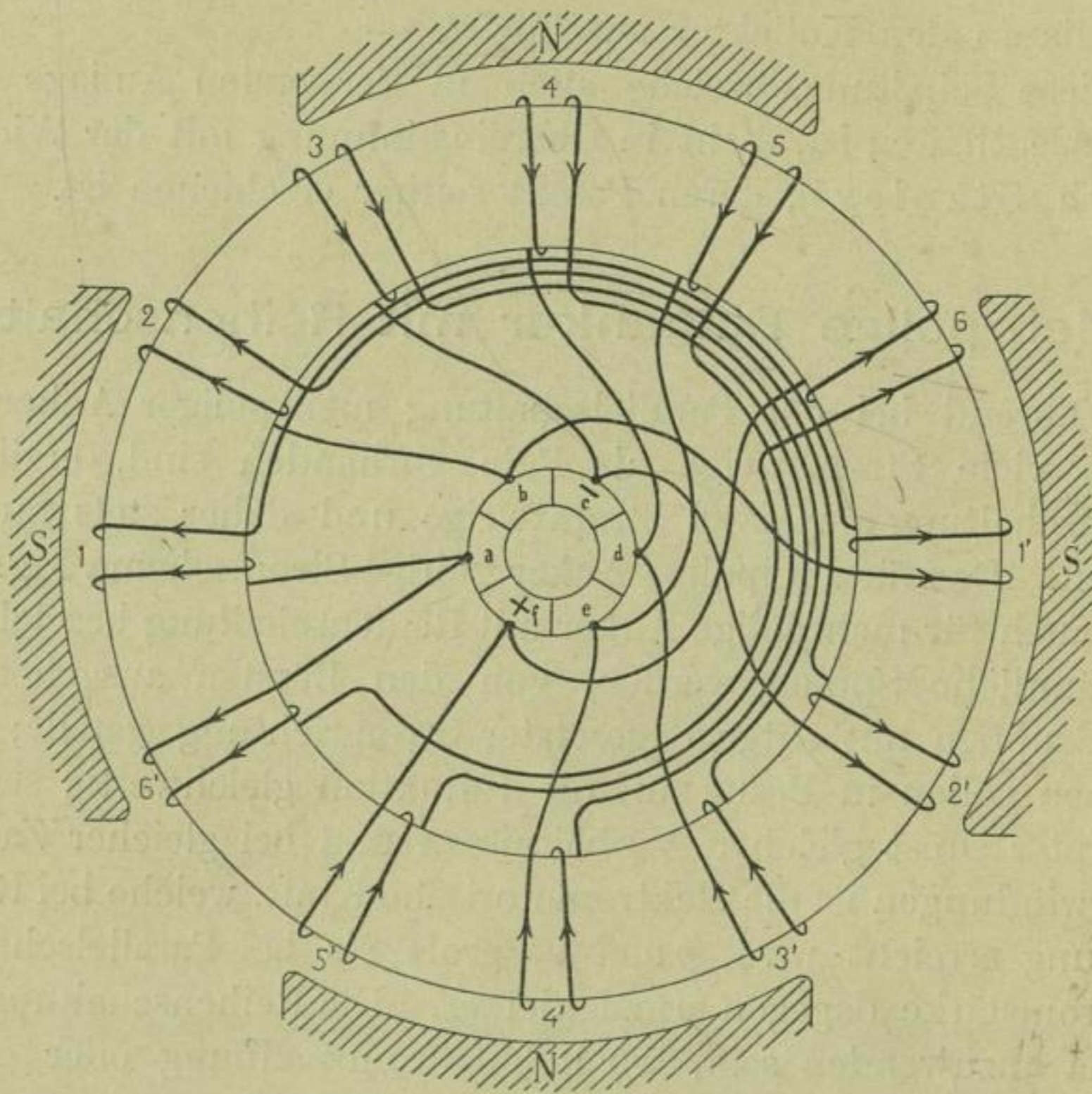


Fig. 44.

Vom Segmente  $a$  ausgehend betrachten wir die diametral gegenüber liegenden Spulen 1 und 1' als eine einzige Spule, wir verbinden das Ende 1' mit dem von  $a$  benachbarten Segmente  $b$  und dem Anfange der von 1 benachbarten Spule 2; 2—2' bildet die zweite Spule u. s. f. Auf diese Weise wird das mehrpolige Schema sozusagen auf ein zweipoliges zurückgeführt; es gilt hier dieselbe Schaltungsregel wie dort.

In jeder Spule wechselt der Strom pro Umdrehung viermal seine Richtung, also ergeben sich pro Umdrehung  $4 \cdot 12 = 48$  oder

allgemein  $2 \cdot p \cdot s$  Stromwechsel. Bei  $k = 6$  Kollektorteilen und zwei Bürsten muß daher jede Bürste gleichzeitig  $\frac{p \cdot s}{k} = \frac{24}{6} = 4$  Spulen kurz schließen. Wie aus dem Schema zu ersehen, werden aber nur zwei Spulen gleichzeitig kurz geschlossen, dasselbe ist daher in dieser Gestalt nicht brauchbar.

Dieser Fehler läßt sich offenbar für  $p = 2$  durch Verdopplung der Zahl der Kollektorteile beseitigen; es wird dann  $k = s$ .

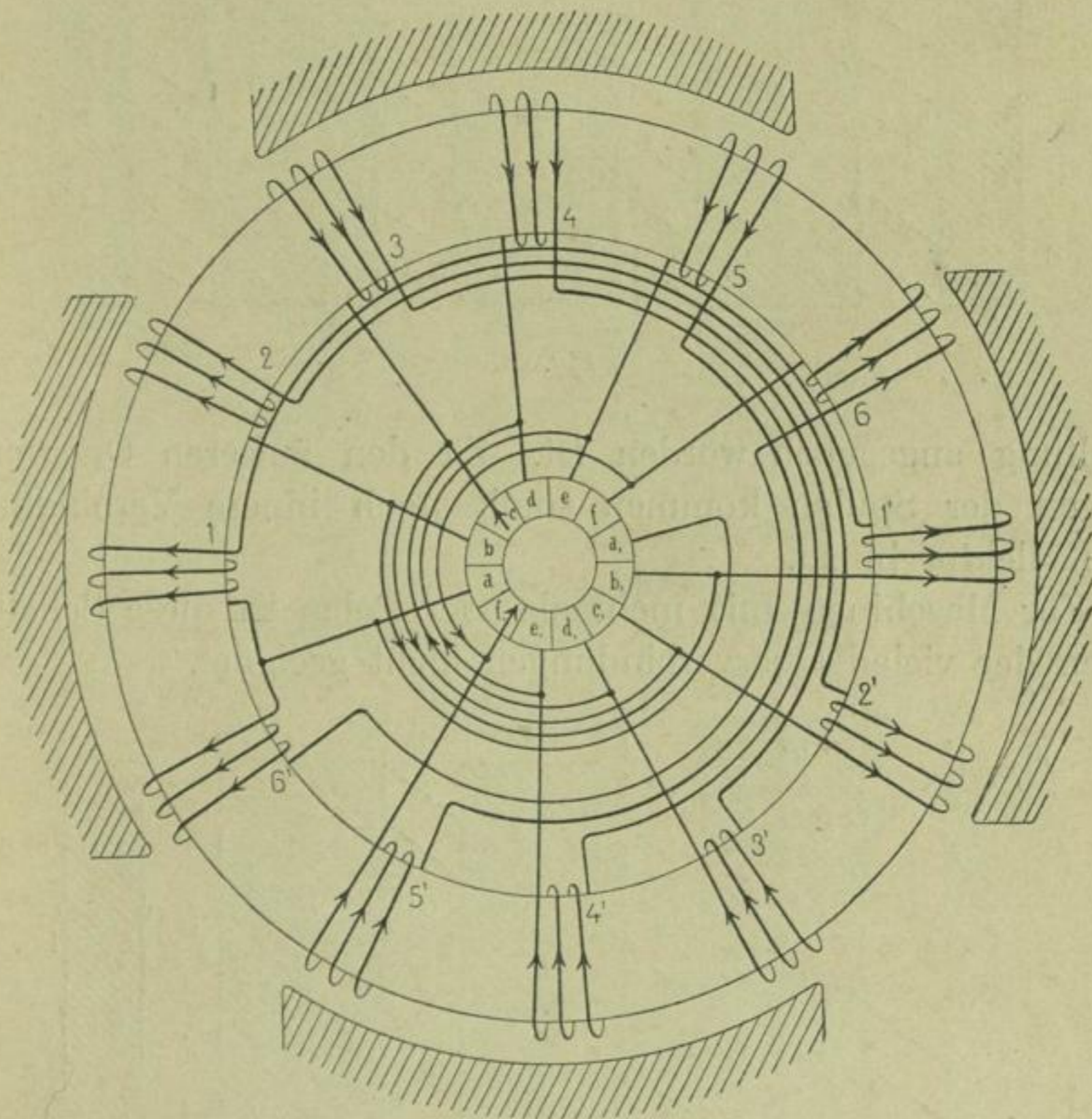


Fig. 45.

Hieraus läßt sich eine für beliebige Polzahlen gültige Reihenschaltung der Armaturspulen ableiten.

Ist ganz allgemein die Spulenzahl  $s$  ein Vielfaches von  $p$  und die Zahl der Kollektorlamellen  $k = s$ , so werden  $p$  Armaturspulen, welche um einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad auseinander liegen in Serie geschaltet und die zwei Drahtenden ebenso wie bei einer

zweipoligen Maschine mit aufeinanderfolgenden Kollektorsegmenten verbunden; es sind dann zunächst  $\frac{s}{p}$  Segmente besetzt. — Wir verbinden nun sämtliche Segmente, welche einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad mit einander einschließen, ebenso wie für die Mordey-

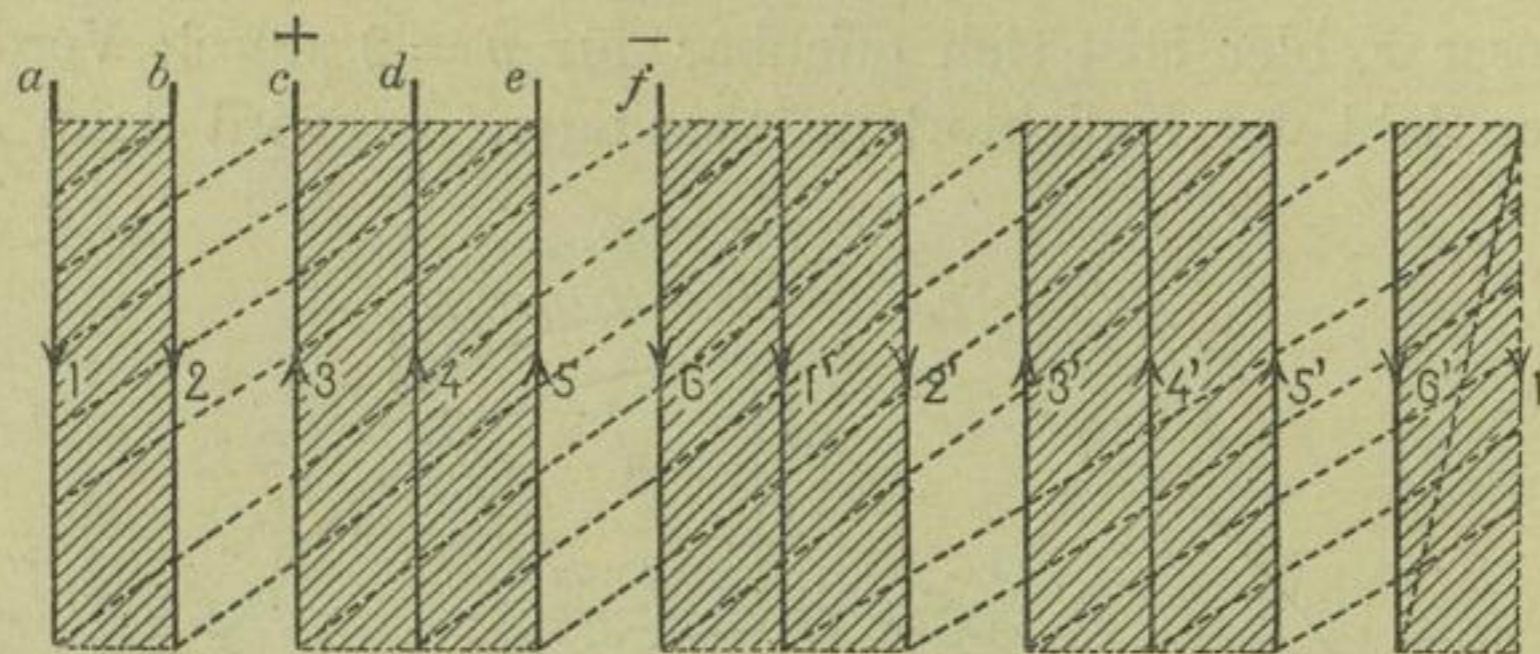


Fig. 46.

schaltung angegeben worden ist. Zu den äußeren Querverbindungen der Spulen kommen somit noch innere Verbindungen am Kollektor hinzu.

Für Maschinen mit mehr als vier Polen ist diese Schaltung wegen der vielen Querverbindungen nicht geeignet.

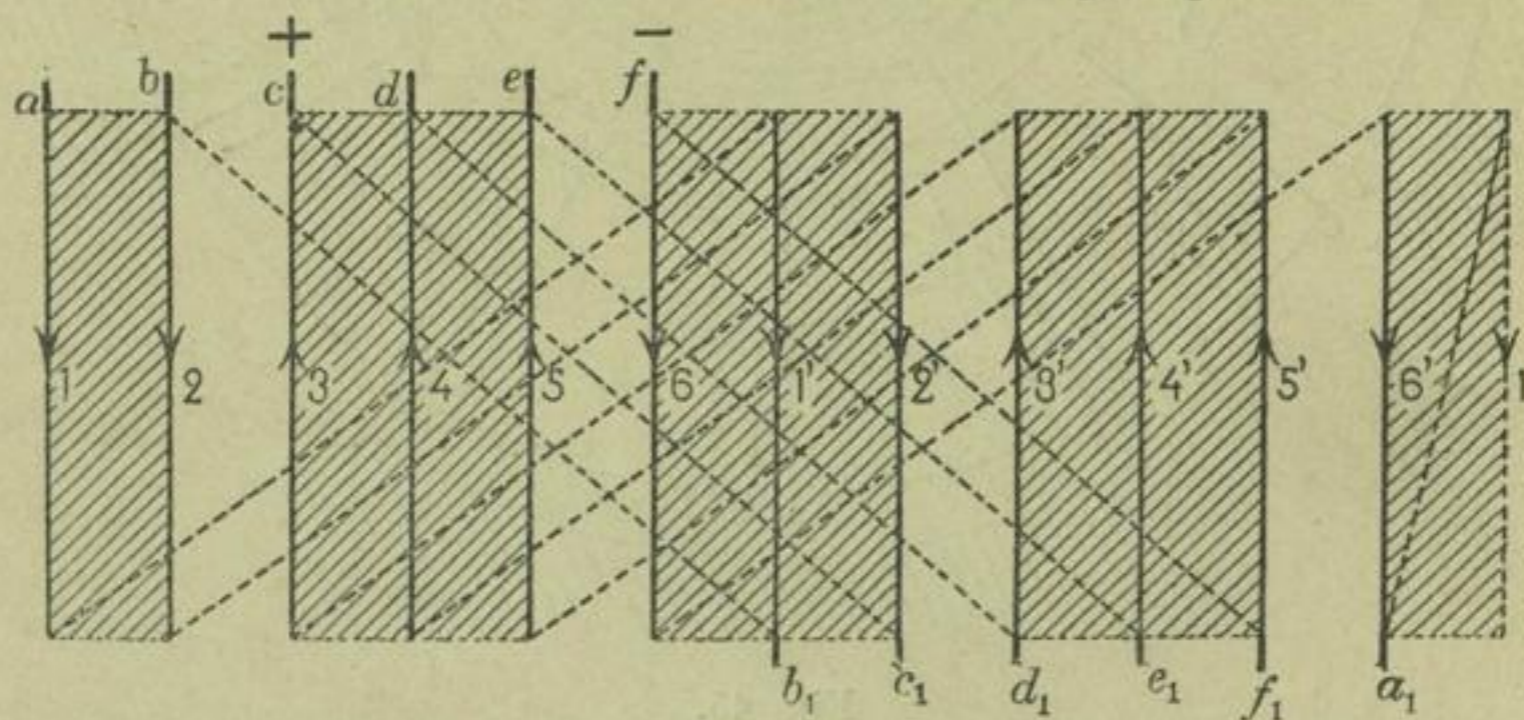


Fig. 47.

Als Beispiel hierzu wähle ich die Vierpolige Reihenwicklung mit äußeren und inneren Querverbindungen Fig. 45<sup>1)</sup> und 47.

Es ist  $s = 12$ ;  $k = 12$ .

<sup>1)</sup> La lumière électr. 1887 p. 514.

The Electrician 1889 p. 139.



Je zwei unter einem Winkel von  $180^\circ$  liegende Spulen sind in Serie geschaltet und die Kollektorsegmente  $a b c d e f$  sind je mit einem gegenüberliegenden Segmente  $a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1$  leitend verbunden.

Der Stromlauf für die gewählte Lage des Ankers ist

$$-c \left\langle \begin{array}{cccccc} 3 & 3' & 4 & 4' & 5 & 5' \\ 2' & 2 & 1' & 1 & 6' & 6 \end{array} \right\rangle + f_1.$$

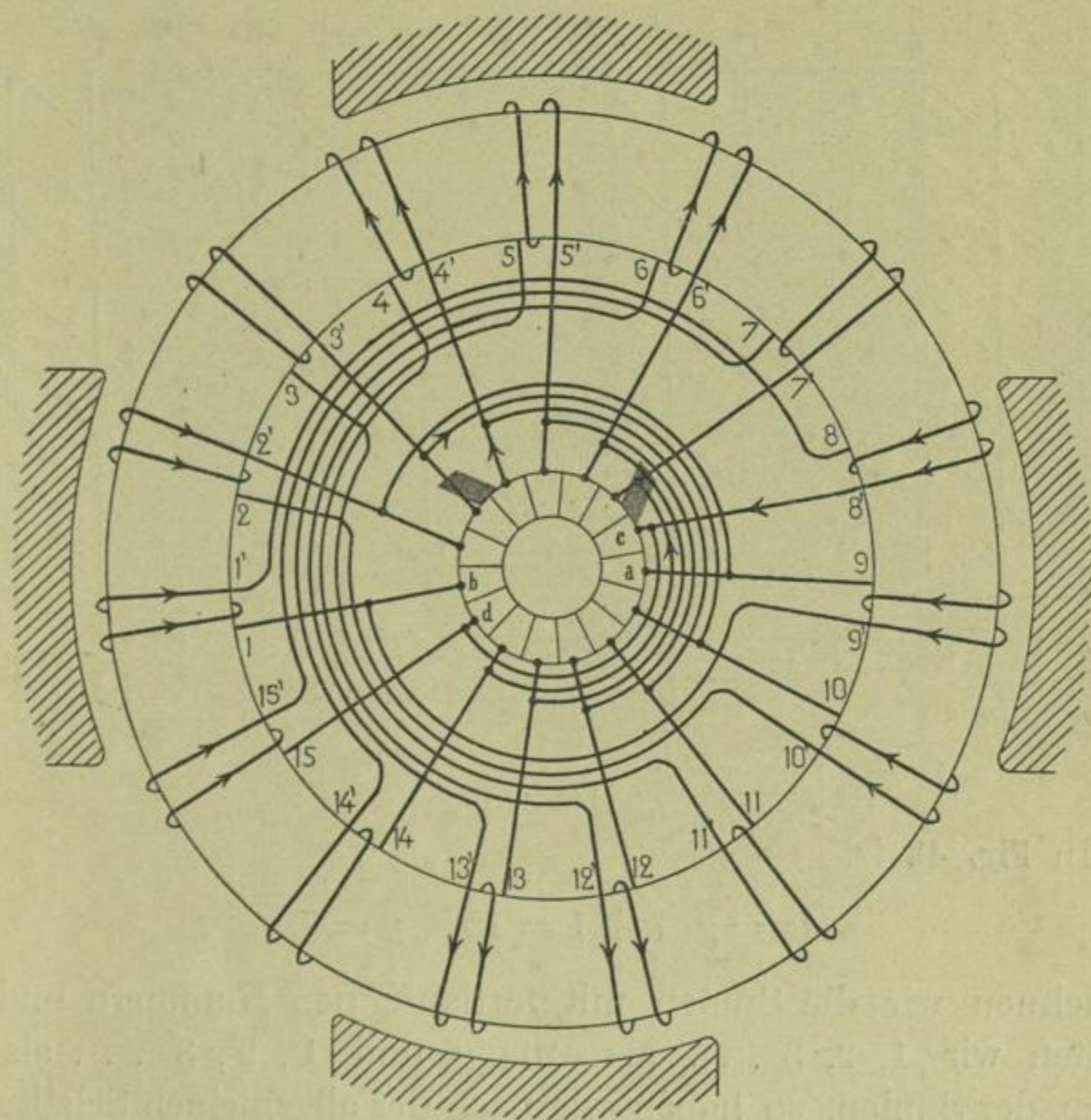


Fig. 48.

Die Fig. 46 und Fig. 47 stellen die Verbindungen der Fig. 44 und 45 in abgewickelter Form dar. Die induktionsfreien (punktieren) Verbindungen sind so gezeichnet, daß wir in Fig. 46 eine Wellenwicklung und in Fig. 47 eine Schleifenwicklung erhalten.

In den obigen Figuren tritt durch die Verbindung von  $6'$  mit  $1$  eine Unsymmetrie auf, diese läßt sich durch eine passende Wahl der Spulenzahl vermeiden.

Symmetrische Reihenwicklung mit äußeren und inneren Querverbindungen. Wählen wir die Spulenzahl  $s$  nach der allgemeinen Schaltungsregel, so erhalten wir, da  $c = 1$  und  $a = 1$

$$s = p y \pm 1.$$

Für diese Spulenzahlen ergeben sich symmetrische Querverbindungen der Spulen. Ist  $p$  gerade, so ist  $s$  ungerade, ist  $p$  ungerade, so kann  $s$  auch eine gerade Zahl sein.

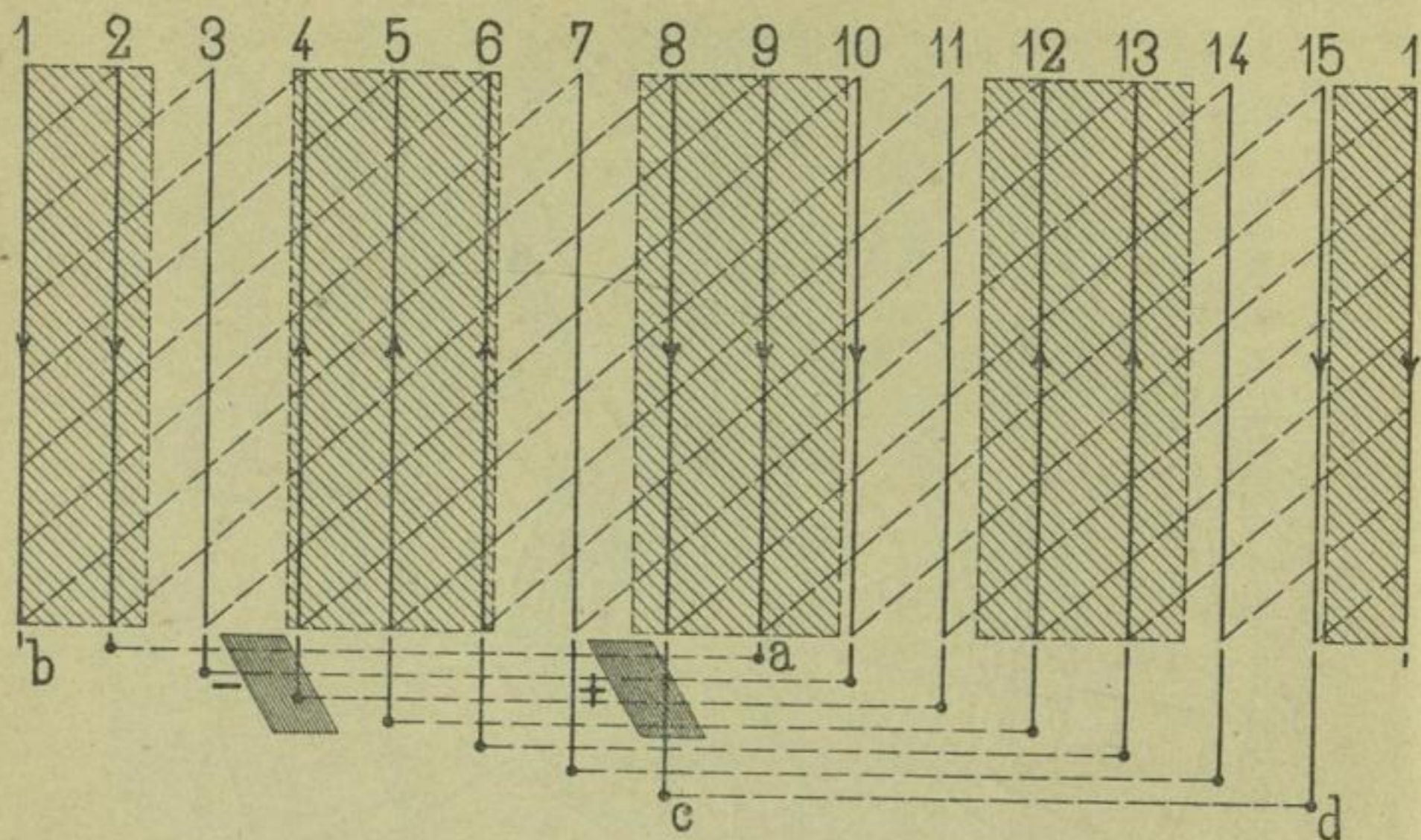


Fig. 49.

In Fig. 48 ist

$$s = \frac{4}{2} \cdot 7 + 1 = 15; \quad y = 7.$$

Bezeichnen wir die Spulen mit fortlaufenden Nummern und betrachten wir 1, 2, 3 . . . als Anfang und 1', 2', 3' . . . als die Enden der Spulen, so haben wir nach der allgemeinen Schaltungsregel 1' mit  $1 + 7 = 8$  und 8' mit  $8 + 7 = 15$  u. s. f. zu verbinden.

Die Kollektorsegmente sind wieder nach der angegebenen Regel untereinander verbunden, da wir aber eine ungerade Anzahl haben, so bleibt ein Segment, in der Figur das Segment  $b$ , für sich allein. Zwischen zwei Segmenten liegen beim Verfolgen der Wicklung stets zwei Spulen, und es werden durch jede Bürste je zwei Spulen kurz geschlossen, nur zwischen den Segmenten  $a$  und  $b$  liegt eine einzige Spule. Ist die halbe Polzahl  $p$  ungerade, so fällt diese Ungleichheit fort.

Das abgewickelte Schema ist in Fig. 49 dargestellt. Wir erhalten eine sägenartige Wellenwicklung mit induktionsfreien Querverbindungen.

**Ringanker mit Reihenwicklung von Perry.** Aus dem Schema Fig. 48 können wir eine neue Wicklung ableiten, wenn wir, anstatt zwei (allgemein  $p$ ) Spulen ohne Abzweigung zu durchlaufen, Anfang und Ende einer jeden Spule mit einem Kollektorsegmente verbinden; d. h. wenn wir in Fig. 48 von dem Segmente  $b$  ausgehen, so durchlaufen wir die Spule 1—1', verbinden 1' nicht nur mit 8, sondern auch mit dem Segment  $c$ , dagegen 8' nur mit dem Segment  $d$  und 15 u. s. f.

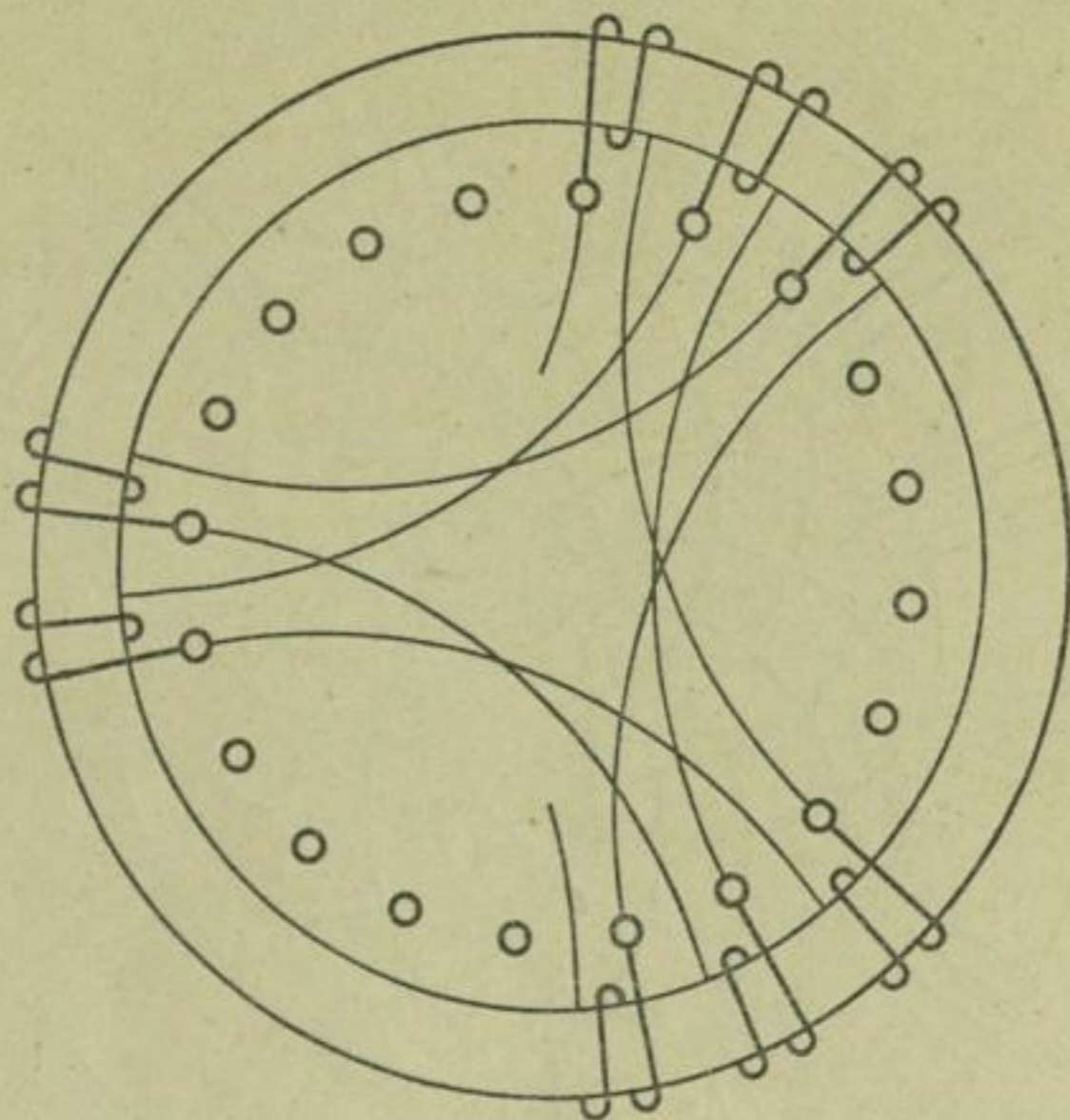


Fig. 50.

Diese Wicklungsart wurde von Perry<sup>1)</sup> für Ringanker angegeben und zuerst von Andrews angewendet. Noch älter ist die Reihenschaltung des Scheibenankers von Frick<sup>2)</sup> (siehe Fig. 125) welche sich auch auf Ring- oder Trommelanker übertragen läßt.

Die Wicklung von Perry ist in den meisten Fällen die einfachste und zweckmäßigste Reihenschaltung. Fig. 50 ist eine getreue Wiedergabe der in der Patentschrift enthaltenen Darstellung

<sup>1)</sup> Spezif. of Patent Nr. 3036 v. J. 1882. S. Kapp, The Engineer 60 p. 62 1885.

<sup>2)</sup> D.R.P. Nr. 3147 vom 6. Dez. 1877.

von Perry. Ich werde in den folgenden Figuren die Querverbindungen stets in Verbindung mit dem Kollektor und so zeichnen, daß ersichtlich ist, wie die Verbindungen in zwei übereinander liegenden Ebenen ohne Kreuzung gelegt werden können.

Mit Hilfe der allgemeinen Schaltungsregel lassen sich die Verbindungen der Spulen für jede Polzahl leicht bestimmen. Der Wicklungsschritt wird, da

$$c = 1 \text{ und } a = 1,$$

$$y = \frac{s \pm 1}{p} \quad \text{und } s = py \pm 1.$$

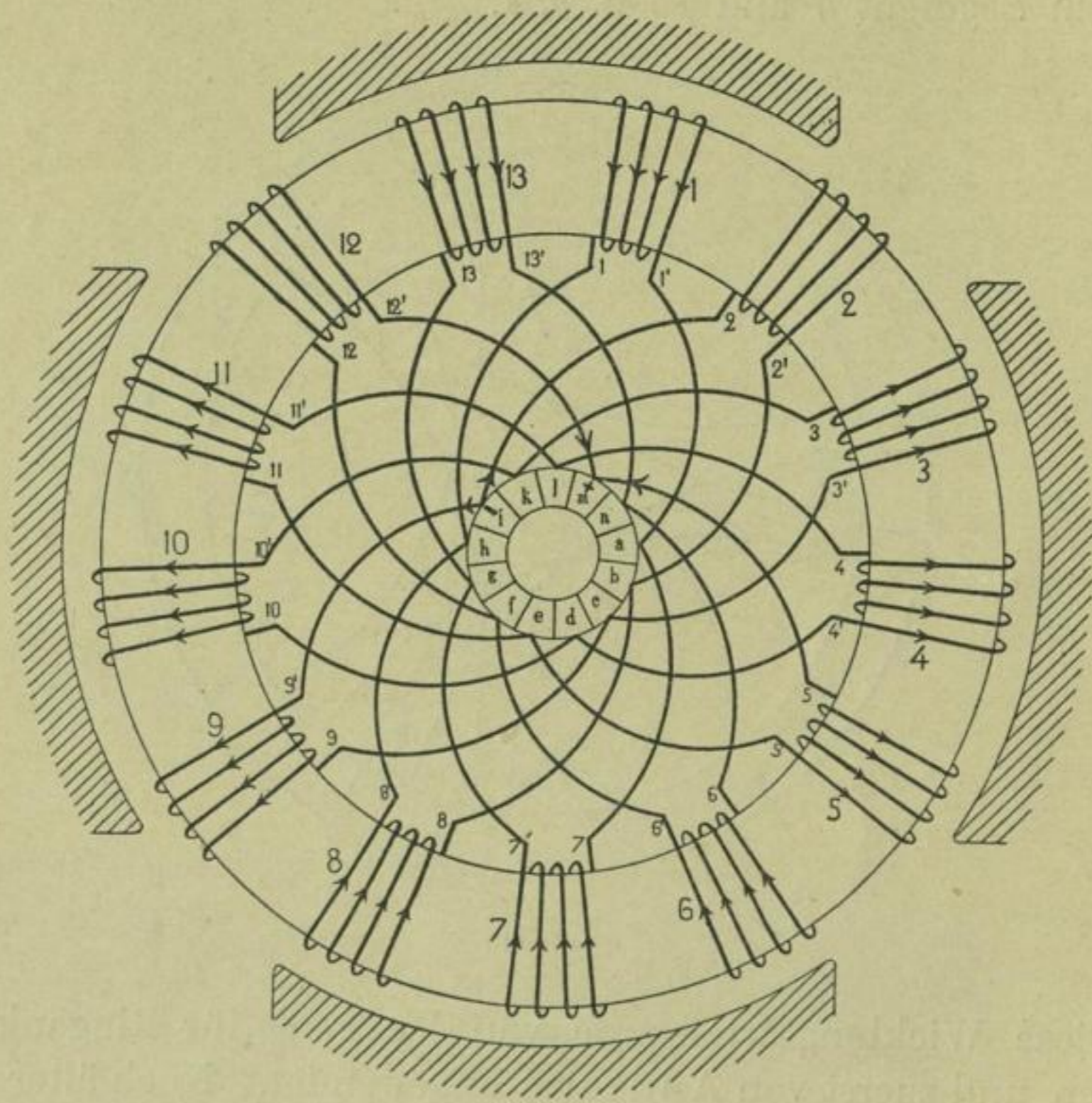


Fig. 51.

Eine Wicklung nach diesen Regeln ist für

$$p = 2, \quad s = 13, \quad y = 6, \quad k = 3$$

in Fig. 51 ausgeführt.

Nach der üblichen Numerierung und Anwendung der allgemeinen Schaltungsregel ergibt sich, daß z. B. das Ende der ersten Spule oder 1' mit dem Anfang der  $y + 1 = 7$ ten Spule zu

verbinden ist u. s. f. — Durch Einzeichnen und Verfolgen der Stromrichtungen finden wir die Lage der Bürsten, die um  $90^\circ$  von einander abstehen. Gehen wir von der negativen Bürste aus, so verzweigt sich der Strom bei der durch die Figur gegebenen Lage des Ankers nach den zwei Richtungen

$$-i \left\langle \begin{array}{cccccc} 2 & 8 & 1 & 7 & 13 & 6 & 12 \\ 9 & 3 & 10 & 4 & 11 & 5 \end{array} \right\rangle + m.$$

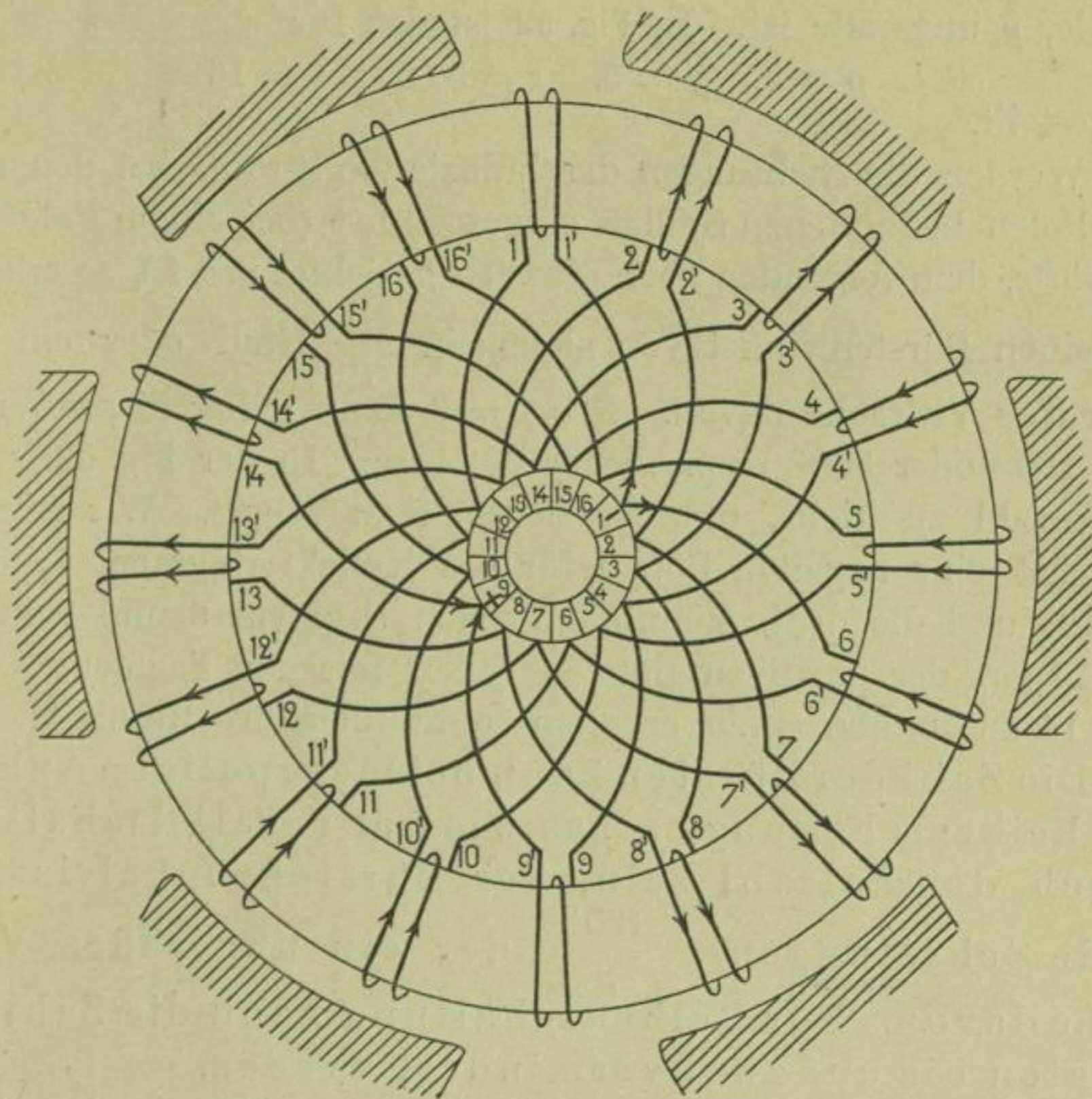


Fig. 52.

In dem einen Ankerstromkreise liegen 7, im zweiten 6 Spulen. Diese Ungleichheit ist eine Folge der ungeraden Spulenzahl; bei genügend großer Spulenzahl, wie sie für praktische Ausführungen gewählt wird, ist jedoch der Einfluss dieser Ungleichheit ohne Bedeutung, sie hat nur die Wirkung, dass der Kurzschluss von je  $p$  Armaturspulen durch die negative und die positive Bürste nicht gleichzeitig, sondern nacheinander erfolgt.

Ist z. B.  $s = k = 51$  und  $p = 2$ , so liegen zwischen den Bürsten  $\frac{k}{2 \cdot p} = \frac{51}{4} = 12\frac{3}{4}$  Kollektorsegmente, d. h. wenn z. B. die negative Bürste in der Mitte des Segmentes 1 aufliegt, so berührt die positive Bürste die Segmente 13 und 14 und schließt  $p = 2$  Armaturspulen kurz.

Die Schaltung von Perry läßt sich auch für eine gerade Spulenzahl ausführen, wenn, wie schon früher festgestellt wurde,  $p$  ungerade ist. In Fig. 52 ist das für

$$p = 3, \quad y = 5, \quad s = 3 \cdot 5 + 1 = 16$$

dargestellt.

Werden die Richtungen der induzierten Ströme bei den unter den Polen befindlichen Spulen eingezeichnet (bei einem Pole nach auswärts, dem folgenden nach einwärts gerichtet u. s. f.), so erhalten wir einen Bürstenwinkel von allgemein  $\frac{180}{p}$  Grad oder ein ungerades Vielfache davon. Für  $p = 3$  kann daher dieser Winkel  $60^\circ$ ,  $180^\circ$  oder  $300^\circ$  resp. wieder  $60^\circ$  sein. In der Fig. 52 ist die Spulenzahl zu klein, um das deutlich zu zeigen. Wir erhalten zunächst eine negative Bürste für das Kollektorsegment 1, dann für 12, und die dritte könnte zwischen Segment 6 und 7 liegen. Die Lagen der positiven Bürsten fallen mit den Segmenten 4, 9 und 14 zusammen. Wir erhalten somit folgendes Resultat:

Die Zahl der Bürsten kann bei mehrpoligen Ankern mit Reihenschaltung ebenso wie bei Parallelschaltung gleich der Polzahl sein, der Bürstenwinkel ist für beide Schaltungen  $= \frac{180^\circ}{p}$  oder ein ungerades Vielfache davon. Für Reihenschaltung kann die Zahl der Bürsten bis auf zwei vermindert werden.

In Fig. 52 sind nur zwei Bürsten unter  $180^\circ$  angenommen worden, für diese Stellung enthalten die zwei Ankerstromkreise bei gerader Spulenzahl stets gleich viel Spulen.

In gewissen Fällen, z. B. bei Anwendung von Kohlenbürsten, welche eine große Kontaktfläche erfordern, oder wenn die pro Bürste zu kommutierende Stromstärke zu groß wird, kann eine Vermehrung der Bürstenzahl zweckmäßig sein.

Zum Entwerfe von Ringwicklungen mit Serienschaltung ist folgende Tabelle, welche für verschiedene Polzahlen die möglichen Spulenzahlen und Wicklungsschritte enthält, dienlich.

## Ringwicklung mit Reihenschaltung.

4 Pole		6 Pole		8 Pole	
Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$	Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$	Spulenzahl $s =$	Schritt $y =$
61	30 oder 31	68 und 70	23	87 und 89	22
63	31 › 32	71 › 73	24	91 › 93	23
65	32 › 33	74 › 76	25	95 › 97	24
67	33 › 34	77 › 79	26	99 › 101	25
69	34 › 35	80 › 82	27	103 › 105	26
71	35 › 36	83 › 85	28	107 › 109	27
73	36 › 37	86 › 88	29	111 › 113	28
75	37 › 38	89 › 91	30	115 › 117	29
77	38 › 39	92 › 94	31	119 › 121	30
79	39 › 40	95 › 97	32	123 › 125	31
81	40 › 41	98 › 100	33	127 › 129	32
83	41 › 42	101 › 103	34	131 › 133	33
85	42 › 43	104 › 106	35	135 › 137	34
87	43 › 44	107 › 109	36	139 › 141	35
89	44 › 45	110 › 112	37	143 › 145	36
91	45 › 46	113 › 115	38	147 › 149	37
93	46 › 47	116 › 118	39	151 › 153	38
95	47 › 48	119 › 121	40	155 › 157	39
97	48 › 49	122 › 124	41	159 › 161	40
99	49 › 50	125 › 127	42	163 › 165	41
101	50 › 51	128 › 130	43	167 › 169	42

u. s. f.

Die Aufzeichnung eines Wicklungsschemas mit grosser Spulenzahl ist zeitraubend und gewährt nicht die nötige Übersichtlichkeit. In der Praxis begnügt man sich daher mit dem Entwurfe eines Teiles der Wicklung, und gibt ausserdem noch die gesamte Spulenzahl, die Drahtzahl und den Schritt der Wicklung an. Bezüglich der Angabe des Schrittes darf man sich vollständig auf die angegebene Formel verlassen, will man aber trotzdem eine Kontrolle ausüben, so entwirft man eine Wicklungstabelle.

Als Beispiel wählen wir aus obiger Tabelle die 6-polige Wicklung mit

$$s = 110, \quad y = 37$$

und gehen von der Spule 1 aus, je um den Schritt 37 weiter-

zählend. — Zu 1 dürfen wir erst wieder gelangen, nachdem jede Zahl zwischen 1 und 110 einmal erhalten worden ist.

Wicklungstabelle für  $s = 110$ ,  $y = 37$ ,  $p = 3$

— 1	6	11	16	21	26	31	36
38	43	48	53	58	63	68	73
75	80	85	90	95	100	105	110
2	7	12	17	22	27	32	37
39	44	49	54	59	64	69	74
76	81	86	91	96	101	106	— 1
3	8	13	18	23	28	33	
40	45	50	55	60	65	70	
77	82	87	92	97	102	107	
4	9	14	19	24	29	34	
41	46	51	+ 56	61	66	71	
78	83	88	93	98	103	108	
5	10	15	20	25	30	35	
42	47	52	57	62	67	72	
79	84	89	94	99	104	109	

Der Spannungsunterschied zwischen benachbarten Spulen läßt sich auf einfache Art ermitteln.

Bezeichnet  $e_s$  die pro Spule induzierte Spannung, so ist die gesuchte Spannungsdifferenz für Ringwicklung mit Reihenschaltung allgemein

$$= p \cdot e_s,$$

denn gehen wir in Fig. 52 von der Spule 1 aus, so müssen die drei Spulen 6, 11, 16 (da  $p = 3$ ) durchlaufen werden, um wieder in die Nachbarschaft von 1 zu gelangen.

**Ringanker mit Reihenschaltung von dem Verfasser.** Die Zahl der Spulen, welche von einer Bürste gleichzeitig kurz geschlossen werden, ist in Fig. 51 und Fig. 52 gleich  $p$ . In der letzteren Figur werden somit durch beide Bürsten gleichzeitig sechs Spulen aus dem Stromkreise ausgeschaltet. Will man unter solchen Umständen einen konstanten Strom erzeugen und Funkenbildung am Kollektor vermeiden, so muß die Zahl der Kollektorsegmente und daher auch die Zahl der Armaturspulen möglichst groß gewählt werden.

Einen Ringanker mit Reihenschaltung wird man im allgemeinen nur für die Erzeugung von Spannungen anwenden, welche etwa über 500 Volt liegen. In solchen Fällen ist es für die Herstellung



und Isolation der Spulen gegen einander wichtig, eine möglichst geringe Spulenzahl zu haben. Durch eine besondere Art der Wicklung ist es nun möglich, in den oben angegebenen Schaltungs-schemata die Kollektorsegmentzahl beizubehalten und die Spulenzahl auf das  $\frac{1}{p}$ -fache zu vermindern, oder, was dasselbe ist, die Segmentzahl kann das  $p$ -fache der Spulenzahl sein.

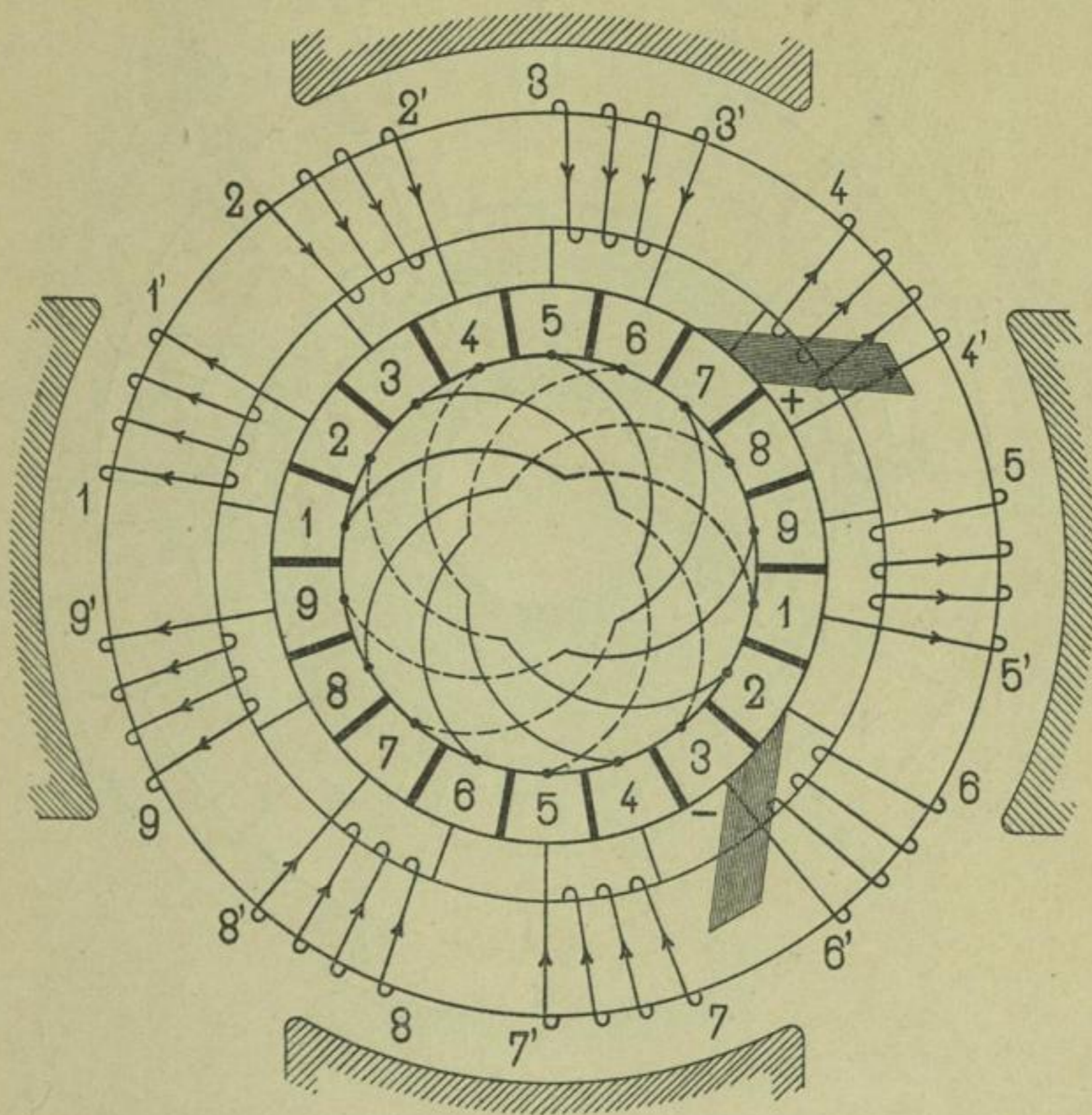


Fig. 53.

Ist  $k = p \cdot s$ ,

so wird jede Bürste gleichzeitig nur  $\frac{p \cdot s}{k} = \frac{p \cdot s}{p \cdot s} = 1$  Spule kurz schließen, die Windungszahl dieser Spule kann daher  $p$  mal so groß sein, als wenn gleichzeitig  $p$  Spulen kurz geschlossen werden.

In der Fig. 53 ist ein vierpoliges und in Fig. 54 ein sechspoliges Schema mit  $p \cdot s$  Kollektorsegmenten aufgezeichnet. Die Zahl der Spulen ist auch hier allgemein

$$s = p \cdot y \pm 1$$

Je  $p$  Kollektorsegmente, welche um einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad voneinander abstehen, sind leitend miteinander verbunden.

Der Fig. 53 entspricht

$$p = 2, \quad s = 9, \quad y = 5, \quad k = 18.$$

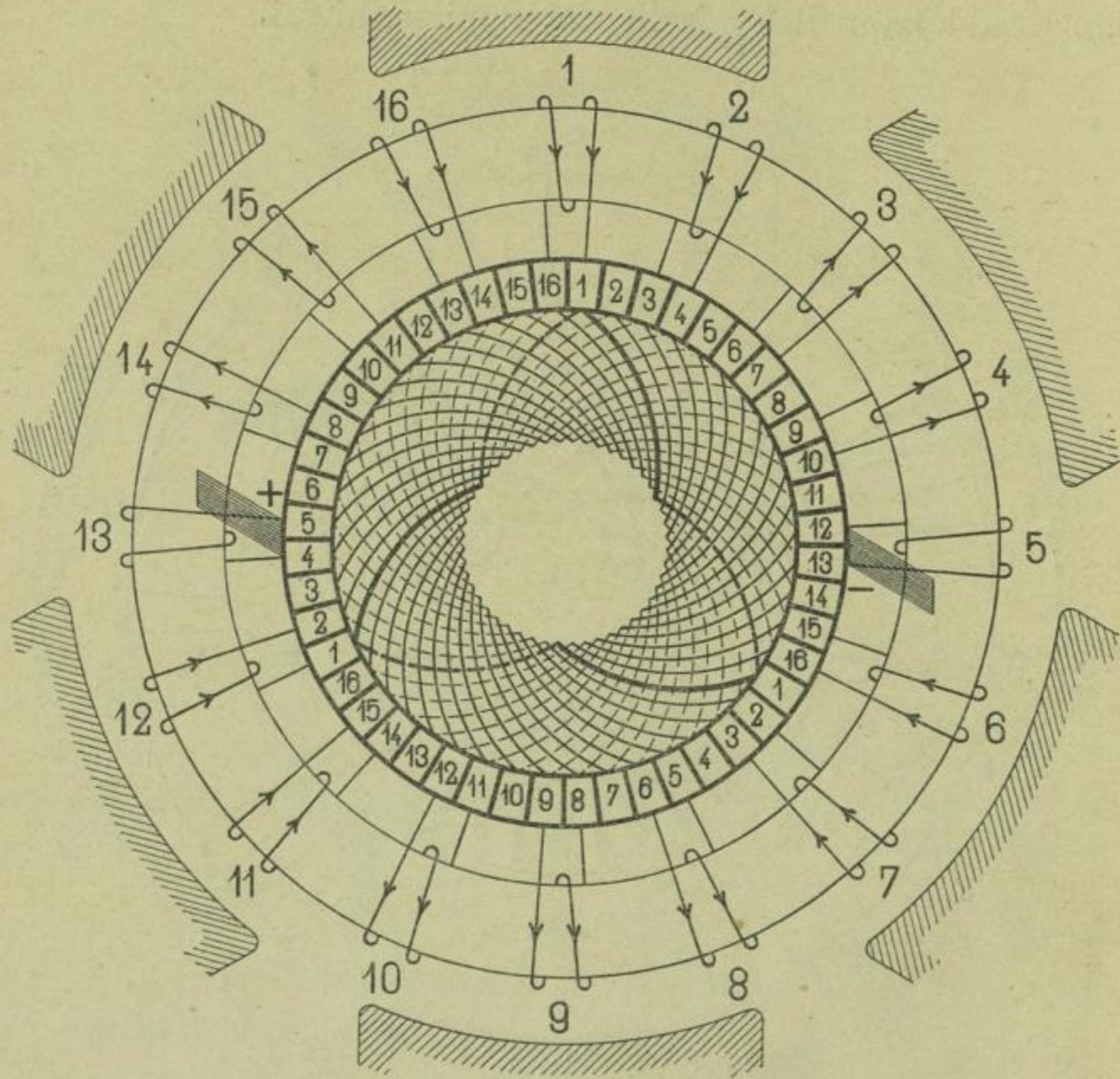


Fig. 54.

Nach der allgemeinen Schaltungsregel ist  $1'$  mit  $1 + 5 = 6$  und  $6'$  mit  $6' + 5 = 9 + 2$ , also mit 2 zu verbinden u. s. f.

In der Fig. 54 ist

$$p = 3, \quad s = 16, \quad y = 5, \quad k = 48 \text{ gewählt.}$$

Um den Stromlauf leichter verfolgen zu können, sind in beiden Figuren diejenigen Kollektorsegmente, welche leitend verbunden sind, mit gleichen Nummern bezeichnet.

Die Querverbindungen der Kollektorteile sind in das Innere des Kollektors verlegt, dieselben lassen sich aus Kupferblechgabeln

herstellen. Ein ausgezogener Strich bedeutet den vorderen, ein punktierter Strich den hinteren Schenkel einer solchen Gabel, welche in zwei Ebenen angeordnet sind und sich so gut isolieren lassen.

Die äußeren Verbindungen der Spulen mit dem Kollektor sind nun ebenso einfach wie bei der gewöhnlichen Parallelschaltung nach Fig. 35, und die Spulen können ebenso leicht wie dort ausgewechselt werden.

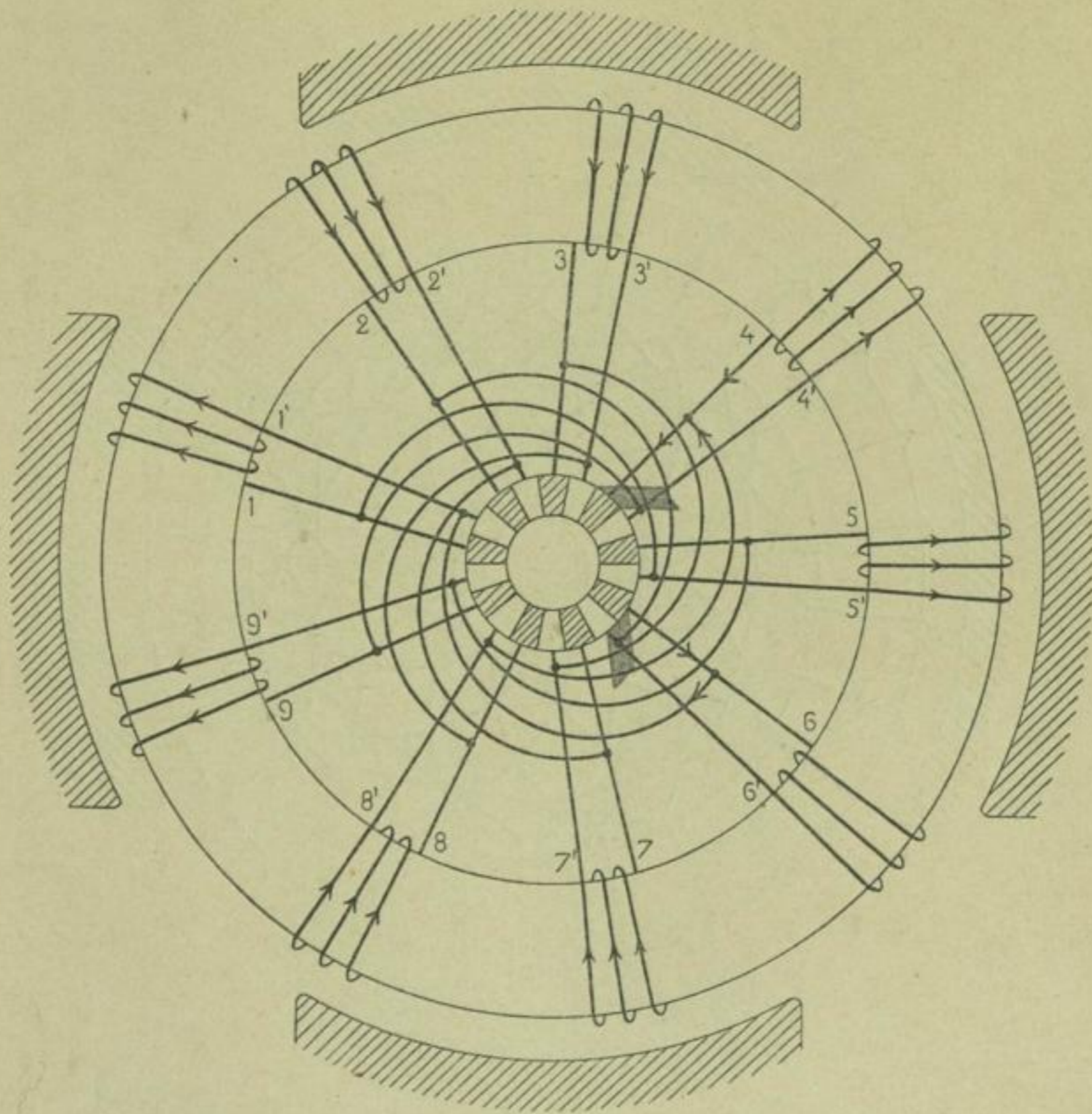


Fig. 55.

Die hier gebrauchte Vermehrung der Kollektorlamellenzahl ist bei dem Trommelanker von Alioth & Co. (vergleiche Fig. 59) zuerst angewendet worden.

Die Schaltung der Fig. 53 ist in Fig. 55 nochmals dargestellt, nur sind hier die Querverbindungen der Lamellen außerhalb des Kollektors. Die eingeschobenen Segmente sind schraffiert, läßt man dieselben weg, so erhält man die Wicklung von Perry.

**Ringanker mit Reihenschaltung nach dem Trommelschema.** Sollte es wünschenswert erscheinen, so läßt sich die Zahl der Kollektor-segmente auch vermindern, indem wir das Schema des Trommelankers auf den Ring anwenden.

Ist die Spulenzahl

$$s = 2(p\gamma \pm 1),$$

so läßt sich die Schaltung so ausführen, daß

$$k = \frac{s}{2}.$$

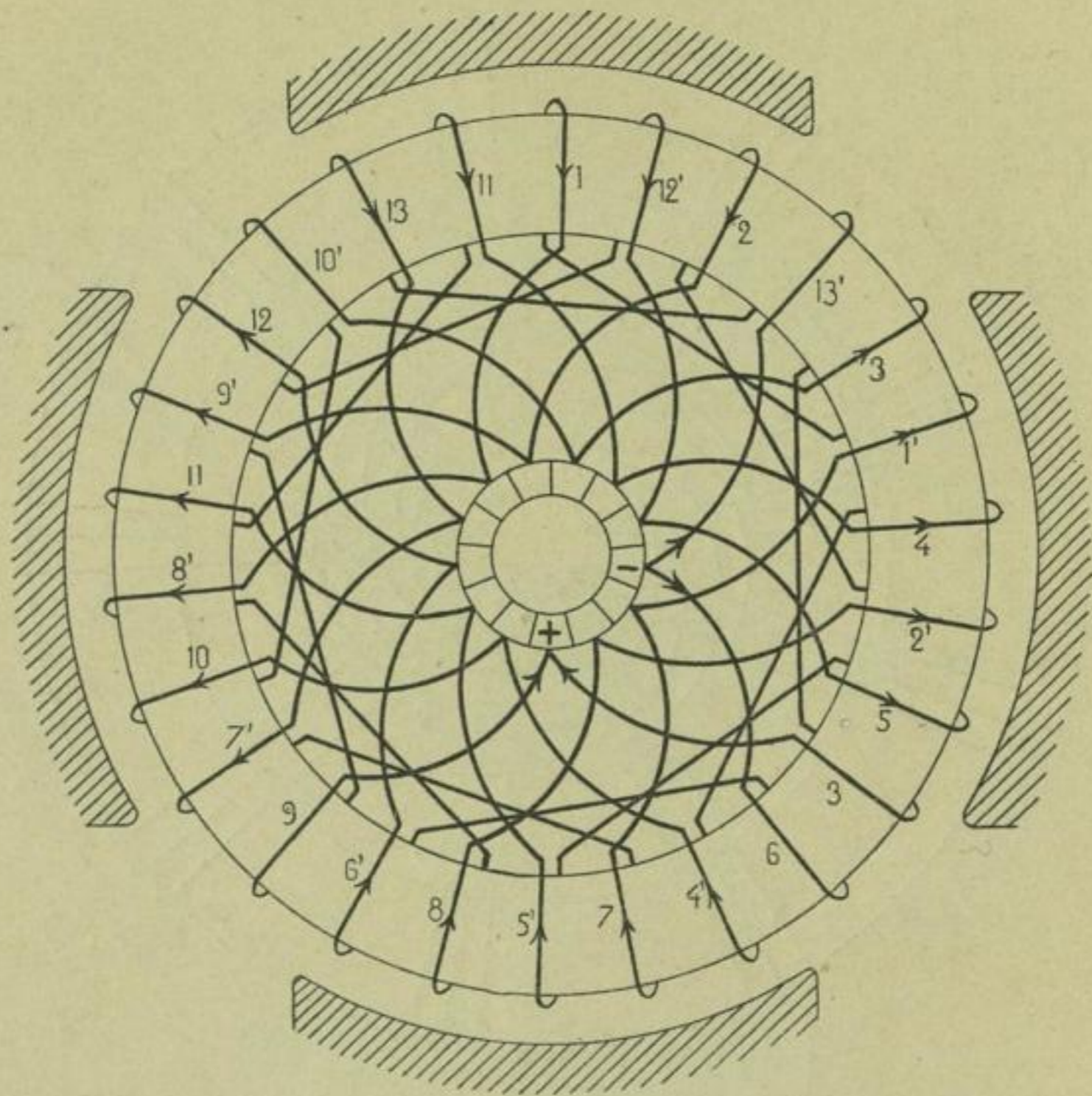


Fig. 56.

In Fig. 56 ist diese Bewicklungsmethode für  $p = 2$ ,  $s = 2 \cdot 13$ ,  $k = 13$  und  $\gamma = 6$  dargestellt. Die paarweise zusammengehörigen Spulen sind mit gleichen Nummern bezeichnet und die Verbindungen nach der allgemeinen Schaltungsregel durchgeführt.

**Reihenschaltung für Ringanker mit Doppelspulen.** Anstatt die Spulen, welche in Fig. 56 zu einem Paare vereinigt sind, in magnetische Felder von entgegengesetzter Polarität zu legen, können auch nebeneinander liegende Spulen zu einer Doppelspule

verbunden werden. Die Zahl der Kollektorsegmente wird dann gleich der Zahl der Doppelpulen. Bezeichnet  $\frac{s}{2}$  die Zahl der letzteren, so ist

$$\frac{s}{2} = p y \pm 1, \quad k = \frac{s}{2}$$

In Fig. 57 ist

$$p = 2, \quad y = 5, \quad \frac{s}{2} = 9.$$

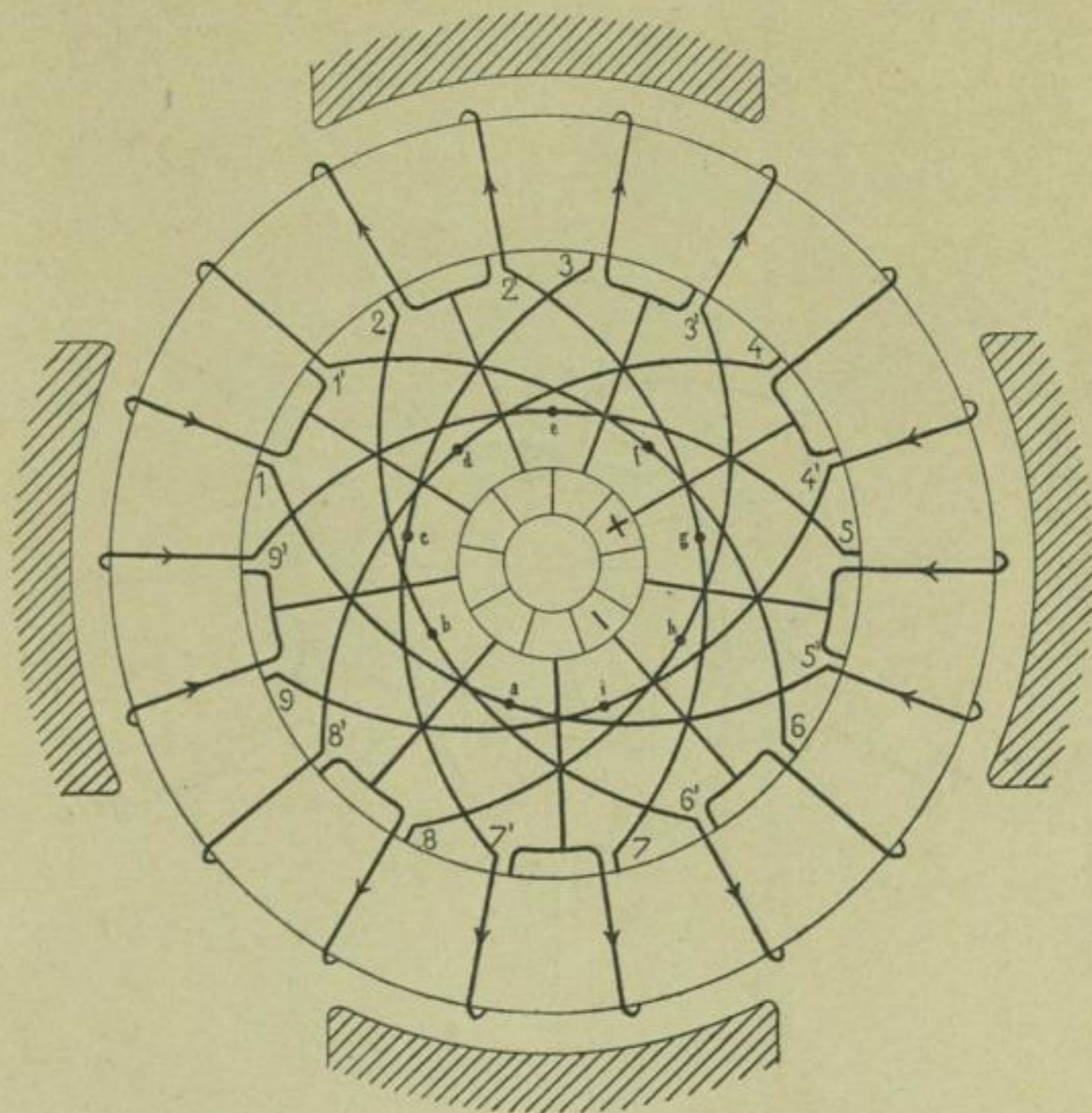


Fig. 57.

Anfang und Ende eines jeden Spulenpaares sind mit gleichen Zahlen bezeichnet.

Um eine Reihenschaltung zu erhalten, verbinden wir nach der allgemeinen Schaltungsregel 1' mit 6, 6' mit 2 u. s. f. und führen von jeder Verbindungsstelle eines Spulenpaares eine Abzweigung nach dem Kollektor. Schließt man dagegen die Querverbindungen, bezüglich die Punkte *a, b, c, d, e, f, g, h, i* an den Kollektor, so entsteht ein mit der Perry'schen Wicklung übereinstimmendes Schema.

Die obige Wicklungsmethode läßt sich auch dann durchführen, wenn die Spulenzahl ein Vielfaches der Polzahl ist, jedoch wird die Wicklung nicht mehr wie in Fig. 57 symmetrisch, sondern unsymmetrisch, wie Fig. 58 darstellt.

Die Zahl der Kollektorsegmente wird  $k = p \cdot y \pm 1$ . Im ganzen sind 12 Spulen vorhanden, 10 derselben sind als 5 Paare und die zwei übrig gebliebenen einzeln eingeschaltet, so daß 7 Kollektorteile erforderlich sind; daher  $y = 4$ .

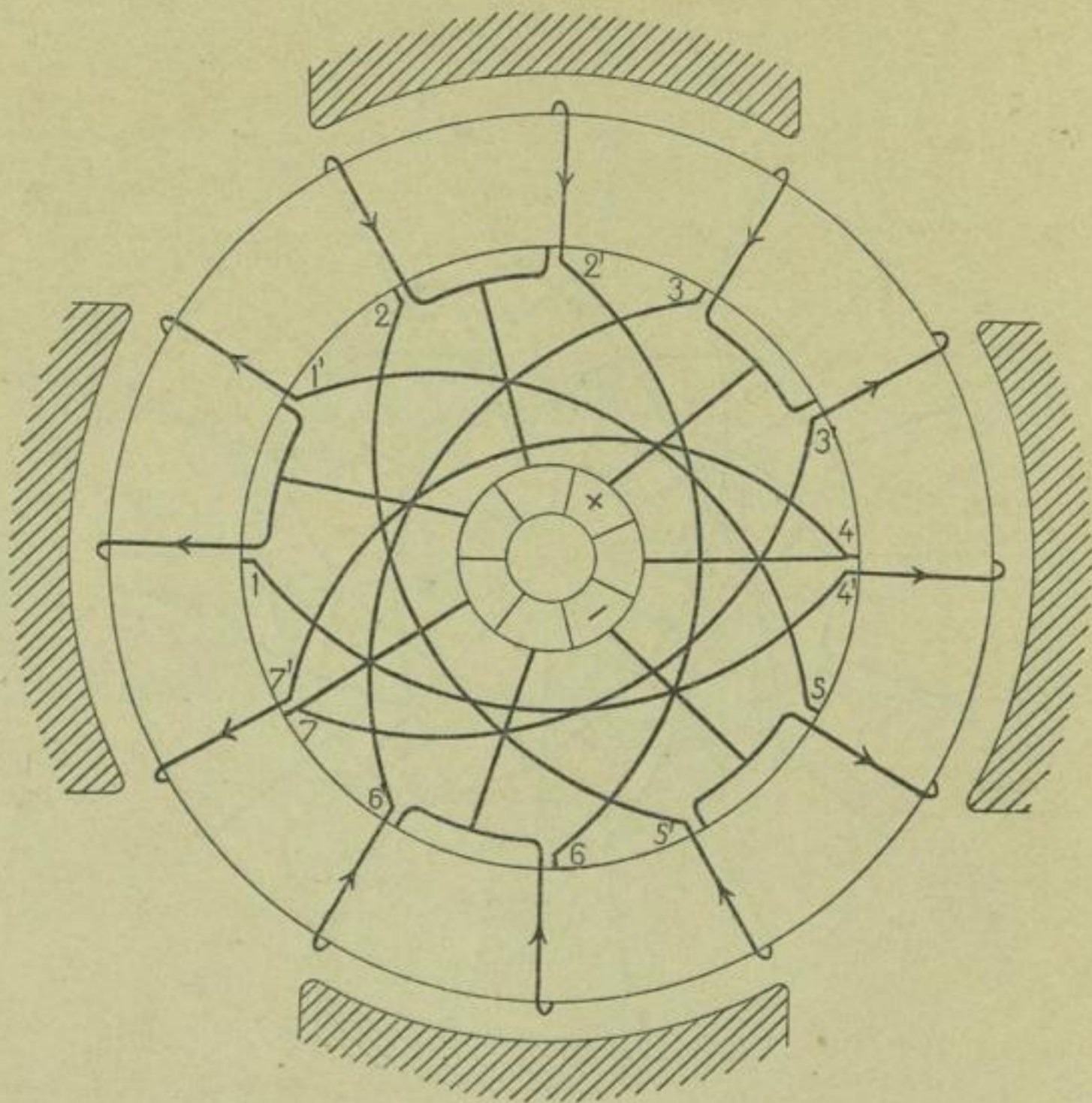


Fig. 58.

Die Spulenzahl, welche in Fig. 57 durch eine Bürste gleichzeitig zum Kurzschluß gelangt, ist

$$= \frac{p \cdot s}{k} = 2 \cdot p = 4.$$

Diese Zahl läßt sich für eine beliebige Polzahl auf 2 herabmindern, wenn wir nach der in Fig. 45 und Fig. 53 angegebenen Methode verfahren und die Zahl der Kollektorteile  $k = \frac{p \cdot s}{2}$  wählen.

Ein unter diesen Bedingungen entworfenes Schema<sup>1)</sup> ist in Fig. 59 aufgezeichnet.

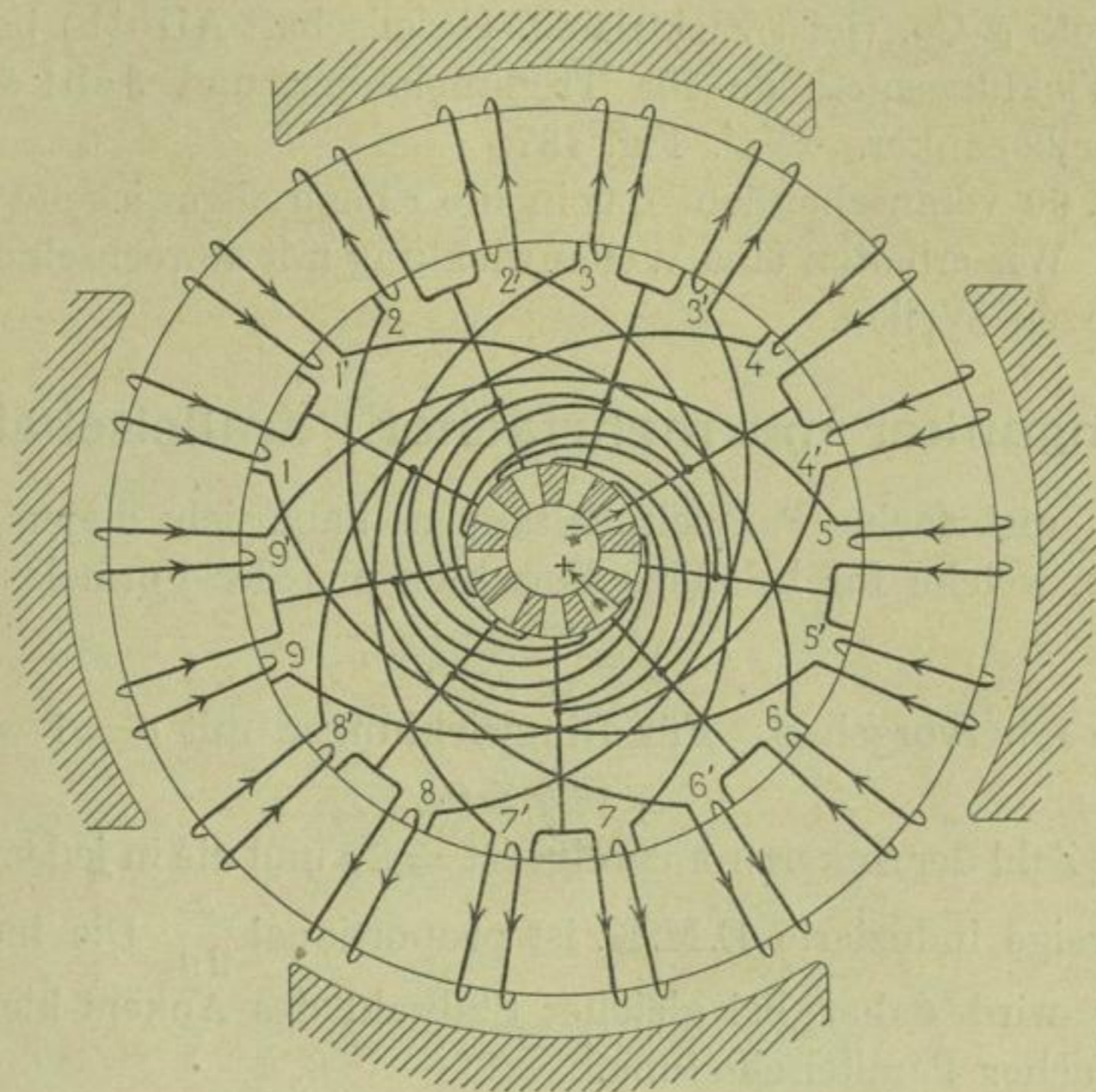


Fig. 59.

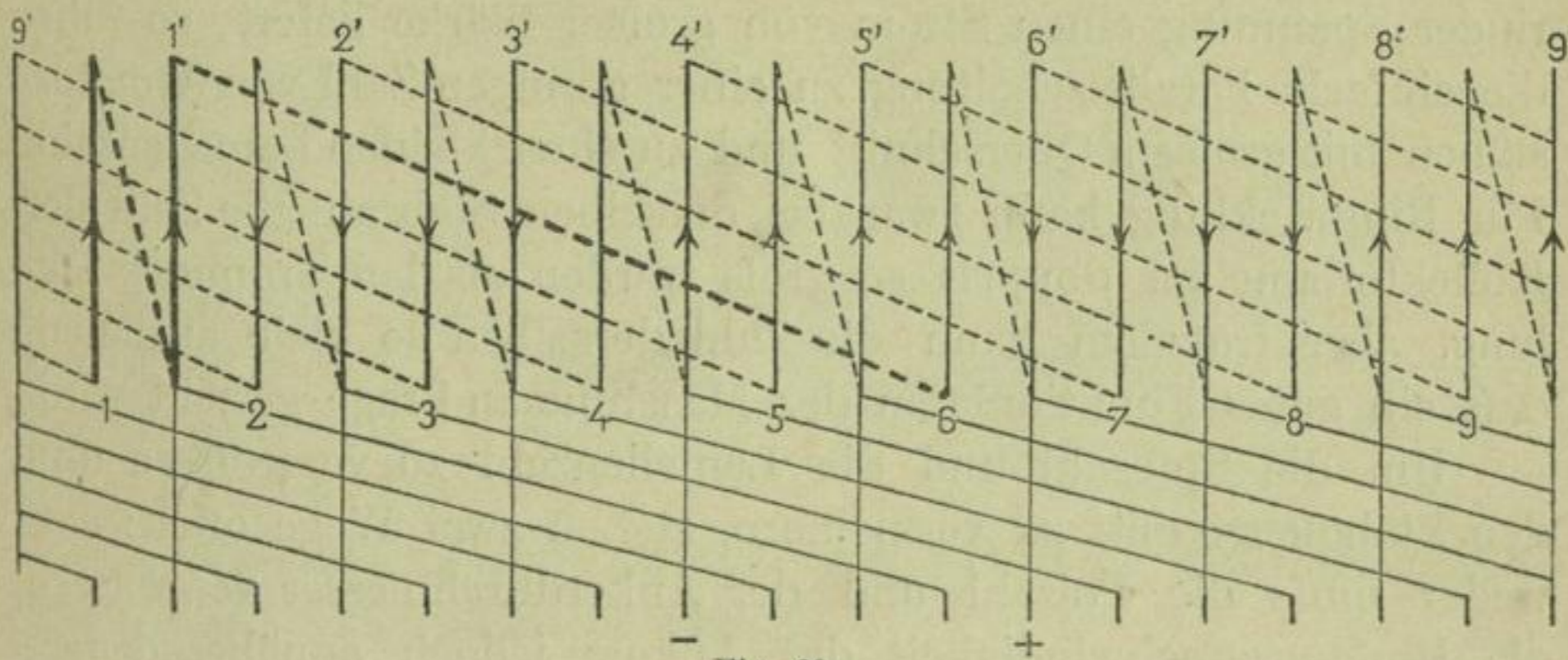


Fig. 60.

Es ist  $p = 2, s = 18, c = 2$

$$\text{und } y = \frac{1}{2} \left( \frac{18}{2} - 1 \right) = 4,$$

1 ist mit 5' zu verbinden (oder 1' mit 5).

<sup>1)</sup> La Lum. électr. T. 24 p. 515.

Läfst man die schraffierten Kollektorteile fort, so entsteht wiederum das Schema Fig. 57.

Alioth & Co. (jetzt Elektrizitäts-Gesellschaft Alioth) benutzten diese Wicklungsmethode für Trommelanker und Jehl & Rupp für Scheibenanker. (Vgl. Fig. 137.)

Fig. 60 veranschaulicht das in die Ebene abgewickelte Schema Fig. 59. Wir erhalten eine Wellenwicklung mit abwechselnd langen und kurzen Wellen.

#### 4. Ringanker mit mehrfacher Parallelschaltung.

Als mehrfache Parallelschaltungen habe ich diejenigen bezeichnet, welche für beliebige Polzahlen aus der Formel

$$y = \frac{s}{c} \pm a$$

für  $a > 1$  hervorgehen. Für Ringwicklungen mit  $c = 1$  wird

$$y = s \pm a.$$

Die Zahl der Ankerstromzweige ist  $= 2a$  und die in jedem Ankerstromzweige induzierte E. M. K. ist proportional  $\frac{s}{2a}$ . Die induzierte E. M. K. wird daher bei gleicher Stabzahl des Ankers kleiner als bei einfacher Parallelschaltung.

Ist die Aufgabe gestellt einen Anker zu bauen, der bei geringer Spannung einen Strom von großer Stärke liefert, so führt die einfache Parallelschaltung zu einer geringen Zahl von Armaturstäben mit großem Querschnitt und zu einer kleinen Lamellenzahl. Für Ringwicklung kann zwar bei derselben Stabzahl die Zahl der Kollektorlamellen doppelt so groß werden als bei Trommelwicklung, aber trotzdem kann die Zahl derselben so klein ausfallen, daß ein gutes Funktionieren der Maschine in Frage gestellt wird.

Um die Stabzahl und die Lamellenzahl zu vergrößern und den Stabquerschnitt zu verkleinern, stehen zwei Wege offen; entweder muß die Polzahl und der Ankerdurchmesser vergrößert, die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers jedoch annähernd beibehalten werden, oder der Anker wird mit einer Wicklung von mehrfacher Parallelschaltung versehen. —

In Fig. 61 ist zunächst eine Wicklung für

$$p = 1, \quad s = 18, \quad a = 2$$

$$y = 18 \pm 2 = \begin{cases} 20 \\ 16 \end{cases}$$



gezeichnet. Die Enden der Spule 1 sind mit  $1 + 20 = 18 + 3$  d. h. mit 3 und mit  $1 + 16 = 17$  zu verbinden. Da  $y$ ,  $s$  und  $a$  den gemeinschaftlichen Teiler 2 haben, so entstehen zwei ganz unabhängige Wicklungen, die schraffierten Lamellen gehören der einen und die nicht schraffierten der andern Wicklung an. Damit keine Stromunterbrechung in diesen Wicklungen eintritt und der

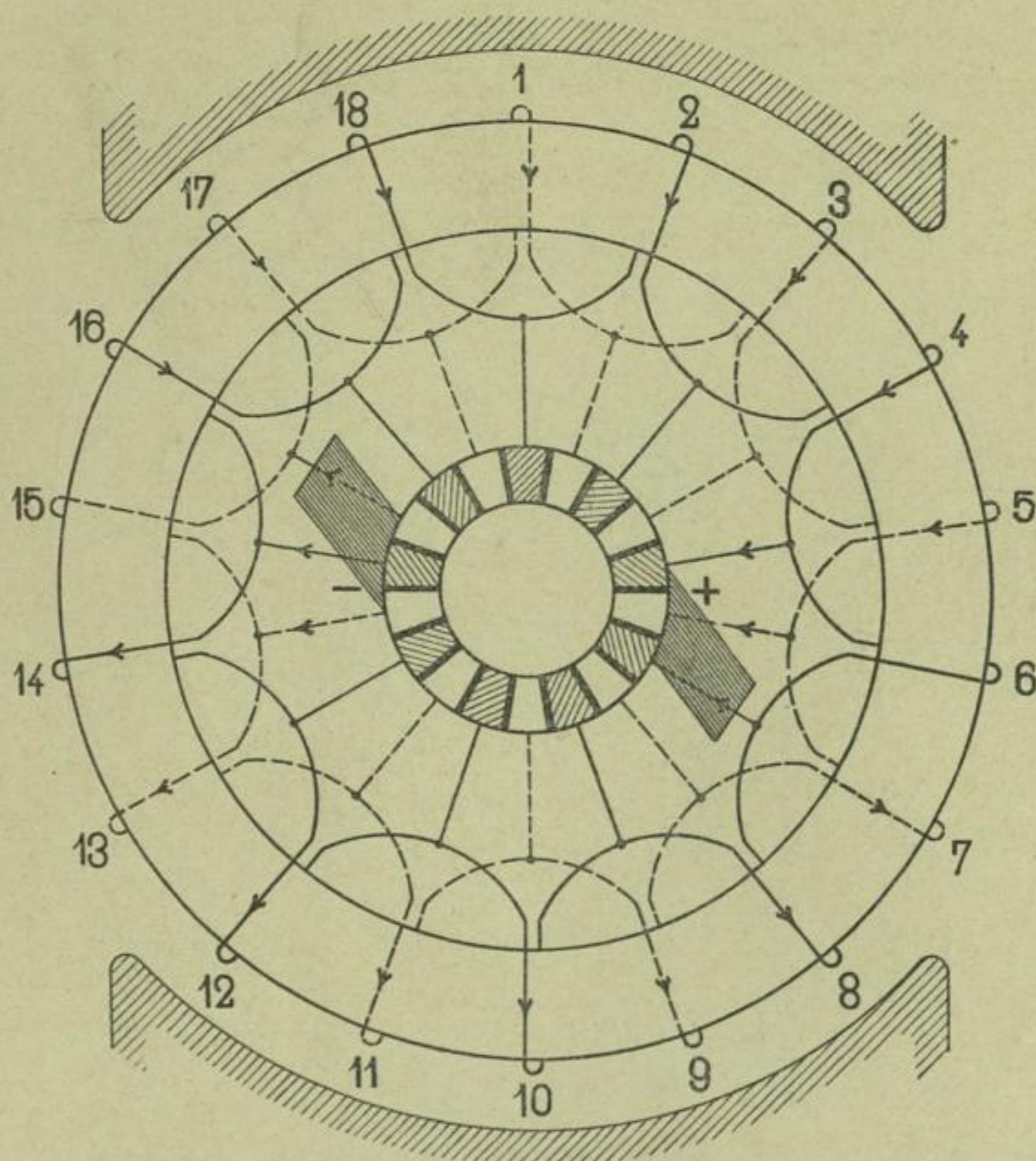


Fig. 61.

Kurzschluss der neutralen Spulen erfolgen kann, muß eine Bürste zeitweise drei Lamellen berühren.

In der Figur ist von jeder Wicklung eine Spule kurz geschlossen und zwar die Spulen 6 und 15. Diese Symmetrie ist nur dann vorhanden, wenn die Spulenzahl jeder selbständigen Wicklung so gewählt wird, daß  $s:p$  ungerade ist.

Einen Anker mit zwei unabhängigen Wicklungen hat Weston im D.R.P. Nr. 21184 vom 21. März 1882 zuerst beschrieben. Er beabsichtigte durch diese Anordnung die Ströme, welche durch

ungenügende Isolation benachbarter Lamellen (die nun verschiedenen Stromkreisen angehören) entstehen können, zu unterdrücken.

Es wäre möglich, zwei Lamellen zu einer zu vereinigen, jede Bürste würde aber in dem Falle 3 Spulen kurzschliessen.

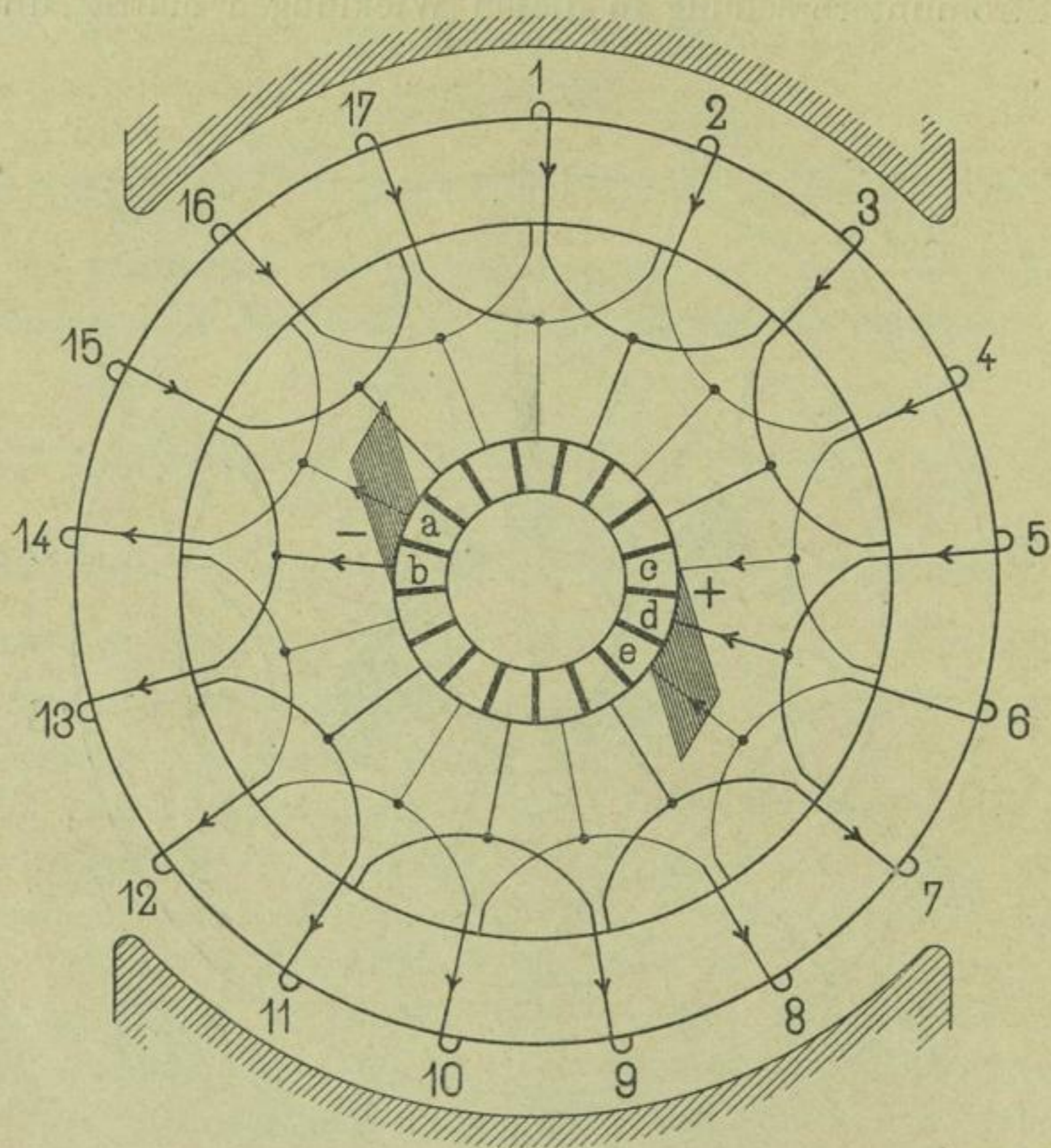


Fig. 62.

Ein Beispiel einer einfach geschlossenen Wicklung mit mehrfacher Parallelschaltung liefern die Annahmen

$$p = 1, \quad s = 17, \quad a = 2,$$

es wird

$$y = 17 \pm 2 = \begin{cases} 19 \\ 15 \end{cases}$$

Das Ende der Spule 1 ist mit dem Anfange von  $1 + 15 = 16$  zu verbinden und auch 1 mit  $1 + 19 = 17 + 3$ , d. h. mit Spule 3. (Fig. 62.)

Wir erhalten eine eigentümliche, einfach geschlossene Wicklung mit sich kreuzenden Verbindungen und die vier Ankerstromkreise

$$- \left\{ \begin{array}{cccccc} a & 16 & 1 & 3 & 5 & d \\ a & 14 & 12 & 10 & 8 & e \\ b & 15 & 17 & 2 & 4 & c \\ b & 13 & 11 & 9 & 7 & d \end{array} \right\} +$$

Die Spule 6 ist kurz geschlossen, und zwar nur so lange als die Bürste die drei Lamellen *cde* berührt.

Diese Wicklung ist für die Erzeugung von großen Stromstärken bei geringen Spannungen sehr gut geeignet, und zwar besser als eine solche mit zwei unabhängigen Wicklungen, weil hier keine Ungleichheiten auftreten können, denn jede Spule durchläuft der Reihe nach alle vier Stromzweige des Ankers. —

Die besprochenen Wicklungen sind in derselben Gestalt für mehrpolige Maschinen anwendbar, man hat nur die Bürstenzahl entsprechend der Polzahl zu vermehren.

### 5. Ringanker mit Reihen-Parallelschaltung.

Eine beliebige Vervielfachung der Ankerstromzweige läßt sich auch mit der Wellenwicklung erreichen. In die für Ringwicklung gültige Formeln

$$y = \frac{1}{p} (s \pm a) \text{ und } s = py \pm a$$

haben wir  $a > 1$  einzusetzen. Es entsteht dann entweder eine Wicklung mit  $a$  unabhängigen Reihenwicklungen oder eine einzige in sich geschlossene Wicklung mit  $2a$  Ankerstromzweigen.

Der letztere Fall ist in Fig. 63 dargestellt; es ist

$$p = 2, \quad s = 22, \quad a = 4,$$

$$y = \frac{1}{2} (22 \pm a) = \frac{1}{2} (22 - 4) = 9.$$

Die Bürsten müssen so breit, oder benachbarte Bürsten so gegen einander versetzt sein, daß zeitweise vier Lamellen leitend verbunden werden.

In der Figur erscheint diese Breite wegen der kleinen Spulenzahl unverhältnismäßig groß.

Die Spulen 3, 4, 9, 14, 15 und 20 sind kurz geschlossen, und es bestehen die 8 Ankerstromkreise

<i>a</i> 2 11 <i>d</i>	<i>b</i> 5 18 <i>d</i>
<i>a</i> 1 10 <i>d</i>	<i>b</i> 6 19 <i>d</i>
<i>a</i> 17 8 <i>c</i>	<i>b</i> 12 21 <i>c</i>
<i>a</i> 16 7 <i>c</i>	<i>b</i> 13 22 <i>c</i>

Wählen wir

$$p = 3, \quad s = 31, \quad a = 4,$$

$$y = \frac{1}{3}(31 - 4) = 9,$$

so veranschaulicht Fig. 64 das entsprechende Schema.

Sämtliche Spulen gehören einer einzigen Wicklung an. Von den 8 Bürstenlagen fallen 2 mal 2 derselben mit benachbarten

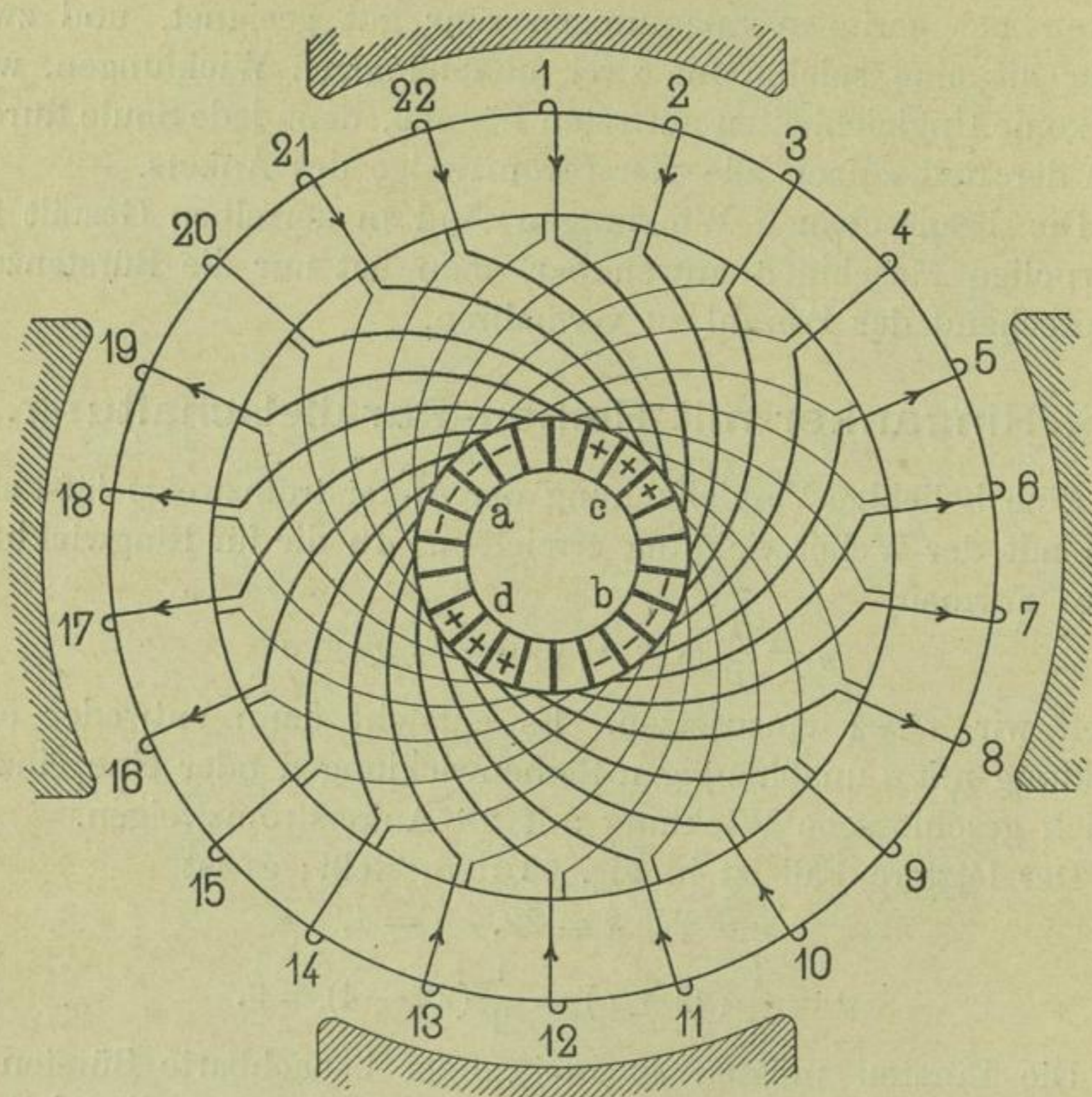


Fig. 63.

Kollektorsegmenten zusammen, so dass 6 Bürsten zur Stromabnahme genügen würden.

Ein interessantes Schema entsteht unter Annahme von  $p = 3$ ,  $a = 4$ ,  $c = 1$ ,  $y = 10$ ,  $s = 34$ , welches durch Fig. 65 dargestellt wird. Dasselbe enthält zwei ganz selbständige Wicklungen für je 17 Spulen mit den Bürstenlagen  $a, c, e, g$  und  $b, d, f, h$ . Die letzteren fallen paarweise zusammen, so dass im ganzen, obwohl die Spulen in 8 Gruppen parallel verbunden sind, nur 4 Bürsten

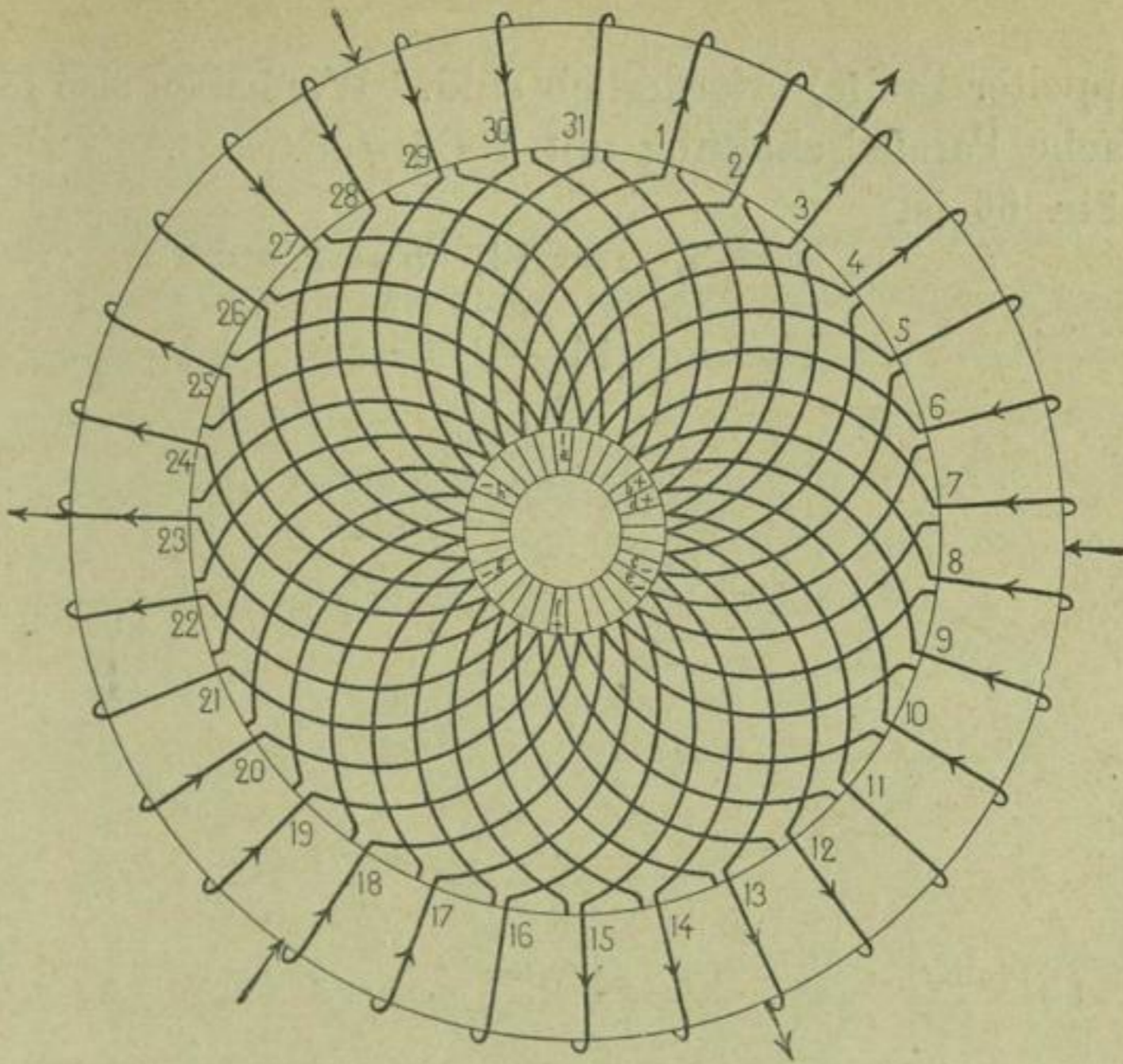


Fig. 64.

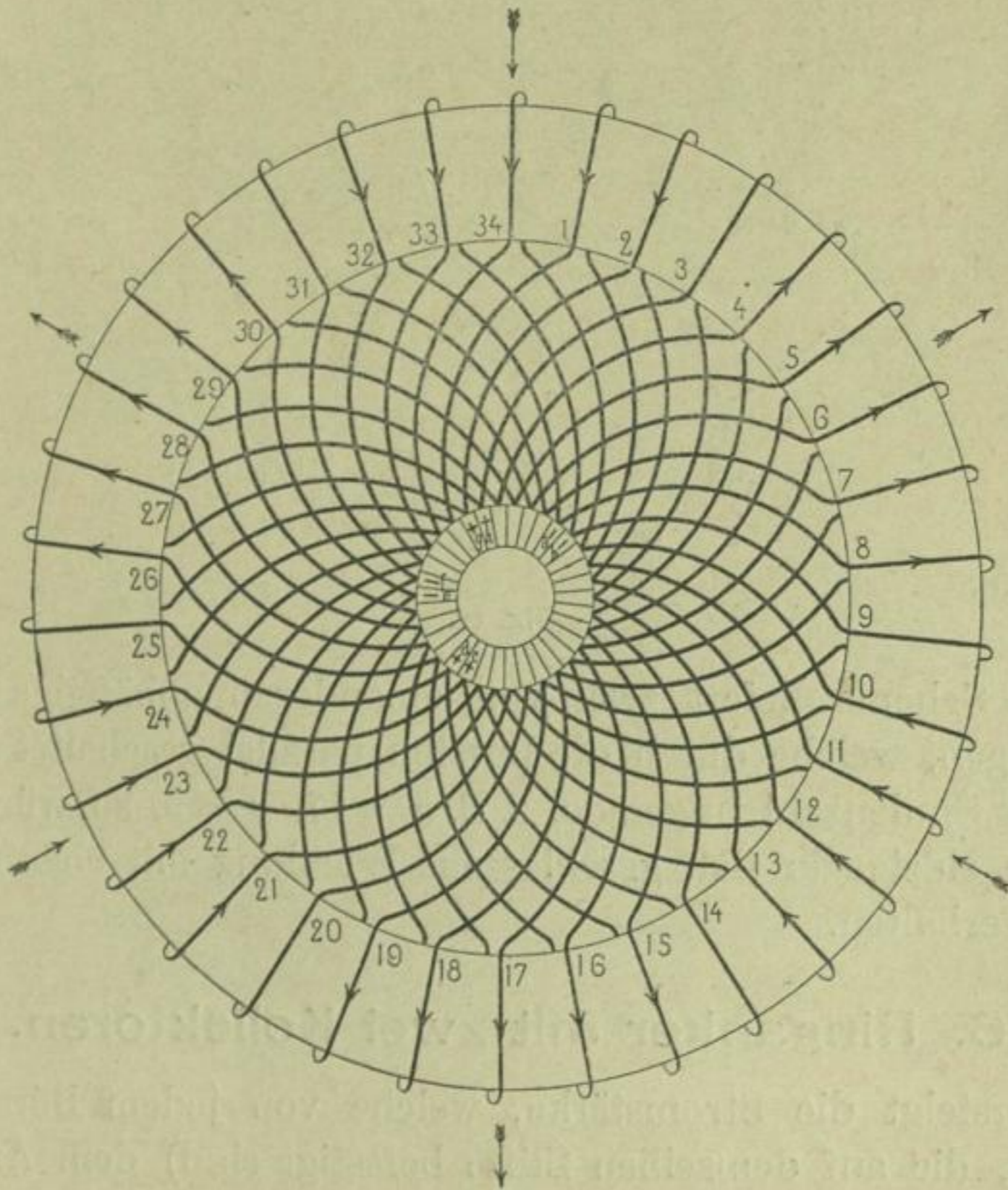


Fig. 65.

(von doppelter Breite) erforderlich sind. Wir haben also für 6 Pole eine 8 fache Parallelschaltung mit 4 Bürsten.

In Fig. 66 ist

$$p = 3, \quad s = 14, \quad a = 2,$$

$$y = \frac{1}{3} (14 - 2) = 4.$$

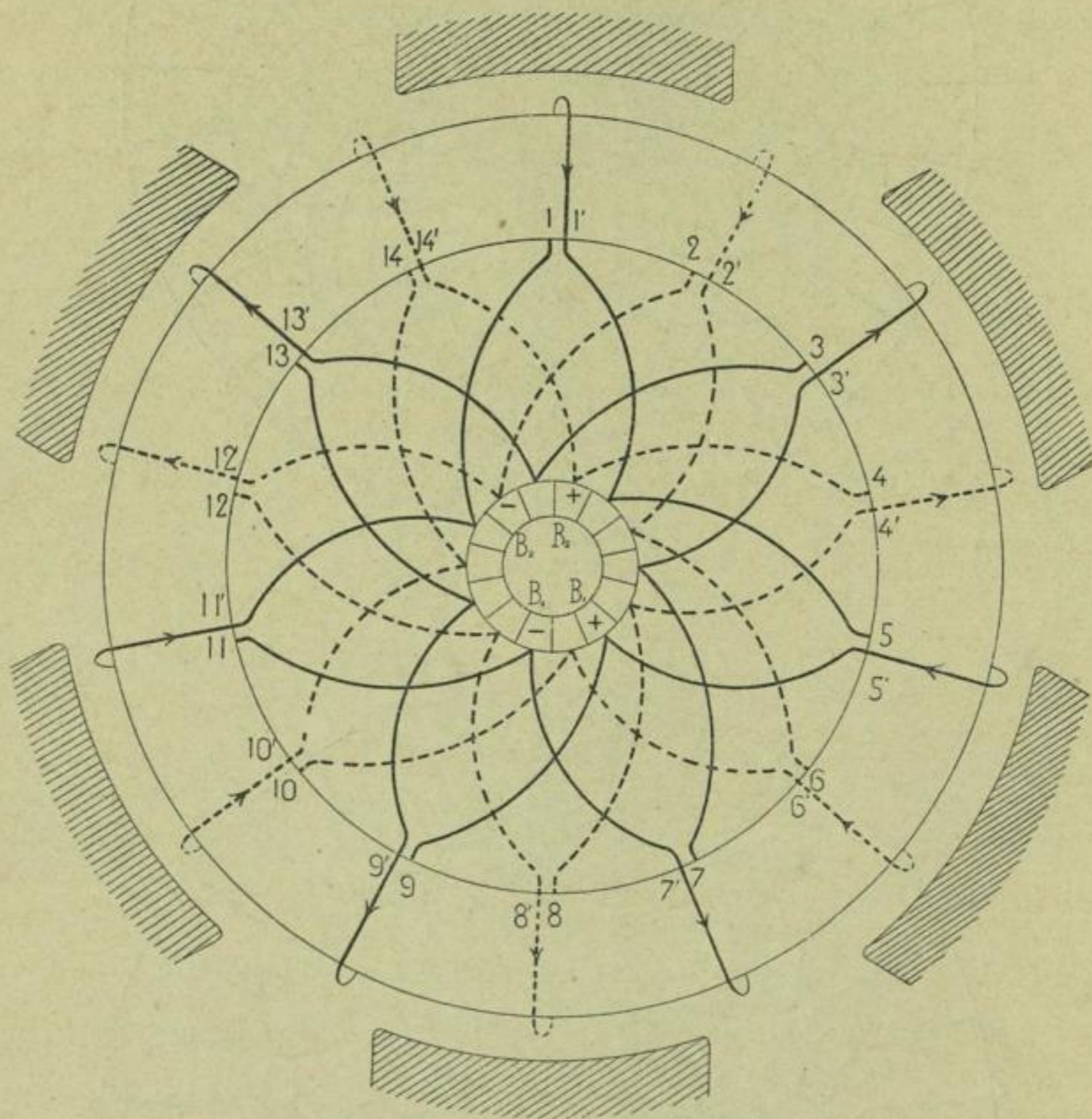


Fig. 66.

Das Schema liefert zwei von einander unabhängige Reihenschaltungen, welche durch die Bürsten parallel geschaltet werden. Wäre die Spulenzahl ungerade, z. B.  $s = 17$ ,  $y = 5$ , so würden wir nur eine einzige in sich geschlossene Wicklung mit ebenfalls vier Bürsten erhalten.

## 6. Ringanker mit zwei Kollektoren.

Übersteigt die Stromstärke, welche von jedem Bürstensatze (Bürsten, die auf demselben Stifte befestigt sind) dem Anker zu-

geführt bzw. entnommen wird, gewisse Grenzen<sup>1)</sup>, so erwärmen sich auch bei genügenden Kontaktflächen und Querschnitten die Kollektorlamellen und Bürsten in unzulässig hohem Grade und eine Funkenbildung ist dann nicht mehr zu vermeiden. — Soll ein Anker für hohe Stromstärken gebaut werden, so hat man die Wahl, entweder die Polzahl so groß zu nehmen, daß die Stromstärke jedes Bürstensatzes die als zulässig angenommene Grenze nicht überschreitet, oder bei geringerer Polzahl zwei Kollektoren anzuordnen. Ist die Tourenzahl vorgeschrieben, so bleibt dem Konstrukteur oft nur das letztere Auskunftsmittel.

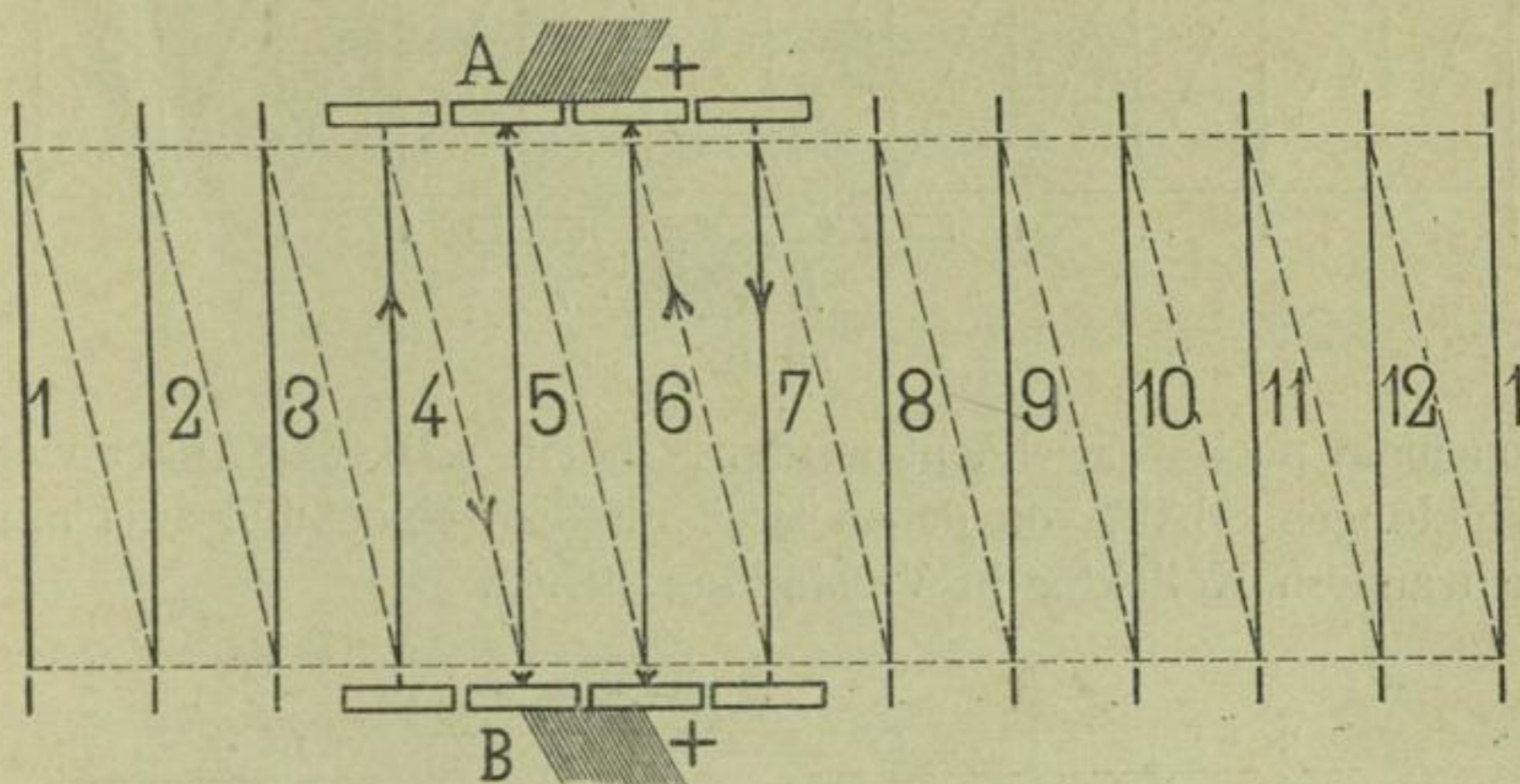


Fig. 67.

Es wird dann auf jeder Seite der Armatur ein Kollektor angebracht. Die Verbindungsarten dieser Kollektoren mit der Wicklung sind in den folgenden Figuren angegeben. Wir bedienen uns hierzu des abgerollten Schemas. —

Fig. 67 veranschaulicht eine einfache Ringwicklung, jeder Armaturstab ist an zwei einander gegenüber liegende Lamellen der Kollektoren angeschlossen. In den gezeichneten Lagen der Bürsten A und B sind die Stäbe 5 und 6 kurz geschlossen.

In Fig. 68 trägt der Anker zwei unabhängige Wicklungen, die eine Wicklung ist an den Kollektor A, die andere an den Kollektor B angeschlossen. In der folgenden Fig. 69 sind ebenfalls zwei unabhängige Wicklungen vorhanden, aber jede Wicklung ist, ebenso wie in Fig. 67, an beide Kollektoren angeschlossen.

<sup>1)</sup> Vergl. Kapitel über Kollektoren im II. Teil.

Es ist klar, dafs auch die geschlossen gemischten Wicklungen und die Wicklungen mit Reihenparallelschaltung mit zwei Kollektoren ausgerüstet werden können, ebenso können die obigen

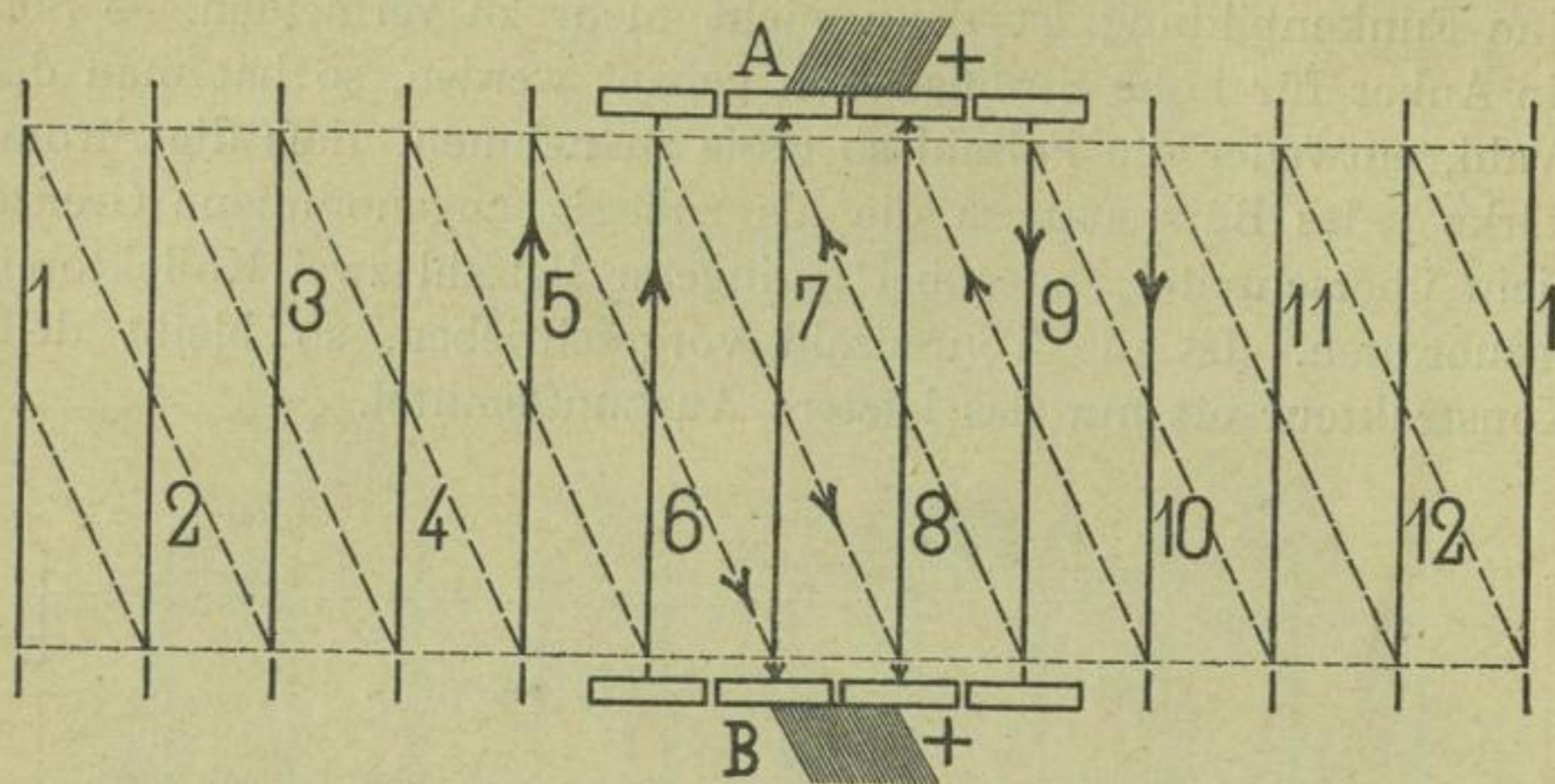


Fig. 68.

Schemata noch vervielfacht werden, indem z. B. der Anker vier Wicklungen erhält, von denen zwei mit dem einen und zwei mit dem andern Kollektor in Verbindung stehen.

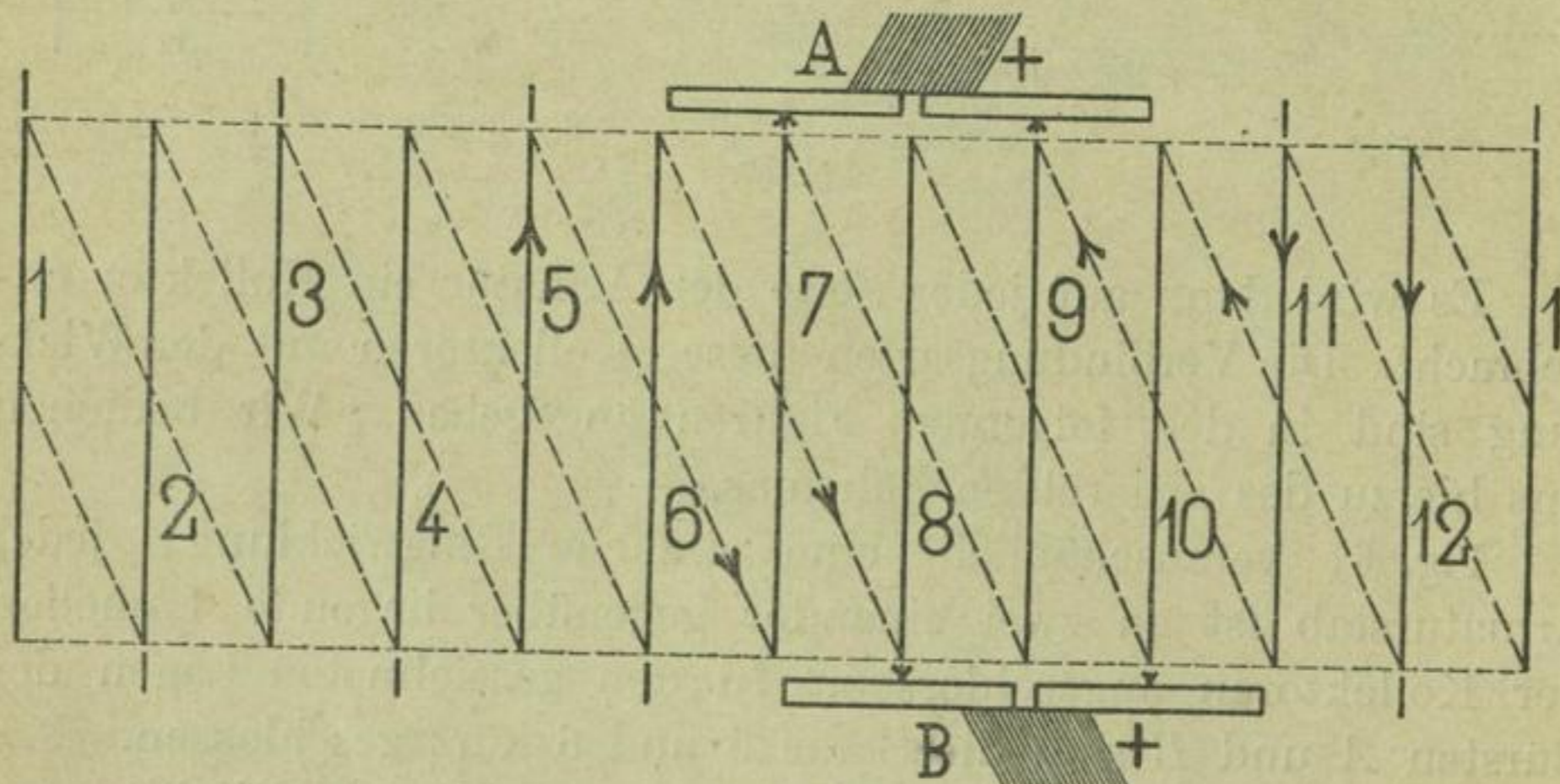


Fig. 69.

Solche Wicklungen mit zwei Kollektoren nach dem Schema Fig. 69 sind von Weston im D.R.P. Nr. 22097 vom 13. Juni 1882 beschrieben, und der Firma Garbe, Lahmeyer & Co. in Aachen ist laut dem D.R.P. Nr. 61476 vom 24. März 1891 dieselbe Wicklung ebenfalls patentiert worden.



# Die Trommelankerwicklungen.

## 1. Zweipolige Trommelanker.

Durch Vervollkommnung des Siemensschen Doppel-T-Induktors mit zweiteiligem Kommutator erfand v. Hefner-Alteneck im Jahre 1872 eine Ankerbewicklung, welche für die Erzeugung eines Gleichstromes ebenso geeignet ist, wie die Ringankerwicklung von Pacinotti-Gramme.

v. Hefner-Alteneck wickelt die Drahtspulen knäuelartig auf eine Trommel parallel zu deren Achse, so daß bei der Rotation im magnetischen Felde je zwei Seiten einer Spule der Induktion ausgesetzt sind. Jeder Spule entspricht ein Kollektorsegment und jedes Segment steht mit zwei Spulen derart in Verbindung, daß alle Spulen eine in sich geschlossene Wicklung bilden, welche durch beide Bürsten in zwei parallel geschaltete Hälften geteilt wird.

Zweipolige Trommelanker mit Schleifenwicklung nach v. Hefner-Alteneck. Der Einfachheit halber wählen wir zunächst eine Wicklung mit nur 8 Spulen und demnach auch 8 Kollektorlamellen *a, b, c, d, e, f, g, h* in Fig. 70. — Wir denken uns wiederum die Stirnfläche des Ankers von der Kollektorseite aus angesehen. Die Erzeugenden der cylindrischen Trommel, also auch die induzierten Drähte, erscheinen dann als Punkte an der Peripherie der Stirnfläche. Die Verbindungen auf der hinteren Stirnfläche werden gar nicht oder mit punktierten Linien angedeutet.

Machen wir die Voraussetzung, daß die den Spulen entsprechenden Erzeugenden des Cylinders alle in gleichen Abständen nebeneinander liegen sollen, so erhalten wir, da jeder Spule zwei Erzeugende angehören, 16 Wicklungsfelder. Wir teilen somit den Cylinderumfang in 16 gleiche Teile und bezeichnen dieselben,

zunächst je ein Feld überspringend, mit 1, 2, . . . . 8. Diametral 1 gegenüber kommt 5 zu liegen, soll daher die zweite Erzeugende 1' der Spule 1—1' nicht mit 5 zusammenfallen, so müssen wir die Windungen der Spule 1—1' rechts oder links vom Wicklungsfelde 5 unterbringen. In Fig. 70 liegt 1' rechts von 5. Wir versehen nun, von 1' ausgehend und ebenso wie vorhin im Sinne des Uhrzeigers fortschreitend, die freigebliebenen Wicklungsfelder der

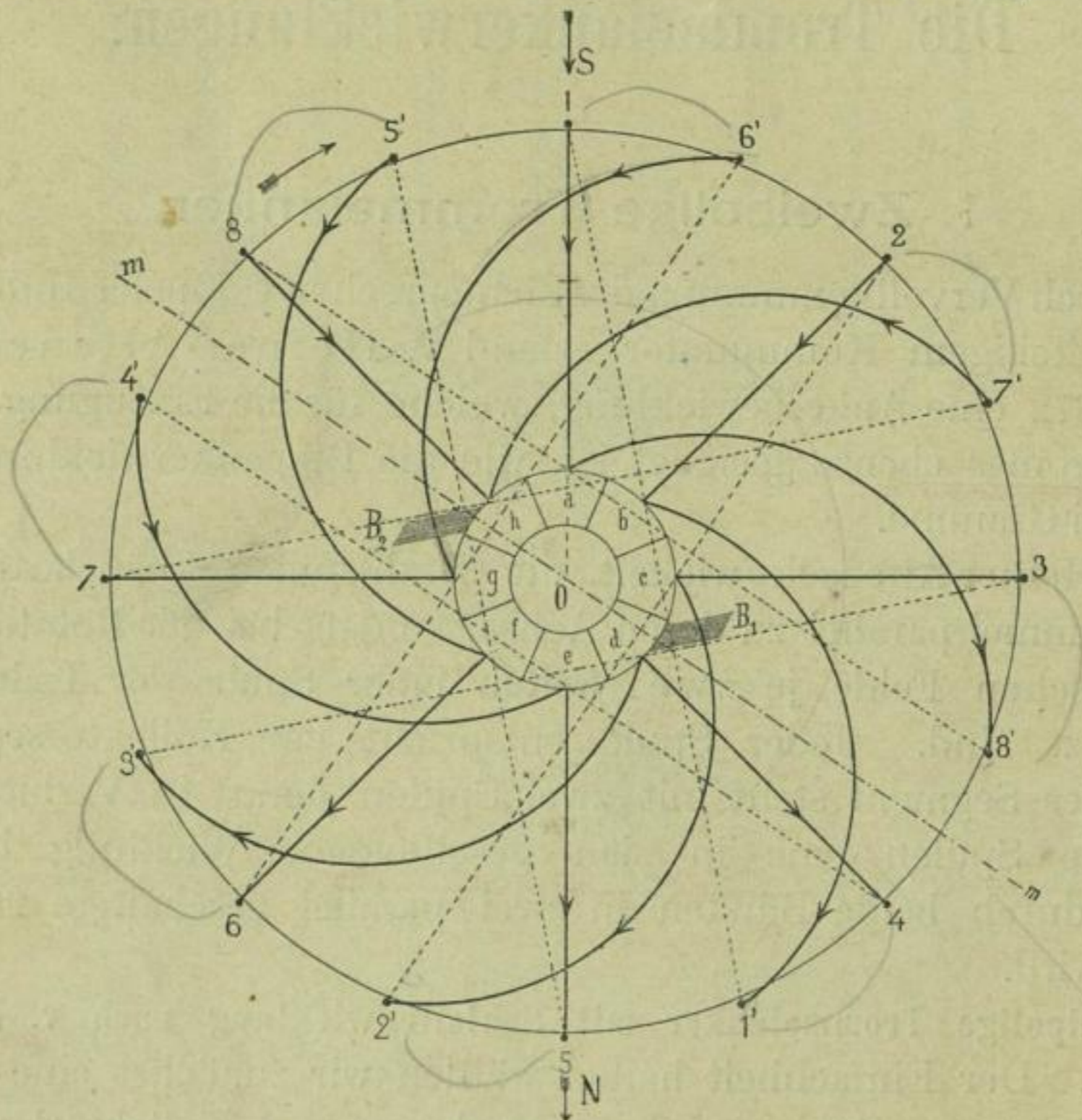


Fig. 70.

Reihe nach mit den Ziffern 2', 3' . . . . 8'. Die Zahlen 1 bis 8 wollen wir als die Wicklungsanfänge und 1' bis 8' als die Wicklungsenden der einzelnen Spulen betrachten.

In Fig. 71 ist die Lage einer Spule und deren Verbindung mit dem Kollektor in perspektivischer Ansicht gezeichnet.

Um z. B. die Spule 1—1' herzustellen, beginnen wir bei dem Kollektorsegment *a*, führen den Draht auf der vordern Stirnfläche des Cylinders nach *A*, dann längs der Mantelfläche des Cylinders bis zur hintern Stirnfläche, biegen dort rechtwinklig um, gehen längs den punktierten Linien *BC* (1—1' in Fig. 70) auf die andere

Seite des Cylinders, biegen den Draht wieder rechtwinklig um, führen denselben längs der Mantelfläche nach  $D$  zur vorderen Stirnfläche, nochmals umbiegend, nach  $A$  zurück u. s. f., bis die gewünschte Windungszahl erreicht ist. Das letzte Ende führen wir nicht nach  $A$  zurück, sondern zu dem benachbarten Segmente  $b$ . — Von  $b$  beginnen wir dann in derselben Weise die Spule 2—2', deren Ende mit dem Segmente  $c$  verbunden wird u. s. f.

In der schematischen Darstellung der Wicklung wird stets angenommen, daß jede Spule aus nur einer Windung bestehe. Denken wir uns nun sämtliche Spulen auf die Trommel aufgewickelt, aber Anfang und Ende jeder Spule freistehend, so

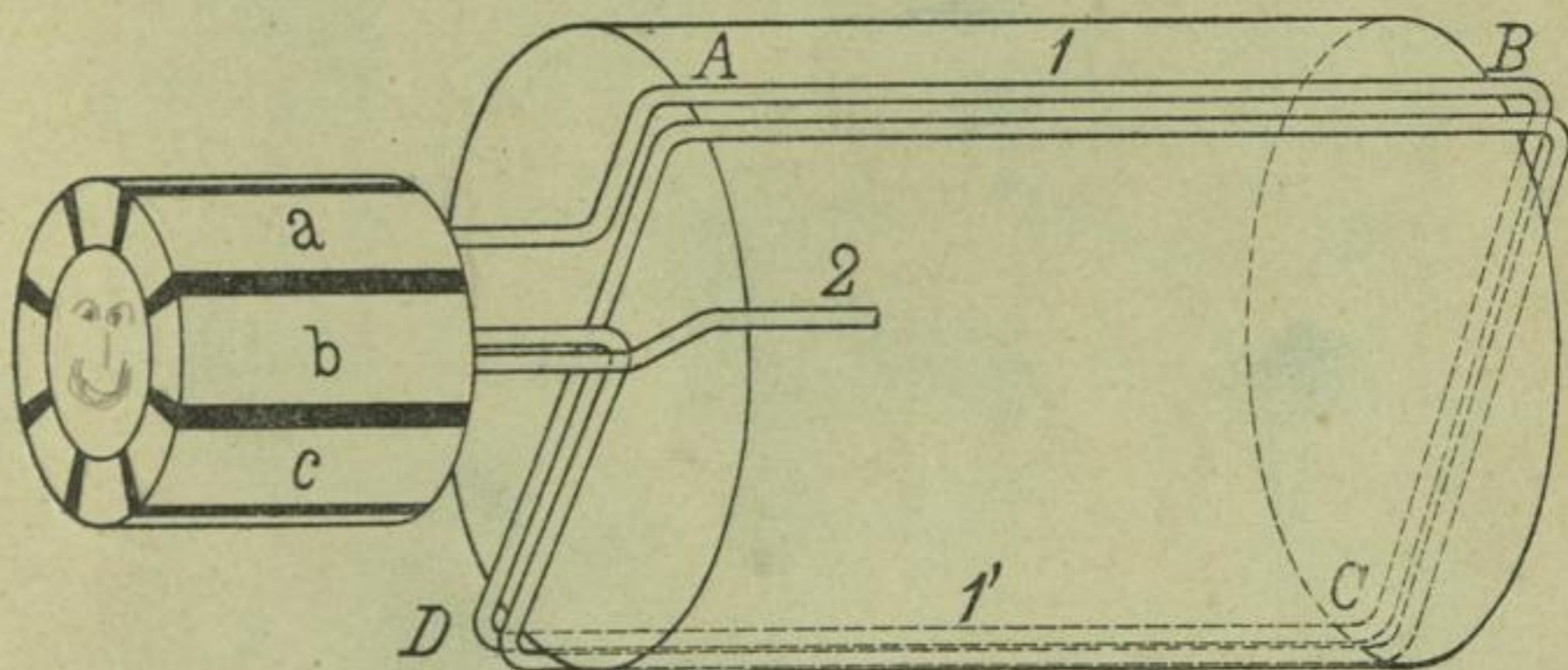


Fig. 71.

erhalten wir in Fig. 70 16 Drahtenden, 1 bis 8 und 1' bis 8', deren Verbindungsart durch die allgemeine Schaltungsregel unzweideutig bestimmt ist.

Halten wir an der Bedingung fest, daß jede Verbindung von zwei Spulen mit einem Kollektorsegmente zu verbinden ist, so wird die Zahl der Kollektorsegmente gleich der Spulenzahl. Für zweipolige Trommelwicklungen ist dann allgemein

$$y = \frac{s}{2} \pm 1,$$

und die Zahl der Kollektorlamellen  $= k = \frac{s}{2} =$  der Spulenzahl.

Die Zahl  $s$  der am Umfange der Trommel liegenden Seiten der Spulen muß gerade sein, die Spulenzahl kann gerade oder ungerade sein.

Bei der Verbindung der Spulen mit dem Kollektor ist es gleichgültig, von welchem Segmente man ausgeht, bzw. welches Segment man z. B. in Fig. 70 mit 1 verbindet, nur müssen dann die übrigen Segmente, nach rechts oder links vorwärtsschreitend, der Reihe nach mit den in demselben Sinne aufeinanderfolgenden Spulen verbunden werden. Man spricht im ersten Falle von rechtsgängiger, im zweiten Falle von linksgängiger Schaltungsrichtung.

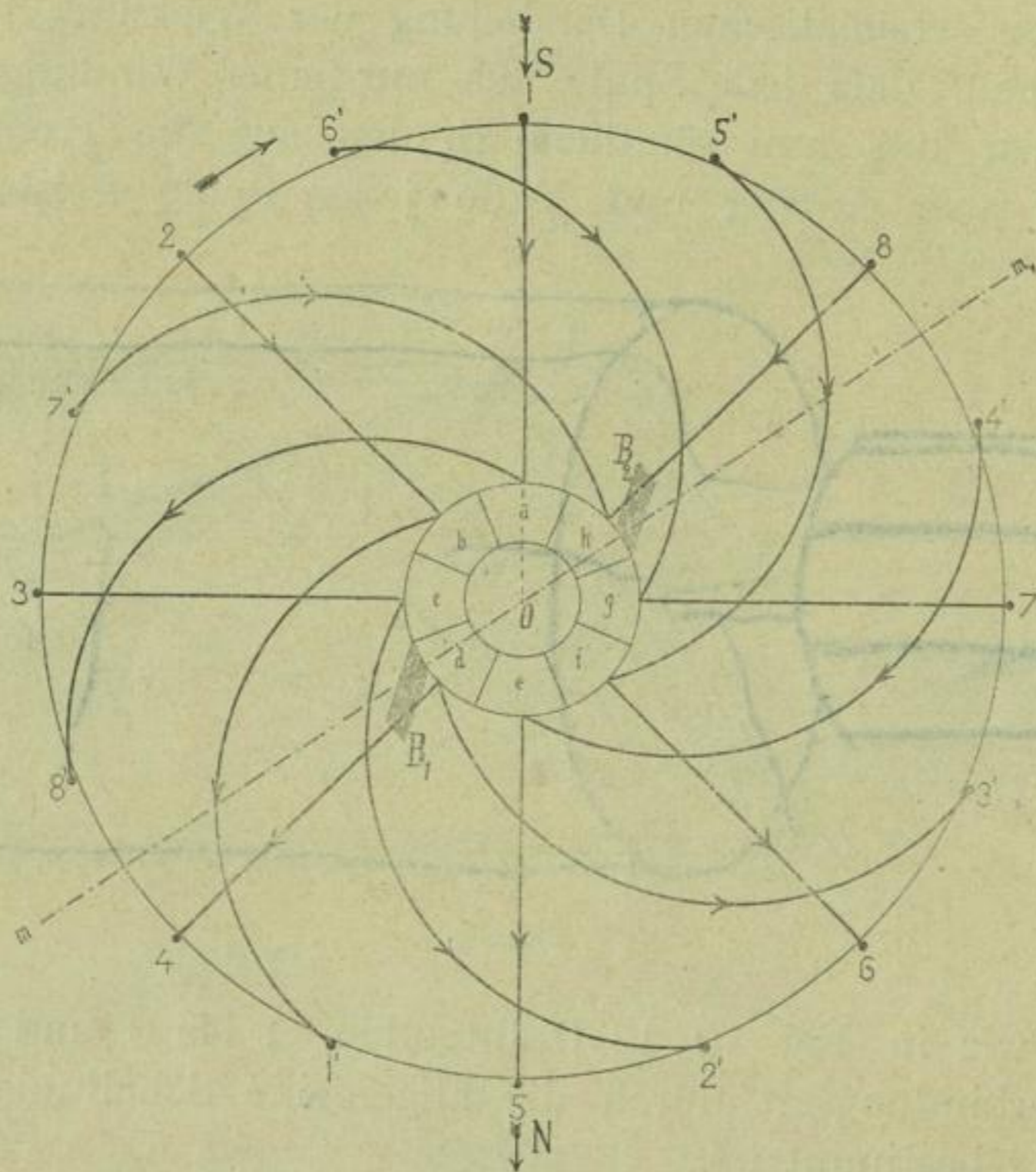


Fig. 72.

In Fig. 70 ist eine rechtsgängige, in Fig. 72 eine linksgängige Trommelwicklung dargestellt. In beiden Figuren ist  $s = 16$

$$y = \frac{16}{2} - 1 = 7.$$

Der Anfang einer beliebigen Spule  $x$  ist mit dem Ende der  $(x + 7)^{\text{ten}}$  Spule, also z. B. 1 mit 8' zu verbinden u. s. f.

Durch Verfolgen der Stromrichtung, welche für jede Spule durch Pfeile markiert ist, läßt sich die Lage der Bürsten leicht bestimmen. Es ergibt sich, daß bei einer Drehrichtung des

Ankers im Sinne des Uhrzeigers die negative Bürste bei rechtsgängiger Schaltung rechts und bei linksgängiger Schaltung links von der Verbindungslinie des Nordpols mit dem Südpole liegt.

Beide Bürsten befinden sich auf einem Durchmesser  $m m_1$ , welcher bei großer Spulenzahl zur Verbindungslinie der Pole nahezu senkrecht steht. In den Figuren 70 und 72 mit nur 8 Spulen sind die Bürsten im Sinne der Schaltungsrichtung erheblich verdreht, so daß der Winkel  $m O S$  beträchtlich von  $90^\circ$  verschieden ist.

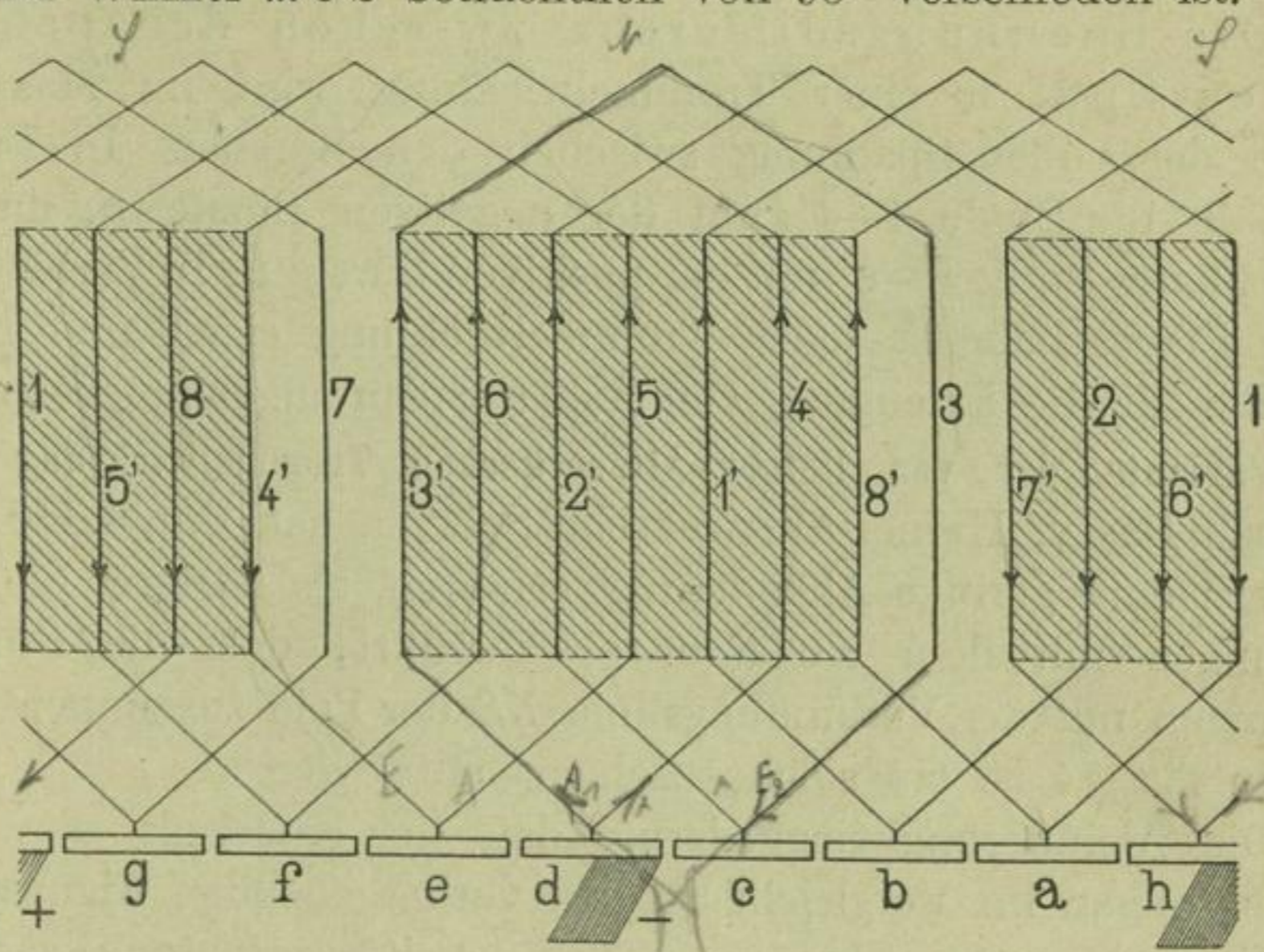


Fig. 73.

In der gezeichneten Lage teilt sich der Strom, von der negativen Bürste ausgehend, in die beiden Zweige

$$\begin{array}{l}
 B_1 \quad d \quad 4 \quad 4' \quad e \quad 5 \quad 5' \quad f \quad 6 \quad 6' \quad g \quad 7 \quad 7' \quad h \quad B_2 \\
 B_1 \quad d \quad 3' \quad 3 \quad c \quad 2' \quad 2 \quad b \quad 1' \quad 1 \quad a \quad 8' \quad 8 \quad h \quad B_2.
 \end{array}$$

Je zwei benachbarte und parallele Spulen, z. B. 3—3' und 7—7', werden, sobald die Ebenen derselben senkrecht zur Pollinie  $NS$  stehen, gleichzeitig kurz geschlossen.

Zur Veranschaulichung der Trommelankerwicklung ist die Ausbreitung des Schemas in eine Ebene besonders geeignet. Wir denken uns für eines der gegebenen Schemata mit 8 Spulen oder 16 Stäben den Cylinder mantel an irgend einer Stelle aufgeschnitten und mit sämtlichen Spulen in die Ebene des Papiers ausgebreitet, und erhalten so Fig. 73.

Die Lage der Pole ist durch Schraffur markiert und die über die Stirnflächen als Sehnen gezogenen Verbindungsdrähte, welche gleichzeitig die Verbindung mit dem Kollektor herstellen, sind als gebrochene Linien dargestellt. Die Lage der Stromabnahmestellen läßt sich auch in diesem Schema durch Verfolgen der Stromrichtung feststellen. Aus dem Verlaufe des Linienzuges und ebenso aus den Fig. 70 und 71 ist ersichtlich, daß dieselben eine Schleifenwicklung darstellen.

Die Spannungsdifferenz zwischen den benachbarten Spulen einer Trommelwicklung wird im Maximum gleich der vollen Spannung zwischen den Bürsten. In Fig. 70 ist z. B. die Spule 4—4' mit der negativen Bürste  $B_1$  und die benachbarte Spule 8—8' mit der positiven Bürste  $B_2$  in Verbindung. Diese Eigenschaft ist jeder Trommelwicklung eigen und macht dieselbe für die Erzeugung von hohen Spannungen ungeeignet.

**Variante der von Hefner-Alteneckschen Trommelwicklung nach Edison.** Das v. Hefner-Altenecksche Schema hat durch Edison insofern eine geringe Abänderung erfahren, als letzterer die Verbindungen mit dem Kollektor so ausführt, daß die Bürstenstellungen mit der Verbindungslinie  $NS$  der Pole zusammenfallen.

In Fig. 74 ist ein solches Schema entworfen.

Die Abänderung liegt darin, daß der Kollektor samt den Verbindungen im Vergleiche zu den vorhergehenden Figuren um den Winkel  $m_1 OS$  (Fig. 72) in der Schaltungsrichtung verdreht ist. Die Lage der negativen Bürste wird dadurch unabhängig von der Schaltungsrichtung und vertauscht nur mit der Änderung der Umlaufsrichtung der Trommel ihre Stellung mit der positiven Bürste.

**Variante der von Hefner-Alteneckschen Trommelwicklung nach Swinburne.**<sup>1)</sup> Bei den beschriebenen Trommelwicklungen von Hefner-Alteneck sind je zwei benachbarte Spulen parallel gewickelt, und es werden benachbarte Spulen gleichzeitig kurz geschlossen.

Nach einer von Swinburne angegebenen Variante sind die parallelen Spulen, welche ebenfalls gleichzeitig kurzgeschlossen werden, nicht mehr benachbart, sondern durch zwei oder mehr Wicklungsfelder von einander getrennt. Die Windungsfläche einer Spule wird dadurch verkleinert, jedoch soll die Sehne, welche

<sup>1)</sup> The Electrician Vol. 26. p. 166. 1887.

La lum. électr. T. 26. p. 156. 1887.

eine Spule auf der Stirnfläche des Ankers beschreibt, nicht kleiner als die Polbreite werden.

In Fig. 75 ist eine solche Wicklung für 8 Spulen aufgezeichnet.

Der Unterschied im Vergleich zu den vorhergehenden Schemata liegt darin, daß die zweite Erzeugende 1' der Spule 1—1' nicht mehr unmittelbar rechts von 5, sondern rechts von 4 liegt. Die

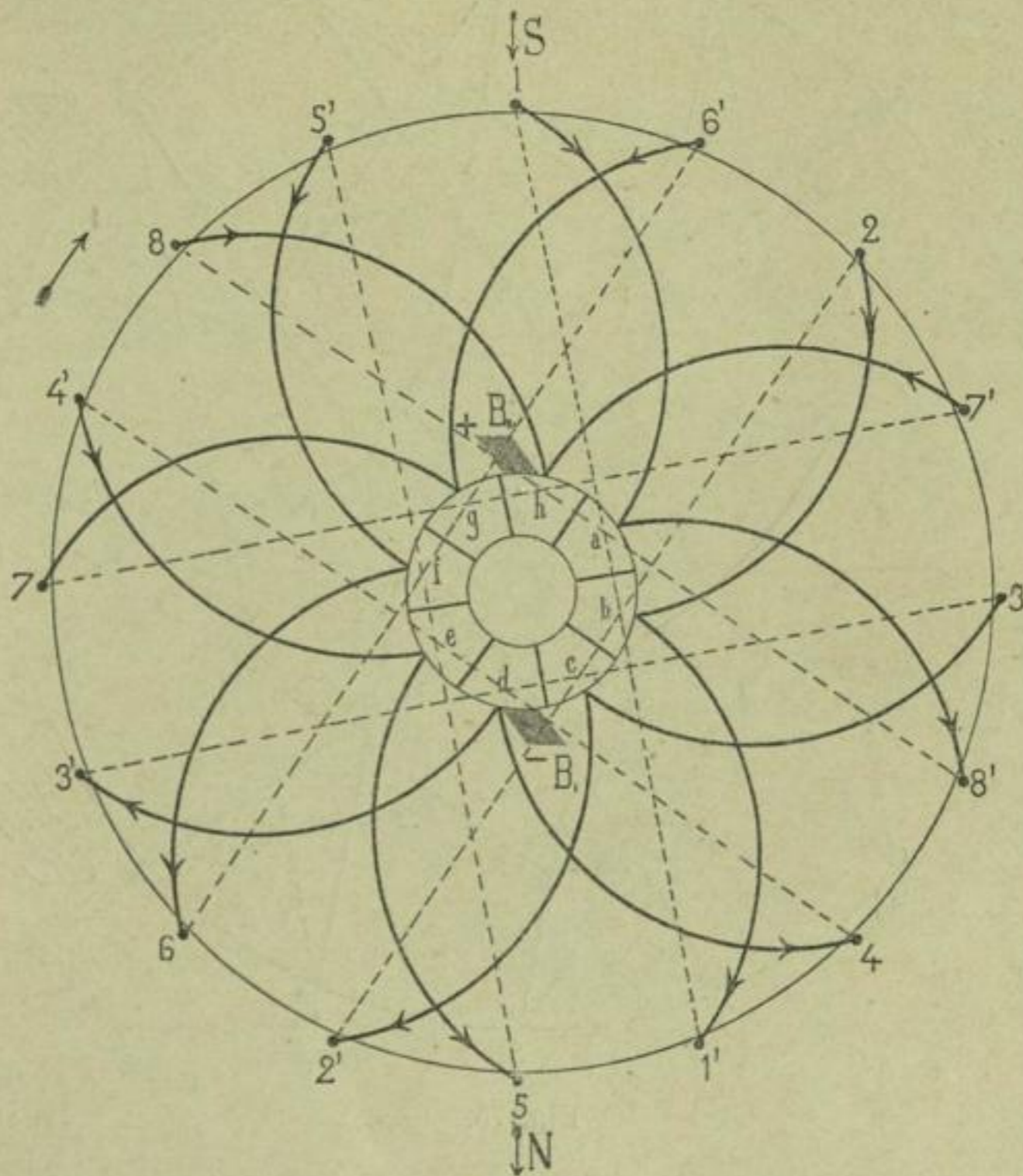


Fig. 74.

gleichzeitig zum Kurzschlusse gelangenden Spulen, z. B. 1—1' und 5—5' oder 3—3' und 7—7', sind nun durch je zwei Wicklungsfelder getrennt.

Der Vorteil dieser Wicklung ist darin zu suchen, daß die Zahl der Stellen, an welchen sich Spulen kreuzen, geringer wird.

**Zweipoliger Trommelanker mit Wellenwicklung.** Die Ausführung der v. Hefner-Alteneckschen Wicklung entspricht, wie Fig. 73 veranschaulicht, einer Schleifenwicklung. Wir sind bei dem Entwurfe dieser Wicklung von der von vornherein angenommenen Lage der Spulen ausgegangen und haben Anfang und Ende jeder Spule besonders bezeichnet.

Mit Hilfe der Schaltungsregel II läßt sich die Wicklung auch entwerfen, wenn wir zunächst nur die Zahl der Spulen oder die Zahl der Wicklungsfelder kennen, die Lage der Spulen und deren Querbindung bestimmt dann die Schaltungsregel II.

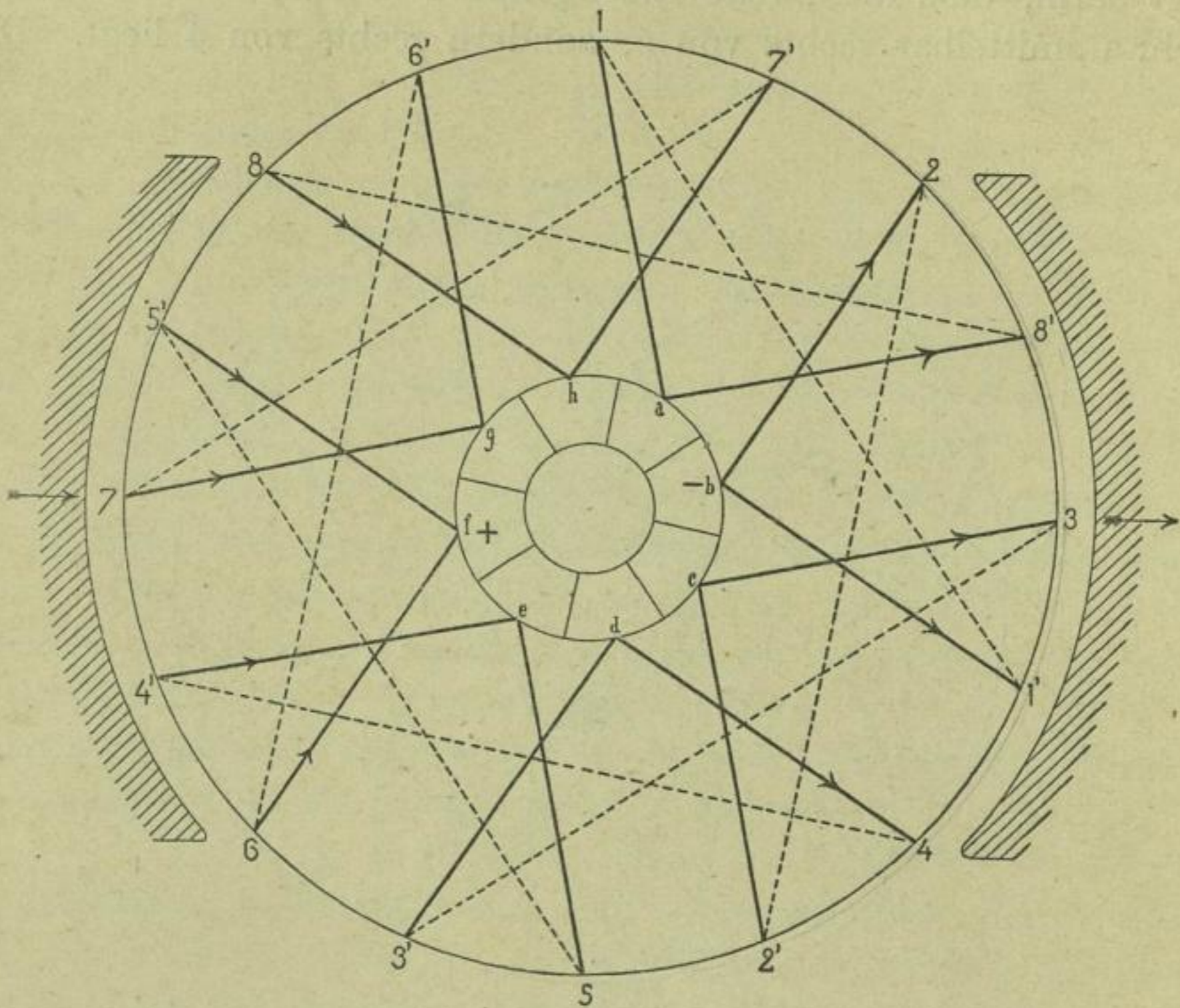


Fig. 75.

Zu dem Zwecke numerieren wir in Fig. 76, z. B. für 16 Wicklungsfelder, diese letztern fortlaufend von 1 bis 16. Ferner folgt aus der allgemeinen Formel

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm ac}{p}$$

$$y_1 + y_2 = 16 \pm 2 = \begin{cases} 18 \\ 14 \end{cases}$$

woraus

$$y_1 = y_2 = 9$$

oder

$$y_1 = y_2 = 7.$$

Der Schritt, sowohl auf der hintern als vordern Stirnfläche der Trommel, ist also entweder = 7 oder = 9 zu wählen. Wir wählen den Schritt 7 und erhalten folgende Wicklungstabelle:



1	6	11	16	5	10
8	13	2	7	12	1
15	4	9	14	3	

Die Verbindung der Punkte 1 bis 16 in dieser Reihenfolge ergibt das gesuchte Wicklungsschema der Fig. 76.

In Fig. 70 bewegt sich der Linienzug 1 8' 8 7' . . . außerhalb des Mittelpunktes der Trommel, dagegen in Fig. 76 schließt

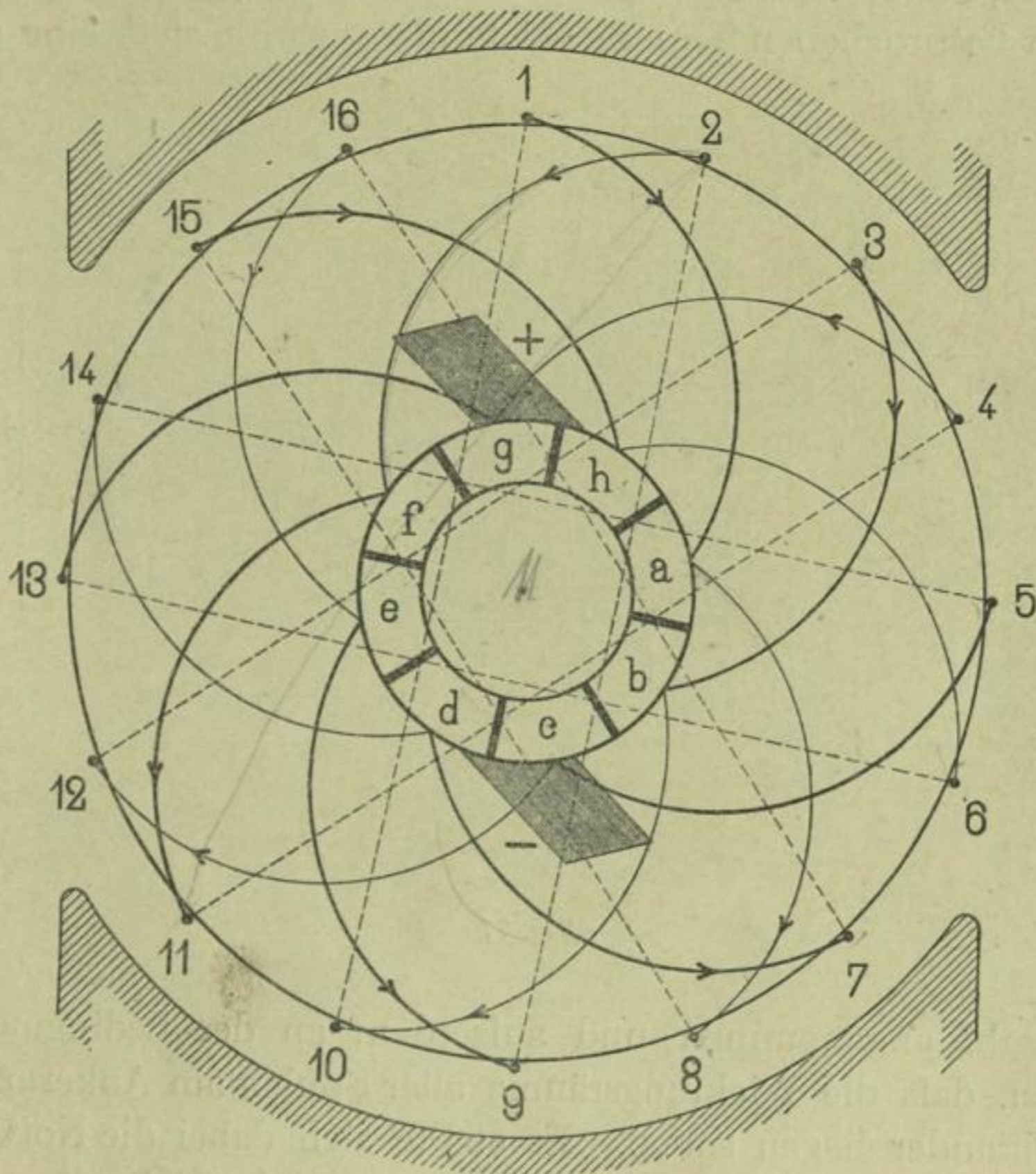


Fig. 76.

der Linienzug 1 8 15 6 den Mittelpunkt ein, letztere Wicklung muß daher als Wellenwicklung bezeichnet werden.

In Fig. 77 ist die Abwicklung des Schemas in die Papierebene gezeichnet. Aus dieser Figur ist ersichtlich, daß jede Spule 6 andere kreuzt, während in Fig. 75 nur 4 Spulen gekreuzt werden, der Wicklungsschritt ist dort kürzer. — Durch geeignete Wahl der Lage und Weite der Spule kann daher

der Wicklungsschritt verkürzt werden. Wir werden hiervon später bei der Parallelschaltung mehrpoliger Anker Gebrauch machen.

Der Schritt  $y_1 = y_2 = 9$  ergibt dasselbe Schema wie Fig. 76, denn von 1 aus nach links gezählt liegen zwischen 1 und 8 die 9 Wicklungsfelder. Der Schritt 9 entspricht daher der linksläufigen Numerierung.

**Zweipoliger Trommelanker mit ungerader Spulenzahl.** Für die bis jetzt besprochenen Trommelwicklungen wurde stets eine gerade

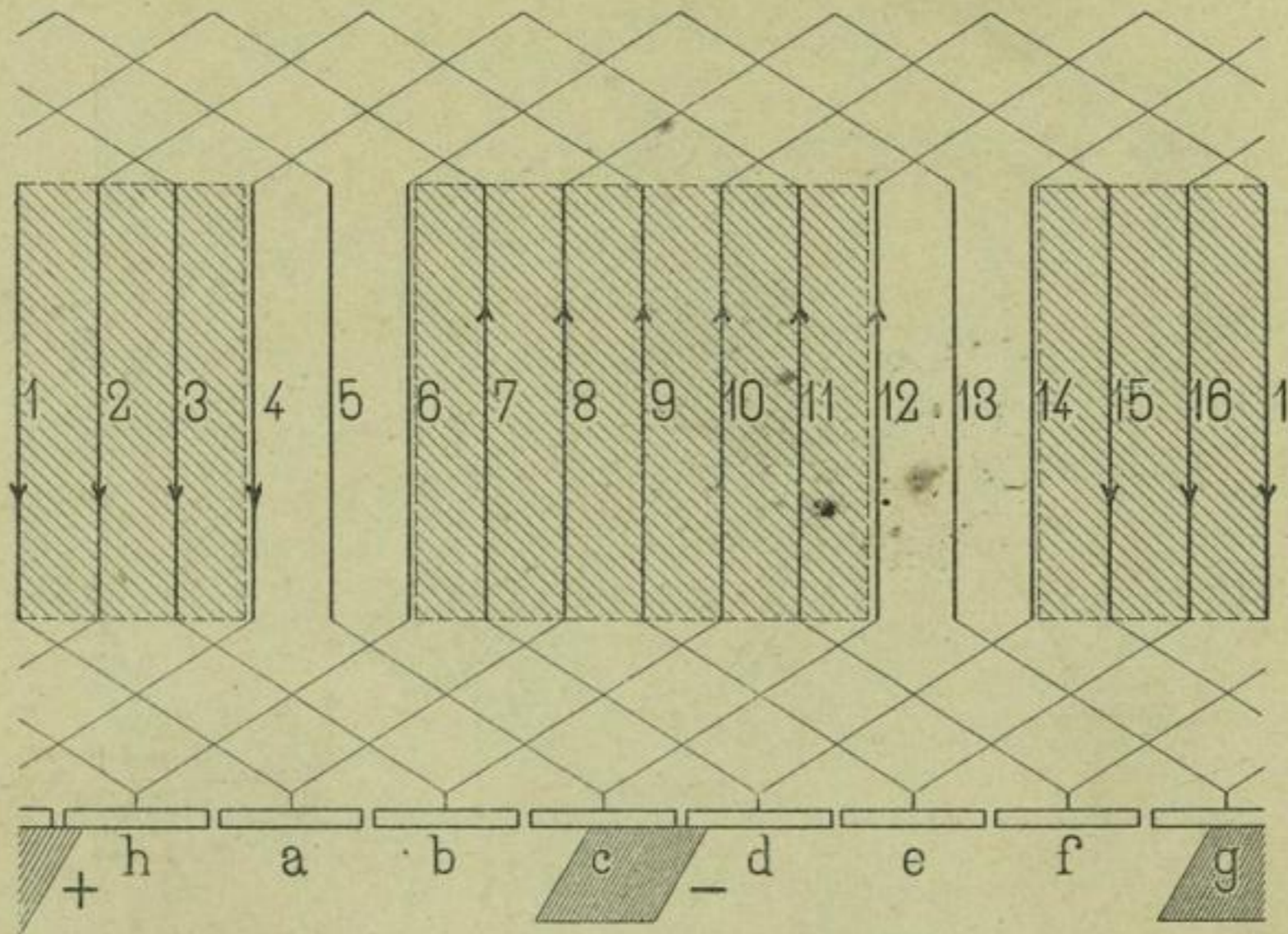


Fig. 77.

Spulenzahl angenommen und außerdem an der Bedingung festgehalten, daß die Wicklungsräume aller Spulen am Ankerumfang nebeneinander liegen sollen. Es stellte sich dabei die Notwendigkeit heraus, die Ankerwindungen auf der Stirnfläche längs einer Sehne zu führen.

Die Spulen können längs eines Durchmessers gewickelt werden durch Anwendung

1. einer ungeraden Spulenzahl, oder
2. übereinander liegender Wicklungsräume bei gerader Spulenzahl.

Fig. 78 gibt ein Schema für ungerade Spulenzahl, und zwar für  $s = 18$ .

Es ist

$$y_1 + y_2 = 18 \pm 2 = \begin{cases} 20 \\ 16 \end{cases}$$

woraus

$$y_1 = 9, \quad y_2 = 11$$

oder

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 9.$$

Wir wählen den Schritt 7 auf der vordern und den Schritt 9 auf der hintern Stirnfläche. Der Schritt  $y_1 = y_2 = 8$  ist

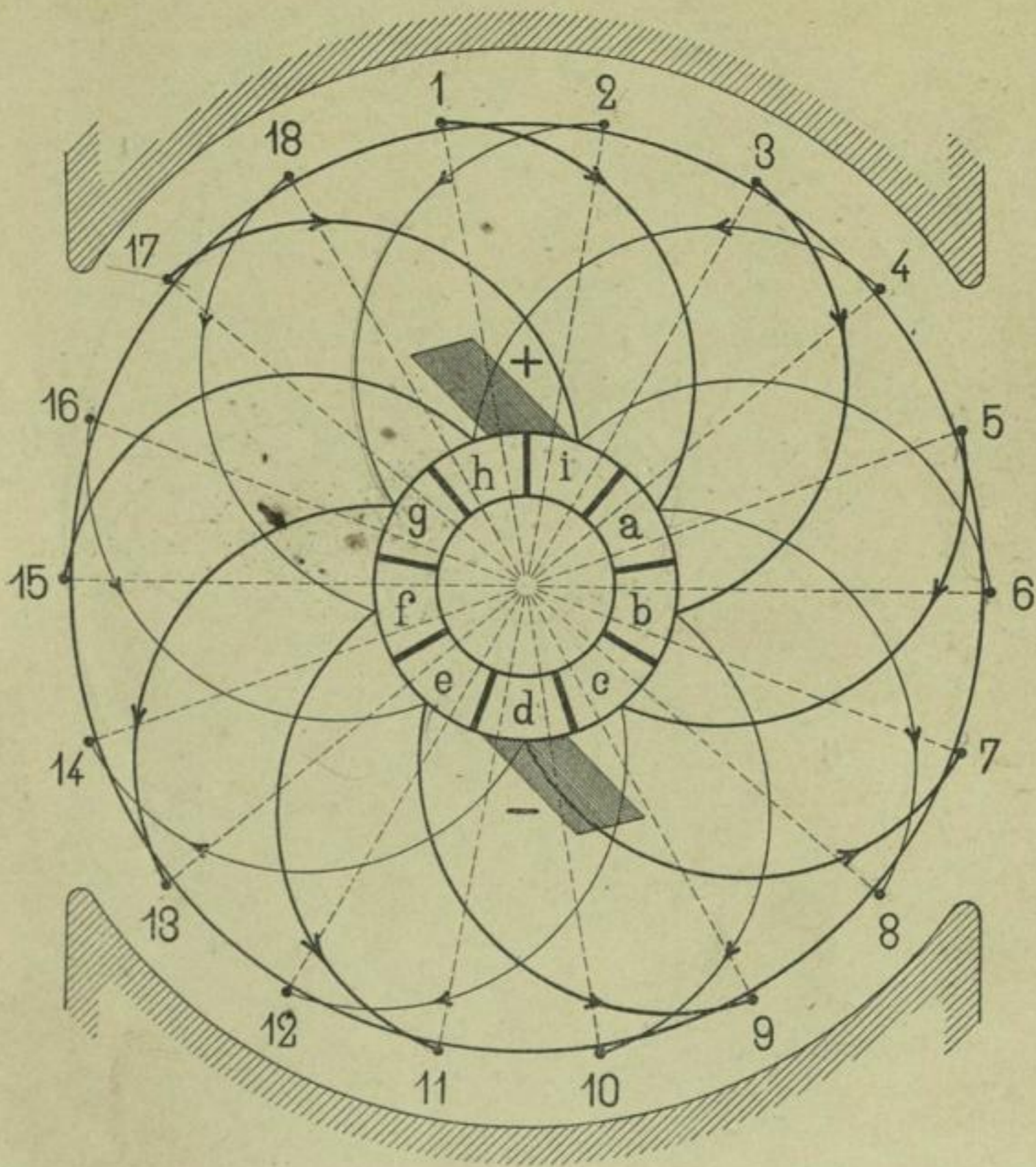


Fig. 78.

unbrauchbar, weil  $s = 18$  und  $y = 8$  den gemeinschaftlichen Teiler 2 haben.

Wir zählen von 1 ausgehend abwechselnd um 7 und 9 weiter, und erhalten die Wicklungstabelle

1	6	13	18	7	12	1
8	15	2	9	14	3	
17	4	11	16	5	10	

6\*

Die punktierten Querverbindungen gehen hier durch den Mittelpunkt der Trommel, diese Wicklung kann daher sowohl als Schleifen- wie als Wellenwicklung aufgefaßt werden.

Während in der gezeichneten Stellung die negative Bürste das Kollektorsegment *d* in der Mitte berührt, liegt die positive Bürste an zwei Kollektorsegmenten *h* und *i* gleichzeitig auf und

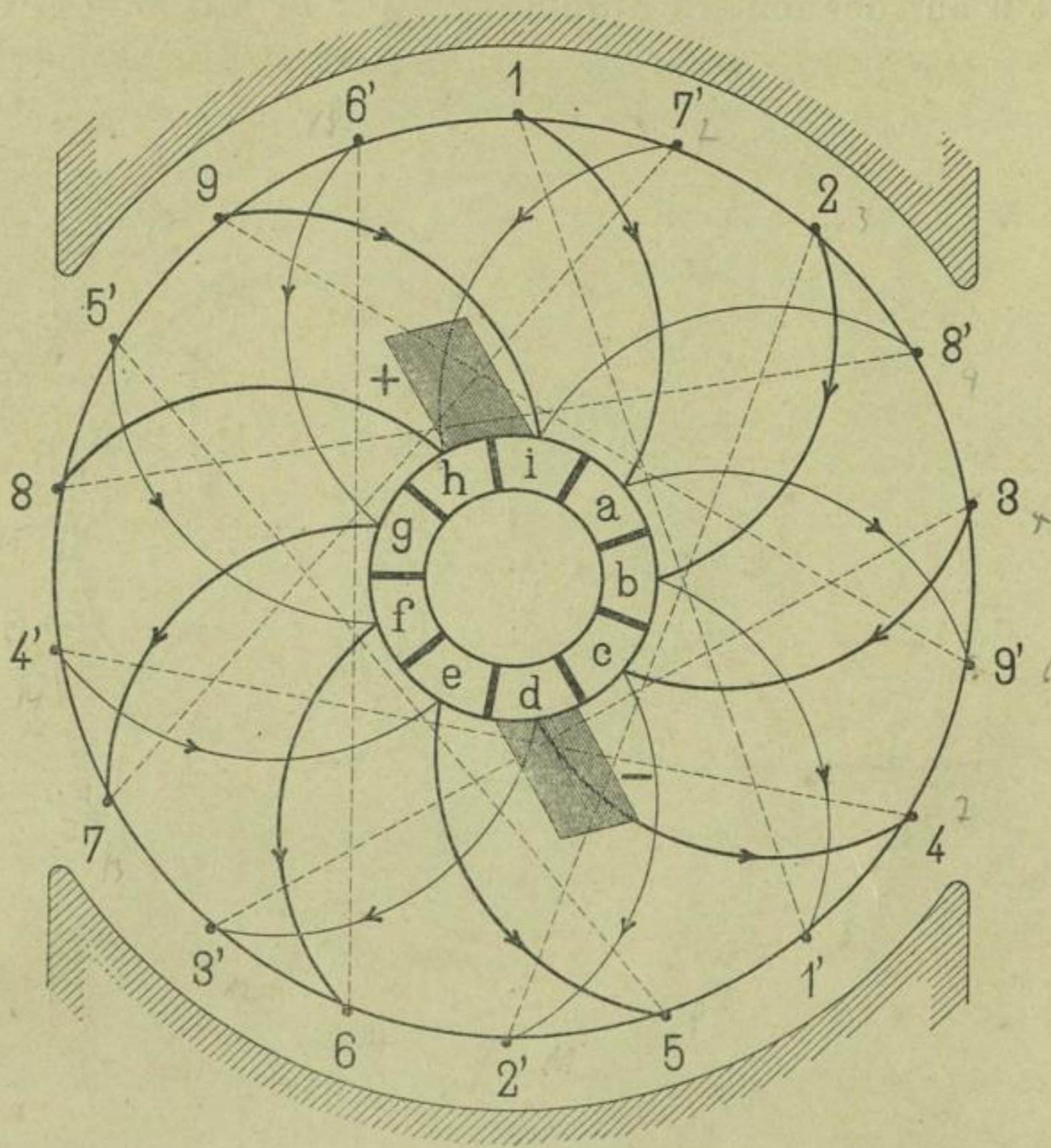


Fig. 79.

die Spule 6—15 ist kurz geschlossen. Es werden also nie zwei Spulen gleichzeitig kurz geschlossen. Der Ankerstrom teilt sich in den übrigen 8 Spulen nach den zwei Richtungen

$$-\left\langle \begin{array}{cccccccccccc} d & 7 & 16 & e & 9 & 18 & f & 11 & 2 & g & 13 & 4 & h \\ d & 14 & 5 & c & 12 & 3 & b & 10 & 1 & a & 8 & 17 & i \end{array} \right\rangle +$$

die gleiche Drahtlängen besitzen.

Der Schritt dieser Wicklung läßt sich nur verkürzen, wenn wir die Spulen nicht längs eines Durchmessers, sondern längs

einer Sehne der Trommel wickeln. Wir numerieren zu dem Zwecke die Wicklungsfelder in der früheren Weise und bestimmen zuerst die Lage der Spulen, deren Anfänge mit 1 bis 9 und deren Enden mit 1' bis 9' bezeichnet sind. — Es wird

$$y = \frac{18}{2} - 1 = 8.$$

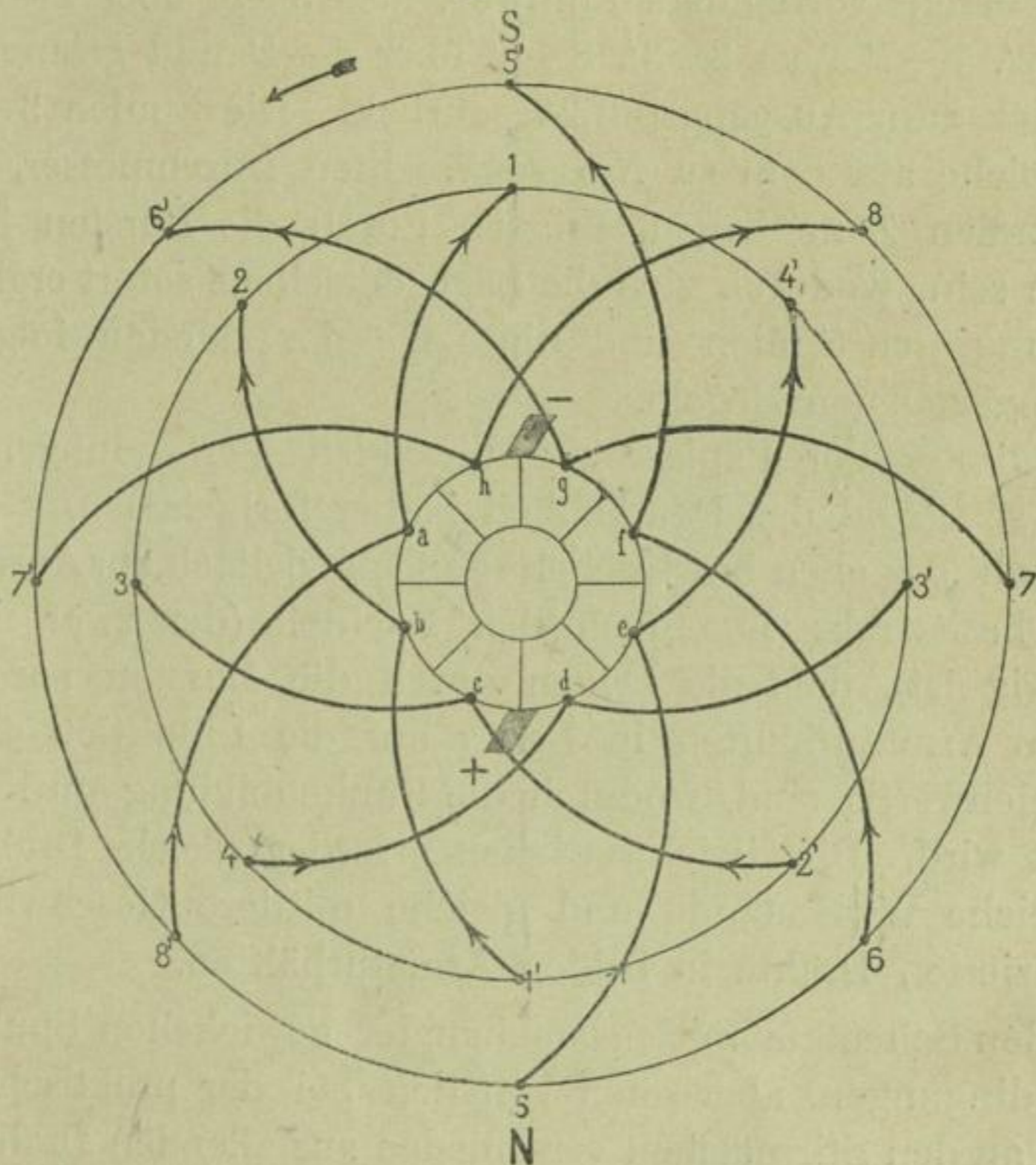


Fig. 80.

Nach der Schaltungsregel I ist somit 1 mit 9'

2 mit  $2 + 8 = 9 + 1$  oder 1'

3 »  $3 + 8 = 9 + 2$  oder 2' u. s. f.

zu verbinden.

In diesem Schema, Fig. 79, kreuzt eine Spule nur zwei andere, in dem früheren Schema Fig. 78 dagegen drei. —

**Zweipolige Trommelanker mit übereinander liegenden Spulen.** Nicht immer ist genügend Raum vorhanden, alle Spulen am Ankerumfang nebeneinander aufzuwickeln, in diesem Falle ist man gezwungen, die Wicklungsräume zweier benachbarten Spulen übereinander anzuordnen. Diese Wicklungsart ist in Fig. 80 schematisch dargestellt. —

Die Spulenzahl ist = 8 und gleich der Zahl der Wicklungsfelder. Indem man zunächst die 4 Spulen in der Aufeinanderfolge  $a\ 1-1'\ b\ 2-2'\ c\ 3-3'\ d\ 4-4'\ e$  herstellt, sind alle 8 Wicklungsfelder und 4 Kollektorsegmente  $a\ b\ c\ d$  besetzt; um auch die übrigen 4 Segmente  $e\ f\ g\ h$  zu besetzen, wickelt man die übrigen 4 Spulen über die bereits vorhandenen hinweg, also  $5-5'$  über  $1-1'$ ,  $6-6'$  über  $2-2'$ ,  $7-7'$  über  $3-3'$ ,  $8-8'$  über  $4-4'$  und gelangt von  $8'$  aus wieder zum Ausgangspunkte zurück. Die Spulen  $3-3'$  und  $7-7'$ , welche auf dem zu  $NS$  senkrechten Durchmesser, also in der neutralen Zone liegen, müssen durch die Bürsten kurz geschlossen sein, wodurch sich die Lage derselben sofort ergibt. Die Verbindung der Spulen und die Lage der Bürsten folgen den früher angegebenen Regeln.

Die hinter der Papierebene liegenden Verbindungen  $1-1'$ ,  $2-2'$  u. s. f. sind der Deutlichkeit halber fortgelassen.

Obwohl das eben beschriebene Schema vielfach zur Anwendung kommt, besitzt dasselbe doch den Nachteil (der zwar meistens geringfügig ist), daß die beiden durch die Bürsten parallel geschalteten Armaturhälften in Bezug auf die Induktion einander nicht gleichwertig sind, wodurch die Funkenbildung am Kollektor vermehrt wird. Die Gleichwertigkeit erfordert gleiche Drahtlängen resp. gleiche Widerstände und gleiche mittlere Geschwindigkeit der induzierten Drähte in beiden Armaturhälften.

In den Schemata mit nebeneinander gewickelten Spulen sind diese Bedingungen, abgesehen von den bei der praktischen Ausführung an den Stirnflächen verschiedenen ausfallenden Drahtlängen, erfüllt; nicht aber bei den Schemata mit paarweise übereinander gewickelten Spulen. Denken wir uns z. B. in Fig. 80 den Anker so weit gedreht, daß die Kollektorsegmente  $a$  und  $e$  mit den Bürsten in Berührung stehen, so besteht die eine Armaturhälfte aus allen innen liegenden Spulen

$a\ 1\ 1'\ b\ 2\ 2'\ c\ 3\ 3'\ d\ 4\ 4'\ e$

und die zweite Armaturhälfte aus allen äußeren Spulen

$a\ 8'\ 8\ h\ 7'\ 7\ g\ 6'\ 6\ f\ 5'\ 5\ e$

Nur wenn die Bürsten die Kollektorsegmente  $c$  und  $g$  berühren, gehören jeder Armaturhälfte zwei äußere und zwei innere Spulen an und dieselben sind in dem Augenblicke in Bezug auf die Induktion gleichwertig.

Dem Übelstande der Ungleichwertigkeit beider Armaturhälften kann nach einer von Weston<sup>1)</sup> angegebenen Methode durch entsprechende Verbindung der Spulen untereinander leicht abgeholfen werden. Eine vollkommene Gleichwertigkeit für alle Bürstenlagen wird aber nur erreicht, wenn die halbe Spulenzahl ungerade ist. In Fig. 81 ist ein derartiges Schema mit 14 Spulen dargestellt. Man verfährt beim Entwerfen desselben

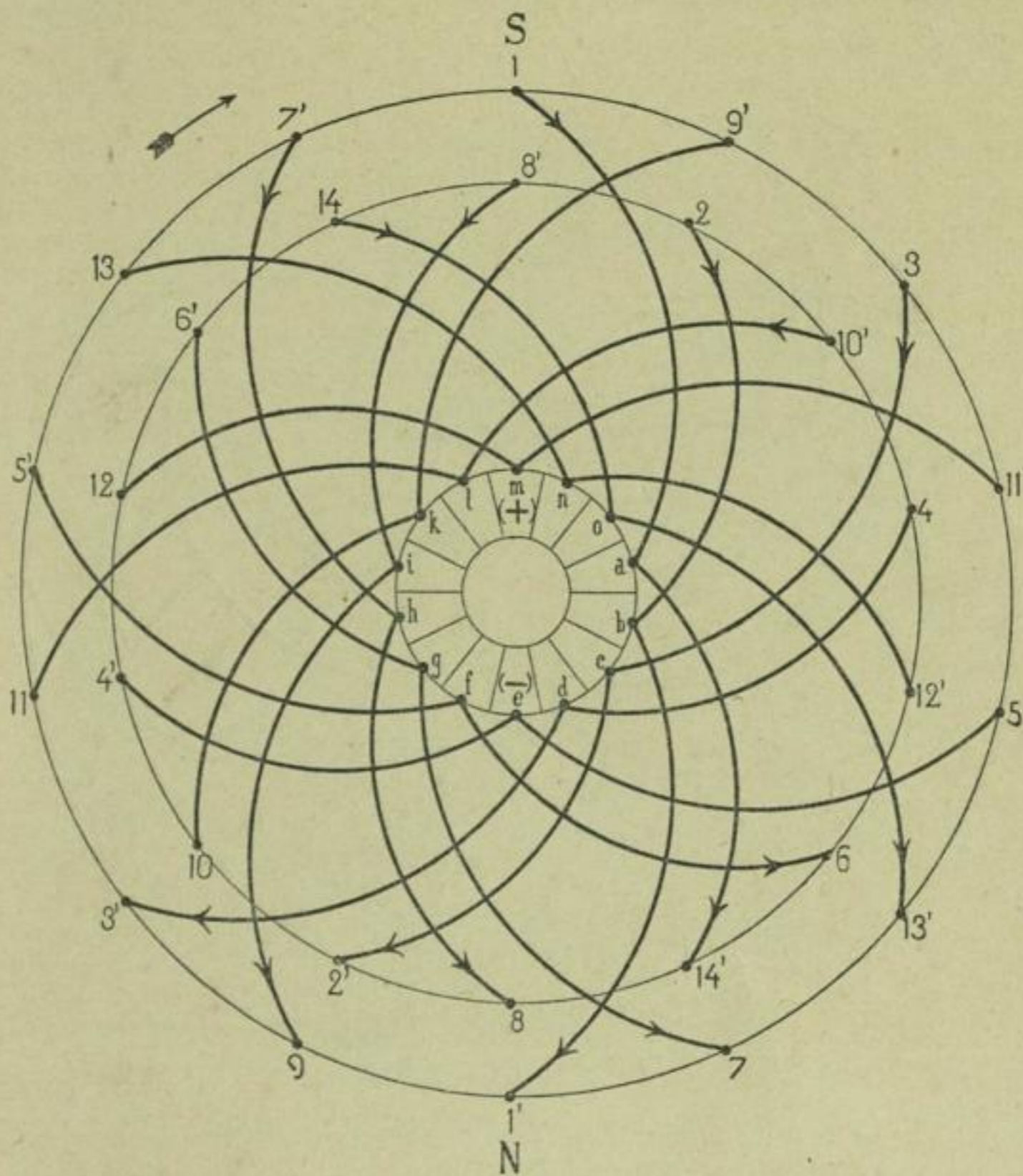


Fig. 81.

in der Weise, daß man mit der Numerierung der Wicklungsfelder 1, 2, 3, 4, ... abwechselnd auf dem äußeren und inneren Kreise vorwärts schreitet und die Verbindungen der Spulen untereinander nach der Schaltungsregel I ausführt. Es ist

$$y = \frac{28}{2} - 1 = 13$$

und 1 mit 14', 2 mit  $13 + 2 = 14 + 1$  oder 1' u. s. f. zu verbinden.

<sup>1)</sup> D.R.P. Nr. 22097 v. 13. Juni 1882.

Die im Schema aufeinander folgenden Spulen liegen nun abwechselnd auf dem äußeren und inneren Zylinder und die beiden Ankerstromkreise haben in jeder Lage der Bürsten gleichen Widerstand.

Ist die halbe Spulenzahl gerade, wie in Fig. 82, so tritt im Schema eine Unsymmetrie auf, es folgen nicht immer äußere und innere Spulen abwechselnd aufeinander, sondern an einer

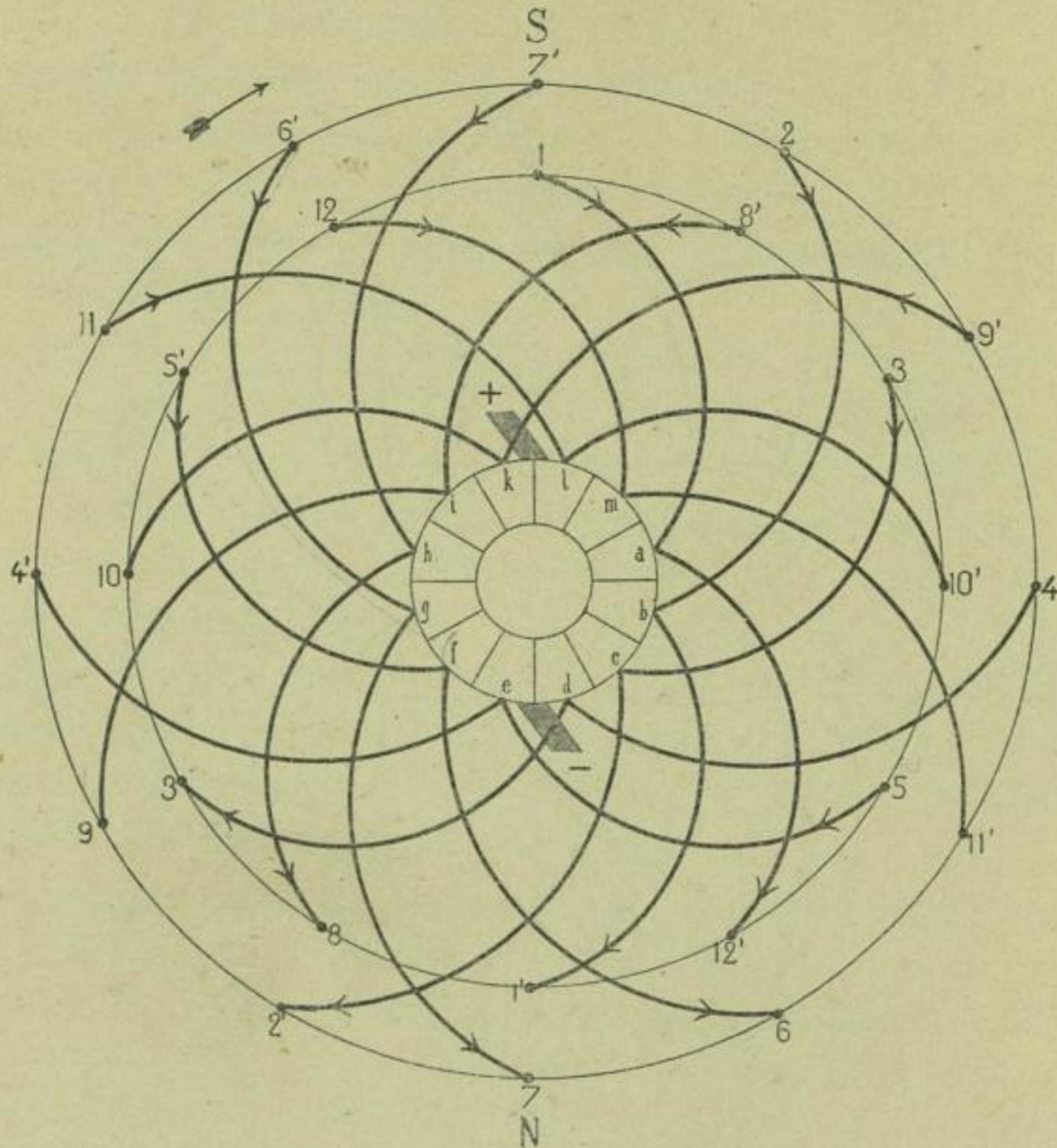


Fig. 82.

Stelle zwei äußere und zwei innere. In Fig. 82 sind *f* 6—6' *g* 7—7' *h* und *b* 1'—1 *a* 12'—12 *m* die betreffenden Spulen.

Den gleichen Zweck wie die Wicklungsmethode von Weston befolgt eine von der Western Electric Co.<sup>1)</sup> benutzte Anordnung der Spulen, welche in Fig. 83 für 12 Spulen dargestellt ist. — Die Windungen jeder Spule werden in zwei gleiche Teile geteilt und links und rechts an der Axe der Trommel vorbei auf der

<sup>1)</sup> Guerout, La lum. élect. T. 15 p. 446. 1885.



einen Seite in einem Wicklungsfelde und auf der andern Seite in zwei Wicklungsfeldern (einem innern und einem äußern) untergebracht. Für die Spule 1 ist das in der Figur angedeutet. Die Wicklung wird hergestellt, indem man zuerst die innere Hälfte der Wicklung, d. h. die halben Spulen 1 —  $1_i$ , 2 —  $2_i$ , 3 —  $3_i$  u. s. f., wickelt und alsdann die äußere Hälfte 1 —  $1_a$ , 2 —  $2_a$ , 3 —  $3_a$  u. s. f. — Die beiden Spulenhälften können parallel oder in Serie geschaltet werden. —

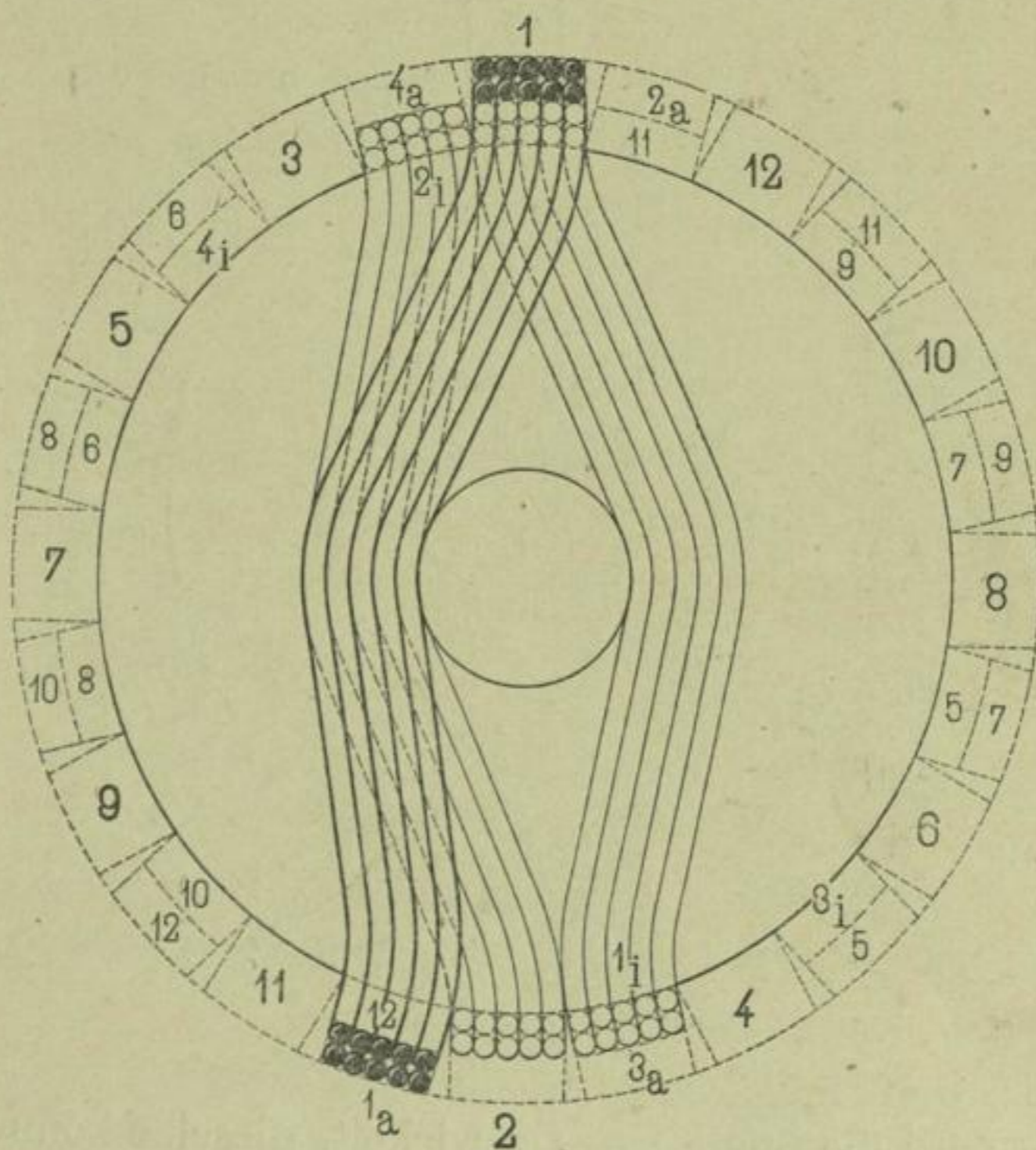


Fig. 83.

Eine Lamelle des Kollektors wird mit dem Anfang der Spule 1 und dem Ende der Spule 3, die nächste Lamelle mit dem Anfang von 3 und dem Ende von 5 u. s. f. verbunden.

Bei der Herstellung von Wicklungen mit übereinanderliegenden Spulen ist zu beachten, daß die größte Spannungsdifferenz zwischen den übereinanderliegenden Spulen gleich oder nahezu gleich der vollen Spannung zwischen den Bürsten ist. Die Spulen sind daher gut voneinander zu isolieren.

**Trommelwicklung mit übereinanderliegenden Spulen von ungerader Anzahl.** Im Nachfolgenden will ich zeigen, daß es möglich ist, auch eine ungerade Spulenzahl übereinanderliegend zu wickeln, dabei werden die beiden Ankerstromkreise einander sehr nahezu gleichwertig.

Als Beispiel wähle ich einen Anker mit 15 Spulen und 15 Wicklungsfeldern. Wir numerieren dieselben fortlaufend von 1—15. (Fig. 84.)

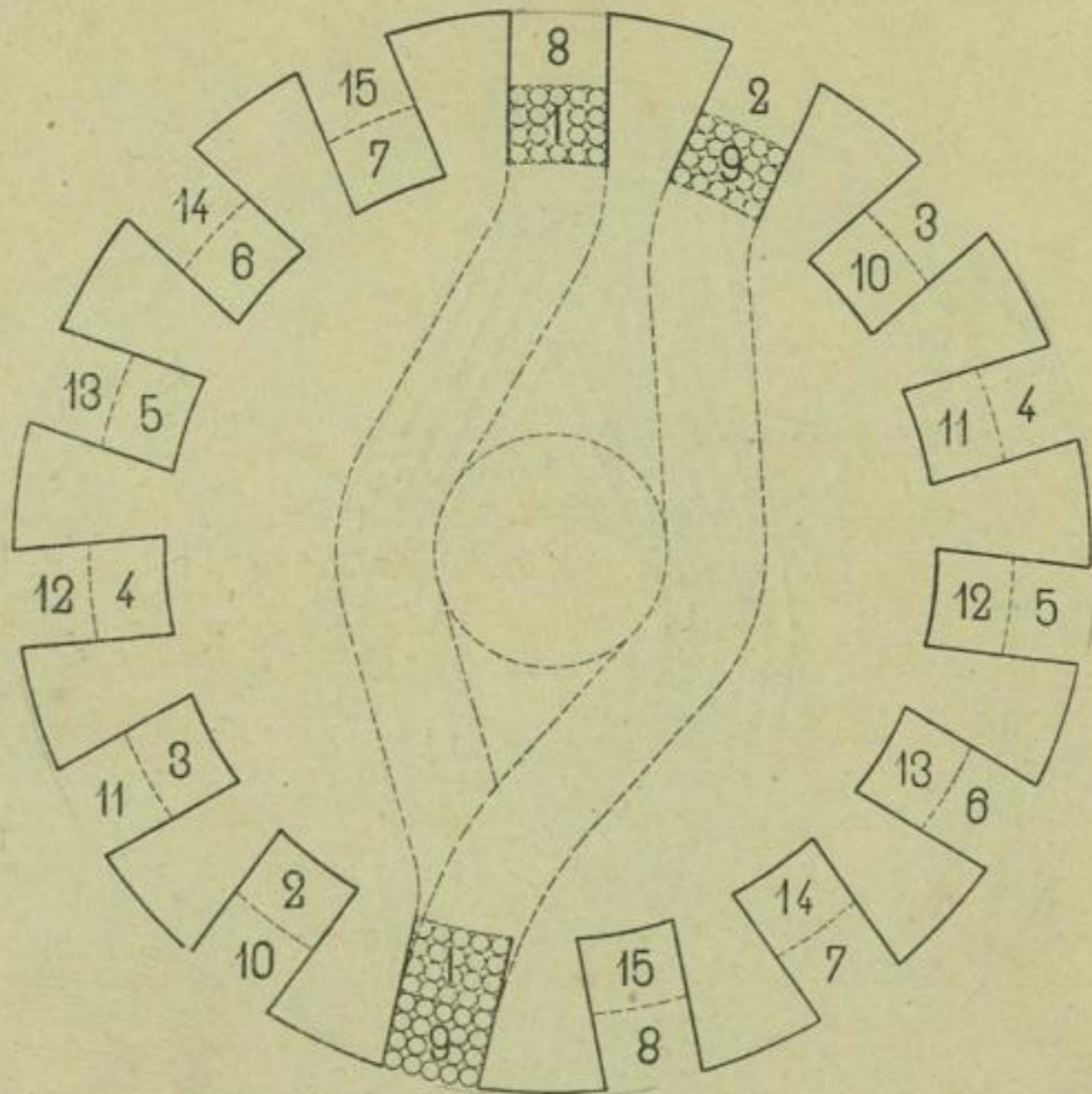


Fig. 84.

Zuerst wird die Spule 1 — 1 gewickelt, dieselbe kommt auf der untern Seite in das Feld der Spule 9 zu liegen. Nun wickeln wir die Spule 9, dieselbe liegt einerseits über der Spule 1 und anderseits im Felde der Spule 2. — Jetzt kommt Spule 2 an die Reihe u. s. f. mit der Spule 8 — 8 als letzte ist die Wicklung beendigt. Mit den Kollektorlamellen werden der Reihe nach Anfang von 1 und Ende von 2, Anfang von 2 und Ende von 3, Anfang von 3 und Ende von 4 u. s. f. verbunden.

Die Wicklung hat eine kleine für die Ausführung jedoch unwesentliche Unsymmetrie, weil beide Wicklungsfelder der zuerst gewickelten Spule 1 — 1 innen liegen. Die Wicklungsfelder 8 und 1 sollten vertauscht sein.

Die Verkürzung und Verlängerung des Wicklungsschrittes bei Trommelankern. Nach der allgemeinen Schaltungsregel wird für Trommelanker allgemein

$$cy = y_1 + y_2 = \frac{s \pm ac}{p}$$

und für zweipolige Trommelanker speziell

$$y_1 + y_2 = s \pm 2$$

worin  $y_1$  und  $y_2$  die Wicklungsschritte bedeuten, um welche wir bei Wellenwicklung vorschreiten und bei Schleifenwicklung vor- und rückschreiten müssen.

Für  $s = 16$  wird

$$y_1 + y_2 = \begin{cases} 18 \\ 14 \end{cases}$$

und

$$y_1 = y_2 = 9$$

oder

$$y_1 = y_2 = 7.$$

Wir erhalten die in Fig. 76 ausgeführte Wellenwicklung.

Betrachten wir nun Fig. 70, für welche ebenfalls  $s = 16$ , so müssen wir, von 1 ausgehend und nach rechts weiterzählend,  $y = 7$  Wicklungsfelder (1 — 6', 6' — 2, 2 — 7', 7' — 3, 3 — 8', 8' — 4 und 4 — 1') überspringen, um nach 1', und um  $y_2 = 5$  Wicklungsfelder zurückgehen, um von 1' nach 2 zu gelangen, es ist somit

$$y_1 + y_2 = 12 \text{ statt } 14.$$

Zählen wir von 1 aus nach links, so wird  $y_1 = 9$  und dann von 1' aus nach rückwärts bis 2, so wird  $y_2 = 11$  und

$$y_1 + y_2 = 20 \text{ statt } 18.$$

Auf dieselbe Weise erhalten wir aus Fig. 75 mit  $s = 16$

$$y_1 = 5, \quad y_2 = 3, \quad y_1 + y_2 = 8 \text{ statt } 14$$

oder

$$y_1 = 11, \quad y_2 = 13, \quad y_1 + y_2 = 24 \text{ statt } 18.$$

Die in diesen Schemata erfolgte Verkürzung des Wicklungsschrittes können wir nun für Trommelanker allgemein ausdrücken, und schreiben

$$y_1 = \frac{s \pm b}{2p} - 1$$

$$y_2 = \frac{s \pm b}{2p} + 1$$

Hierin bedeutet  $b$  eine gerade Zahl. Das positive Vorzeichen von  $b$  gibt eine Verlängerung, das negative Vorzeichen eine Verkürzung des Schrittes.

## 2. Mehrpolige Trommelanker mit Parallelschaltung.

### 1. Die Parallelschaltung mit Schleifenwicklung.

In die allgemeine Formel

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{c} \pm a \right)$$

ist für Parallelschaltung mit Schleifenwicklung für beliebige Polzahlen

$$p = 1 \text{ und } a = 1$$

einzusetzen, für Trommelanker folgt dann allgemein

$$y = \frac{s}{2} \pm 1$$

und das Ende der  $x^{\text{ten}}$  Spule ist mit dem Anfange der  $(x + y)^{\text{ten}}$  Spule zu verbinden. — Die Spulenzahl  $\frac{s}{2}$  kann eine beliebige gerade oder ungerade Zahl sein.

Der Schritt, ausgedrückt durch die Zahlen  $y_1$  und  $y_2$  der Wicklungsfelder, welche auf der vordern und hintern Stirnfläche des Ankers übersprungen werden müssen, wird

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{s \pm b}{2p} - 1 \\ y_2 &= \frac{s \pm b}{2p} + 1 \end{aligned} \right\}$$

oder in eine Formel zusammengefaßt

$$y_{1,2} = \frac{s \pm b}{2p} \pm 1.$$

$b$  ist eine gerade Zahl. Diese Formel gibt uns für gerade und ungerade Spulenzahlen die Wicklungsschritte  $y_1$  und  $y_2$ . Die Zahl  $b$  hat den Zweck  $(s \pm b)$  durch  $2p$  teilbar zu machen und den Wicklungsschritt nach Wunsch zu verlängern oder zu verkürzen. Um eine einfach geschlossene Wicklung zu erhalten, müssen  $s$  und  $y_1$  oder  $s$  und  $y_2$  teilerfremd sein; der Wert von  $b$  ist so zu wählen, daß diese Bedingung erfüllt ist.

Im allgemeinen soll  $b$  den kleinsten Wert erhalten, welcher obigen Bedingungen entspricht. Ist  $s$  durch  $2p$  teilbar, so kann  $b = 0$  werden.

Für Maschinentypen, welche eine möglichst vielseitige Verwendung gestatten sollen, ist es zweck-

mässig von dieser Teilbarkeit abzusehen und die Spulenzahl, Kollektorlamellenzahl und ev. die Nutenzahl des Ankers so zu wählen, dafs sie unverändert bleiben, wenn von der Parallelschaltung zur Reihenschaltung übergegangen wird.

Sollen die parallel geschalteten Ankerstromkreise gleiche Drahtlänge besitzen, so mufs die Spulenzahl ein Vielfaches der halben Polzahl  $p$  sein. Ist somit  $p$  gerade, so mufs auch die Spulenzahl gerade sein, ist dagegen  $p$  ungerade, so kann die Spulenzahl gerade oder ungerade gewählt werden. Ist die Spulenzahl auch ein Vielfaches von  $2p$ , dann werden von den  $2p$  Bürsten gleichzeitig  $2p$  Spulen kurz geschlossen, ist dagegen  $s$  nur ein Vielfaches von  $p$ , so treten gleichzeitig nur  $p$  Spulen in Kurzschluss, obwohl, wegen der Breite der Bürsten, zu derselben Zeit  $2p$  Spulen kurz geschlossen sind.

Um die Schaltung eines mehrpoligen Trommelankers zu entwerfen, können wir entweder wie früher in der Weise verfahren, dafs wir den Trommelumfang in die gewünschte Anzahl Wicklungsfelder einteilen und die Spulenanfänge mit den Ziffern 1, 2, 3 u. s. f., die Spulenden mit den Ziffern 1', 2', 3' u. s. f. bezeichnen und alsdann die Schaltungsregel I anwenden, oder indem wir die Wicklungsfelder fortlaufend numerieren, die Wicklungsschritte  $y_1$  und  $y_2$  aus den obigen Formeln berechnen und nach der Schaltungsregel II verfahren.

**Trommelanker mit Schleifenwicklung, deren Spulenzahl ein Vielfaches der Polzahl ist.** Zur Veranschaulichung des oben Gesagten benutzen wir zunächst einen vierpoligen Anker mit 12 Spulen (Fig. 85).

Es ist

$$p = 2, \quad s = 24,$$

$$y = \frac{24}{2} - 1 = 11.$$

Es ist somit 1' mit  $1 + 11 = 12$  und einem Kollektorsegmente zu verbinden und wir erhalten die Wicklung 1, 1', 12, 12', 11, 11' u. s. f.

Es gelangen je 4 oder allgemein  $2p$  Spulen gleichzeitig zum Kurzschluss, z. B. 3—3', 6—6', 9—9' und 12—12'. Ist die Auflagebreite einer Bürste gröfser als die Breite einer Kollektorlamelle, so befinden sich zeitweise gleichzeitig  $4p$  Spulen im Kurzschluss.

Fig. 86 entspricht dem in die Papierebene abgerollten Schema der obigen Schleifenschaltung.

Ist die Lage der einen Erzeugenden der Spulen, z. B. 1, angenommen, so kommen für die Lage der zweiten Erzeugenden 1' dieselben Gesichtspunkte zur Geltung wie bei den zweipoligen Ankeren. In Fig. 85 kann 1' sowohl rechts als links von 4 liegen,

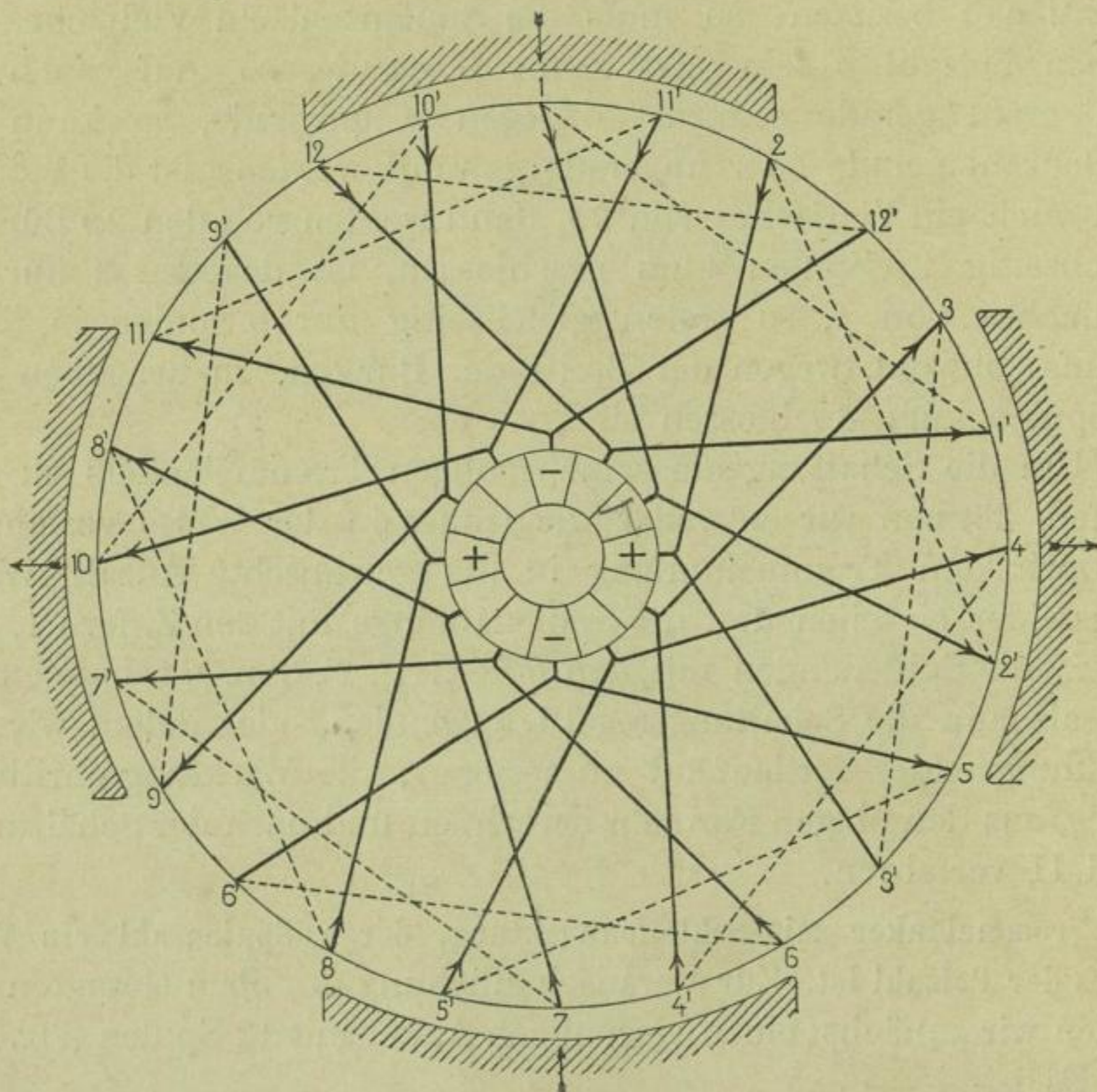
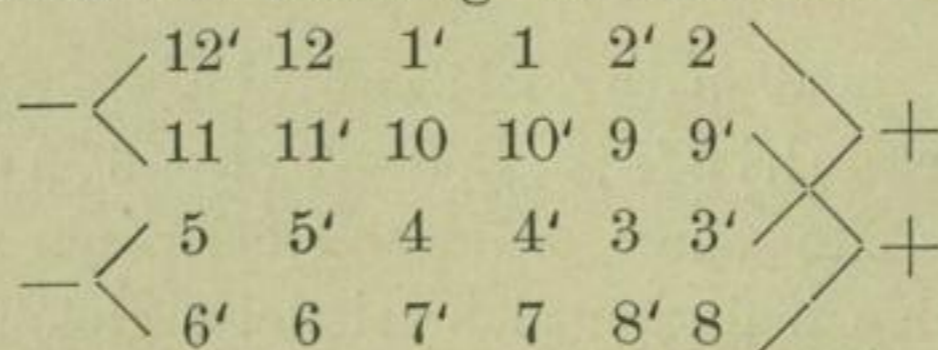


Fig. 85.

oder wir können zwischen 4 und 1' noch zwei Wicklungsfelder einschalten. Ebenso darf man die Drähte 1' über 3 oder 4 hinwegwickeln.

Für die gezeichnete Stellung der Armatur ist der Stromlauf



Jeder Ankerstromkreis enthält gleichviel Spulen.

Trommelanker mit Schleifenwicklung, deren Spulenzahl nur ein Vielfaches der halben Polzahl ist. Ähnlich der ungeraden Spulenzahl zweipoliger Maschinen verhält sich eine Spulenzahl, die ein Vielfaches von  $p$ , aber nicht von  $2p$  ist. Ist  $p$  ungerade, so kann die Spulenzahl ebenfalls ungerade sein. —

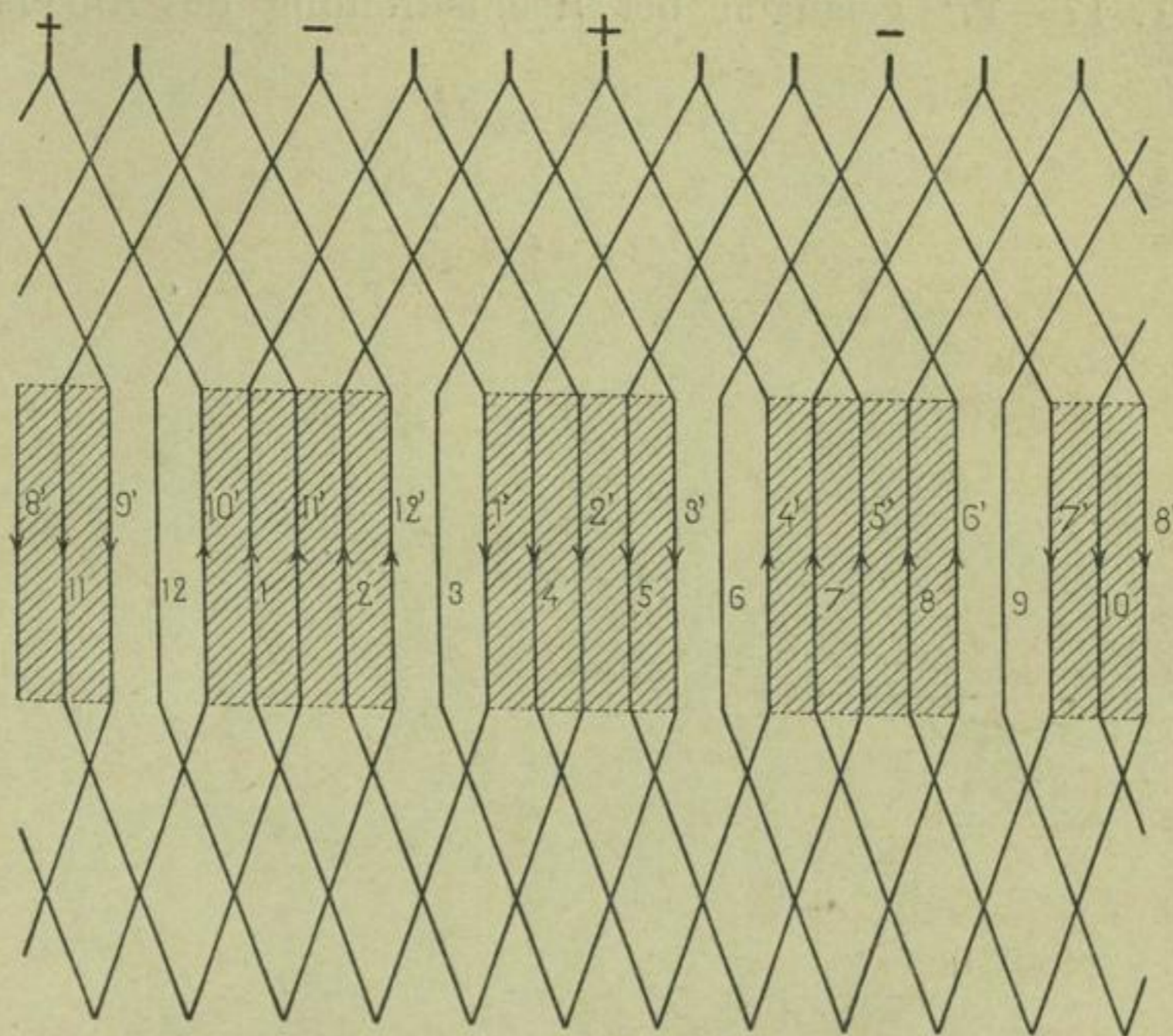


Fig. 86.

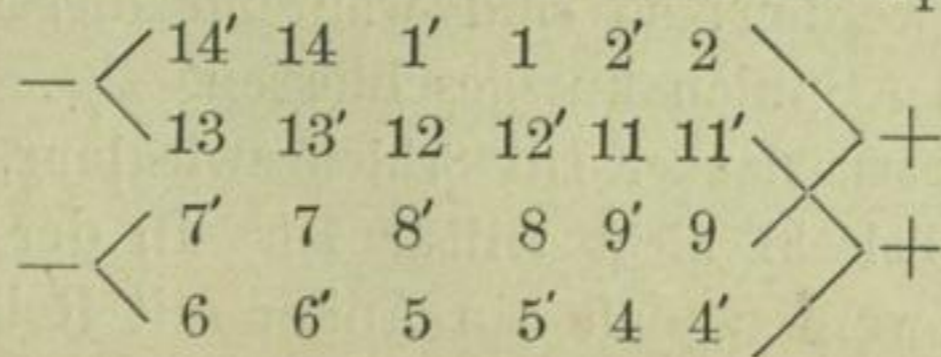
In Fig. 87 ist ein vierpoliges Schema für 14 Spulen oder

$$s = 28, \quad p = 2$$

$$y = \frac{28}{2} - 1 = 13$$

gezeichnet.

Es gelangen gleichzeitig nur  $p$  Spulen zum Kurzschluss. In der angenommenen Stellung sind es in Fig. 87 die Spulen 10—10' und 3—3', und die Spulen 13—13' und 6—6' gelangen bei Rechtsdrehung des Ankers alsbald in dieselbe Lage. Die vier Ankerstromkreise enthalten noch die Spulen



Dadurch, daß zwei Spulen aus dem Stromkreise ausgeschaltet sind, enthält jeder Ankerstromkreis gleich viel Spulen.

In Fig. 88 ist noch ein sechspoliges Schema mit 21 Spulen oder  $s = 42$ ,  $y = 21 - 1 = 20$  abgebildet. Die Spulen 7—7', 14—14', 21—21' sind kurzgeschlossen und die Spulen 3—3', 10—10', 17—17' gelangen bei Rechtsdrehung des Ankers zum

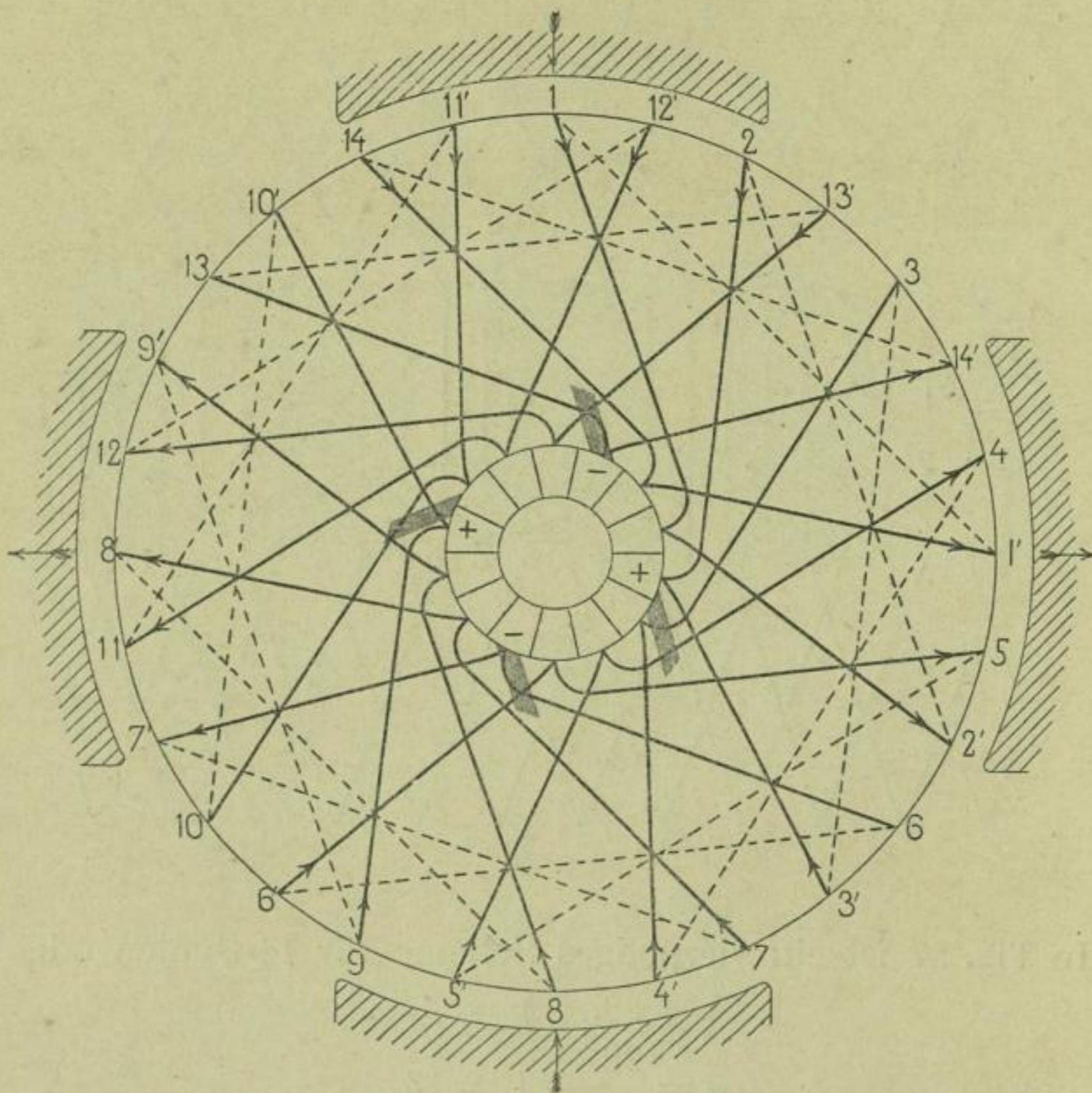


Fig. 87.

Kurzschlusse, noch bevor die ersten drei Spulen den Kurzschluss verlassen haben.

Beträgt die Breite einer Bürste mehr als die Breite einer Kollektorlamelle, so daß zeitweise drei Lamellen von einer Bürste kurzgeschlossen werden, so sind während dieser Zeit 9 Spulen, oder allgemein  $3p$  Spulen kurzgeschlossen.

Mehrpole Trommelanker mit Schleifenwicklung, deren Spulenzahl durch die halbe Polzahl nicht teilbar ist. In der Praxis kann die Aufgabe gestellt werden, daß ein Anker mit Reihenschaltung für



Parallelschaltung oder umgekehrt, ein Anker mit Parallelschaltung für Reihenschaltung umgewickelt werde. Die verlangte Stromspannung kann zugleich derart sein, daß derselbe Kollektor, und bei Nutenankern auch dieselbe Nutenzahl verwendbar ist.

Da eine Parallelschaltung für beliebige Spulenzahlen und Kollektorlamellenzahlen ausgeführt werden kann, so macht die Umänderung einer Reihenschaltung in eine Parallelschaltung keine Schwierigkeit.

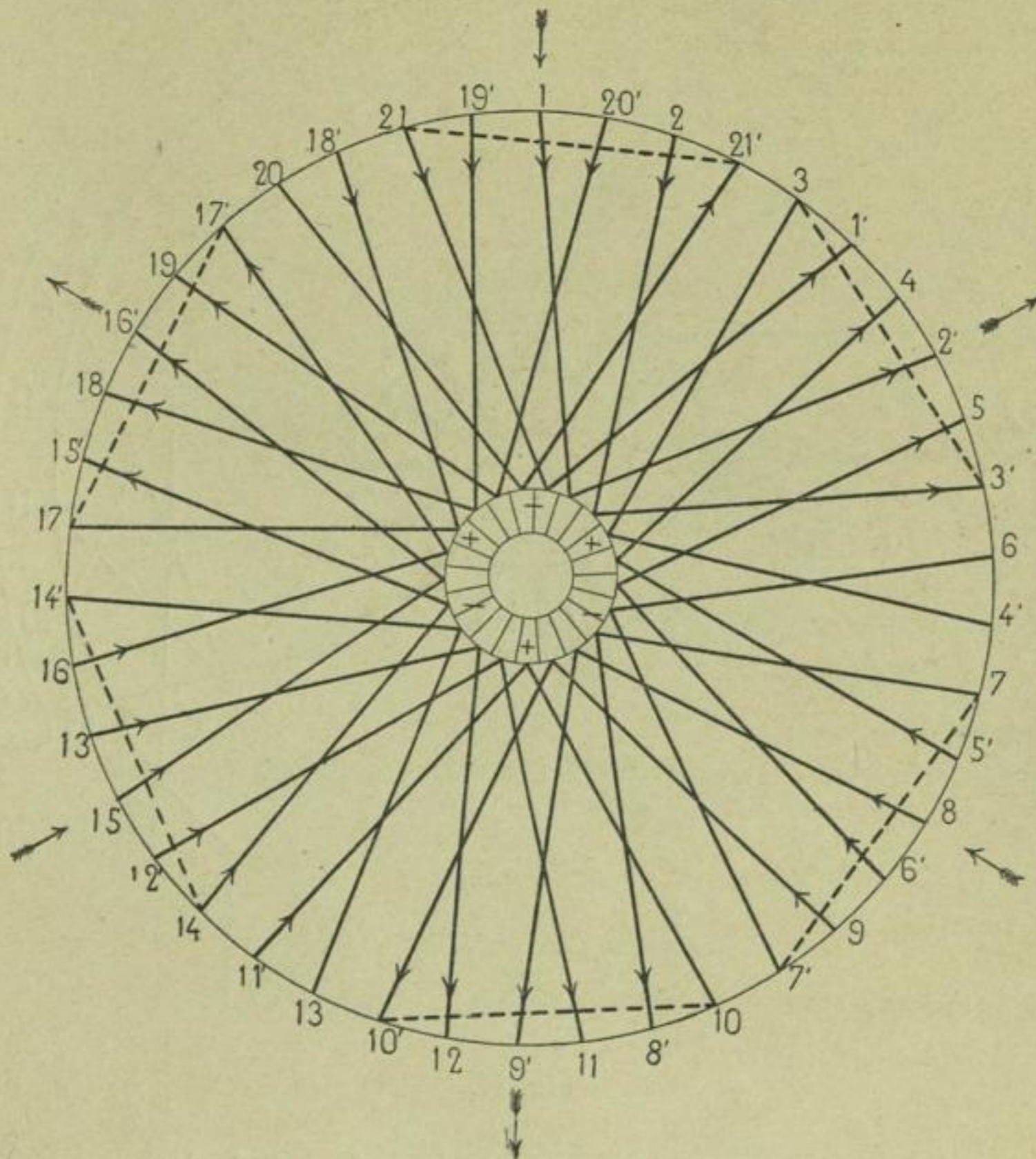


Fig. 88.

Umgekehrt kann eine Reihenschaltung wohl für beliebige Spulenzahlen, aber nicht für beliebige Lamellenzahlen hergestellt werden. Eine einfache, symmetrische Reihenwicklung wird nur erhalten, wenn die Spulenzahl und die Kollektorlamellenzahl der allgemeinen Schaltungsregel entspricht. Für Maschinentypen, welche eine möglichst vielseitige Verwendung gestatten sollen, ist es daher zweckmäßig, die Spulenzahl und Lamellenzahl entsprechend den Regeln für Reihenschaltung zu wählen.

Für die vierpolige Parallelschaltung, Fig. 89 ist das geschehen. Es sind 15 Spulen ( $s = 30$ ) und 15 Kollektorsegmente vorhanden. Für Reihenschaltung würde

$$y = \frac{1}{2} \left( \frac{30}{2} - 1 \right) = 7.$$

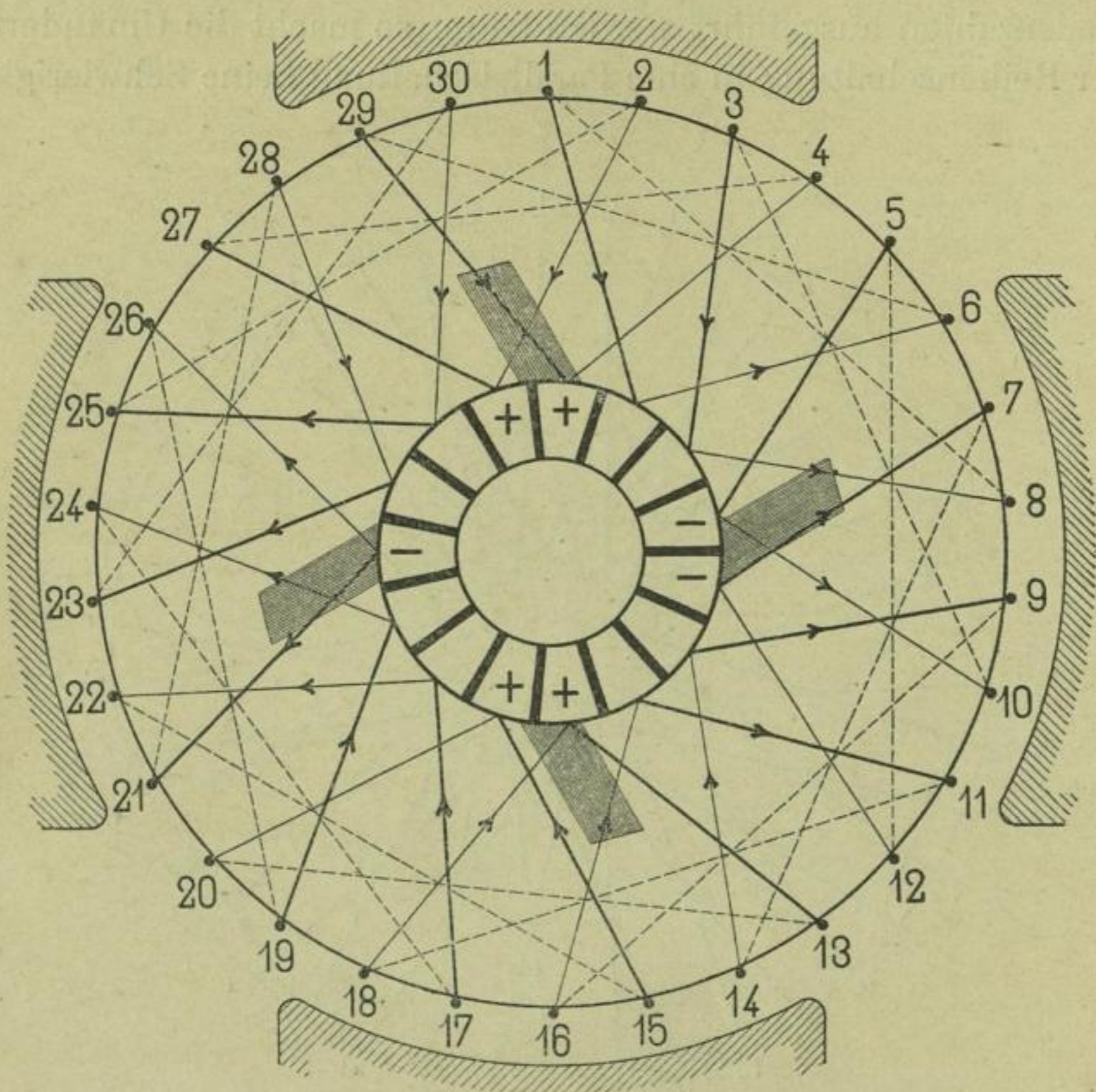


Fig. 89.

Die Parallelschaltung ist mit Hilfe der Schaltungsregel II zu entwerfen. Wir haben:

$$y_{1,2} = \frac{s \pm b}{2p} \pm 1 = \frac{30 \pm b}{4} \pm 1.$$

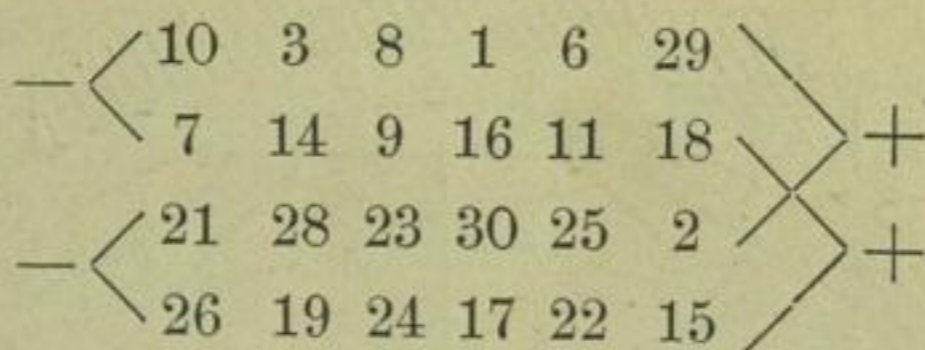
Brauchbare Werte von  $b$  sind  $+2$  und  $-8$ . Der Wert  $-2$  ist nicht verwendbar, weil dann  $y_1 = 6$ ,  $y_2 = 8$  würde und beide Werte mit  $s$  den gemeinschaftlichen Teiler 2 haben. Wir wählen denn Wert  $-8$  und erhalten

$$y_1 = \frac{30 - 8}{4} + 1 = 7$$

$$y_2 = \frac{30-8}{4} - 1 = 5,$$

es ist also 1 mit  $1+7=8$  und 8 mit  $8-5=3$ , 3 mit  $3+7=10$ , 10 mit  $10-5=5$  u. s. f. zu verbinden.

Bei der gezeichneten Lage der Armatur sind die drei Spulen 4—27, 5—12 und 13—20 kurzgeschlossen und der Stromlauf hat die Richtung



Jeder Ankerstromkreis enthält somit gleich viel Stäbe.

Befinden sich die Bürsten genau unter  $90^\circ$  und sind alle gleich breit, so tritt gleichzeitig nur eine Spule in Kurzschluss, weil die Lamellenzahl durch die Bürstenzahl nicht teilbar ist.

Die mehrpolige Schleifenwicklung mit verkürztem Schritte. Die in den Figuren 85 und 87 dargestellten Wicklungen lassen sich so ausführen, dass der Wicklungsschritt kürzer und die Zahl der Kreuzungen einer Spule mit den übrigen kleiner wird. In Fig. 85 kann z. B. statt 1' mit 12 auch 1 mit 12' verbunden werden, es ergibt sich ebenfalls ein richtiges Schema, nur vertauscht die negative Bürste ihre Stellung mit der positiven. Ebenso können wir in Fig. 87 anstatt 1' mit 14 auch 1 mit 14' verbinden, wodurch der Schritt kürzer ausfällt.

Diese Verkürzung des Schrittes kann allgemein durch die Formel

$$y_{1,2} = \frac{s-b}{2p} \pm 1$$

ausgedrückt werden. Eine Verkürzung des Schrittes tritt dann ein, wenn für  $b$  nicht der kleinste mögliche Wert, sondern ein größerer Wert eingesetzt wird. Dabei ist zu beachten, dass die drei Zahlen  $s$ ,  $y_1$  und  $y_2$  für einfach geschlossene Wicklungen keinen gemeinschaftlichen Teiler haben dürfen.

Als Beispiel wähle ich eine vierpolige Wicklung mit  $s=24$ . Es wird

$$y_{1,2} = \frac{24-b}{4} \pm 1.$$

$b = 0$  gibt den unverkürzten Schritt.  $b = 4$  ist nicht brauchbar, weil damit  $y_1$  und  $y_2$  gerade werden. Wir wählen  $b = 8$

$$y_1 = \frac{24-8}{4} + 1 = 5$$

$$y_2 = \frac{24-8}{4} - 1 = 3$$

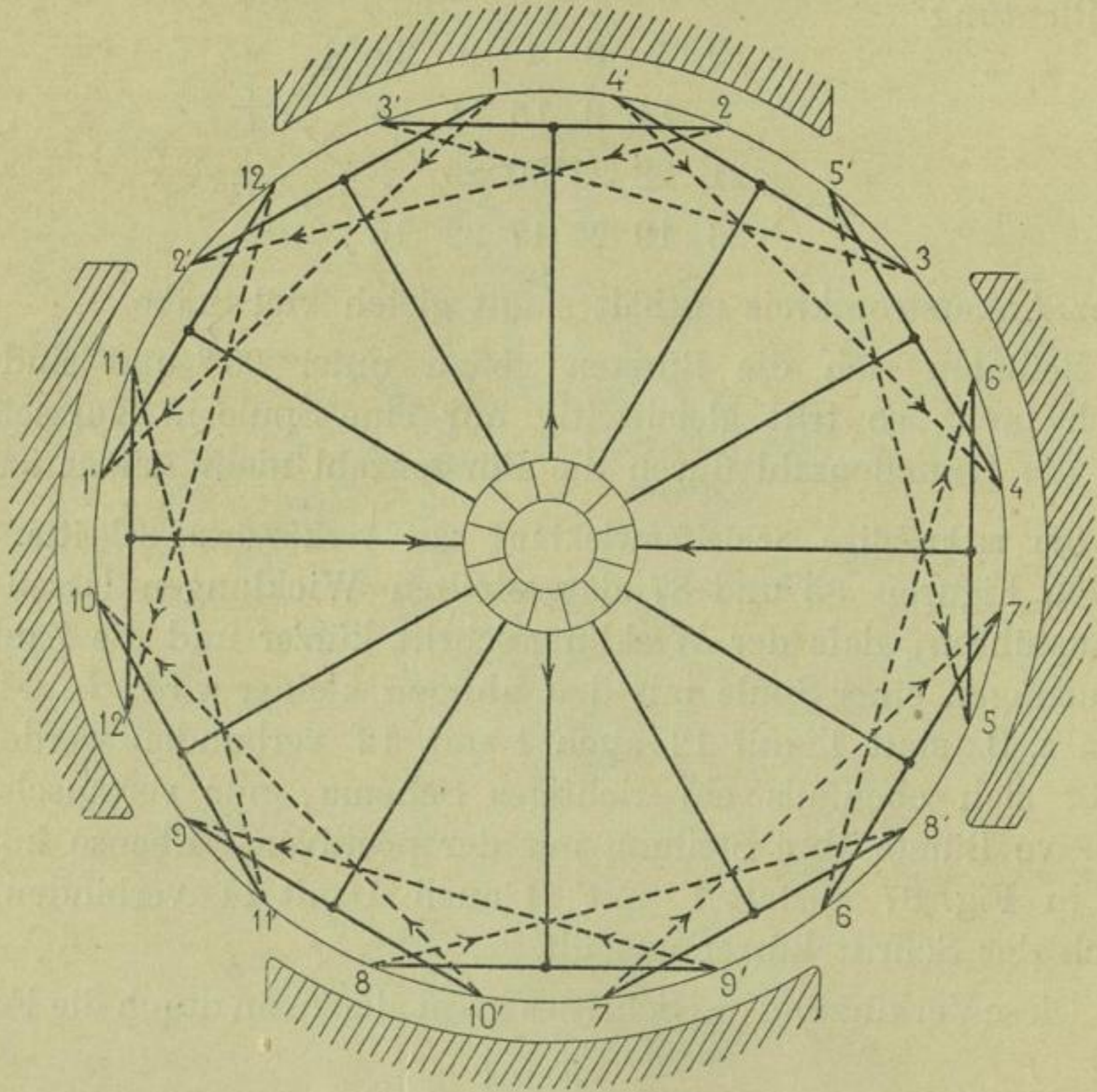


Fig. 90.

Ein Vergleich der Fig. 90 und des abgerollten Schemas Fig. 91 mit dem frühern Schema Fig. 86 für eine gleiche Spulenzahl zeigt, daß die Zahl der Kreuzungen pro Spule auf beiden Stirnflächen des Ankers um zwei vermindert worden ist.

Diese Verkürzung des Wicklungsschrittes, welche für zwei-polige Anker von Swinburne (vergl. Fig. 75) und für mehr-polige Anker von Thury und anderen Konstrukteuren angewandt wird, hat noch den weitem Vorteil, daß die Querverbindungen der Spulen weniger Raum beanspruchen.

**Trommelanker mit Schleifenwicklung und übereinanderliegenden Spulen.** Liegen die Windungen benachbarter Spulen übereinander, wie in dem folgenden Schema Fig. 92 angenommen, so kann, wenn die halbe Spulenzahl ungerade ist, eine symmetrische Anordnung derselben erreicht werden, indem man abwechselnd innere und äußere Spulen aneinander schließt.

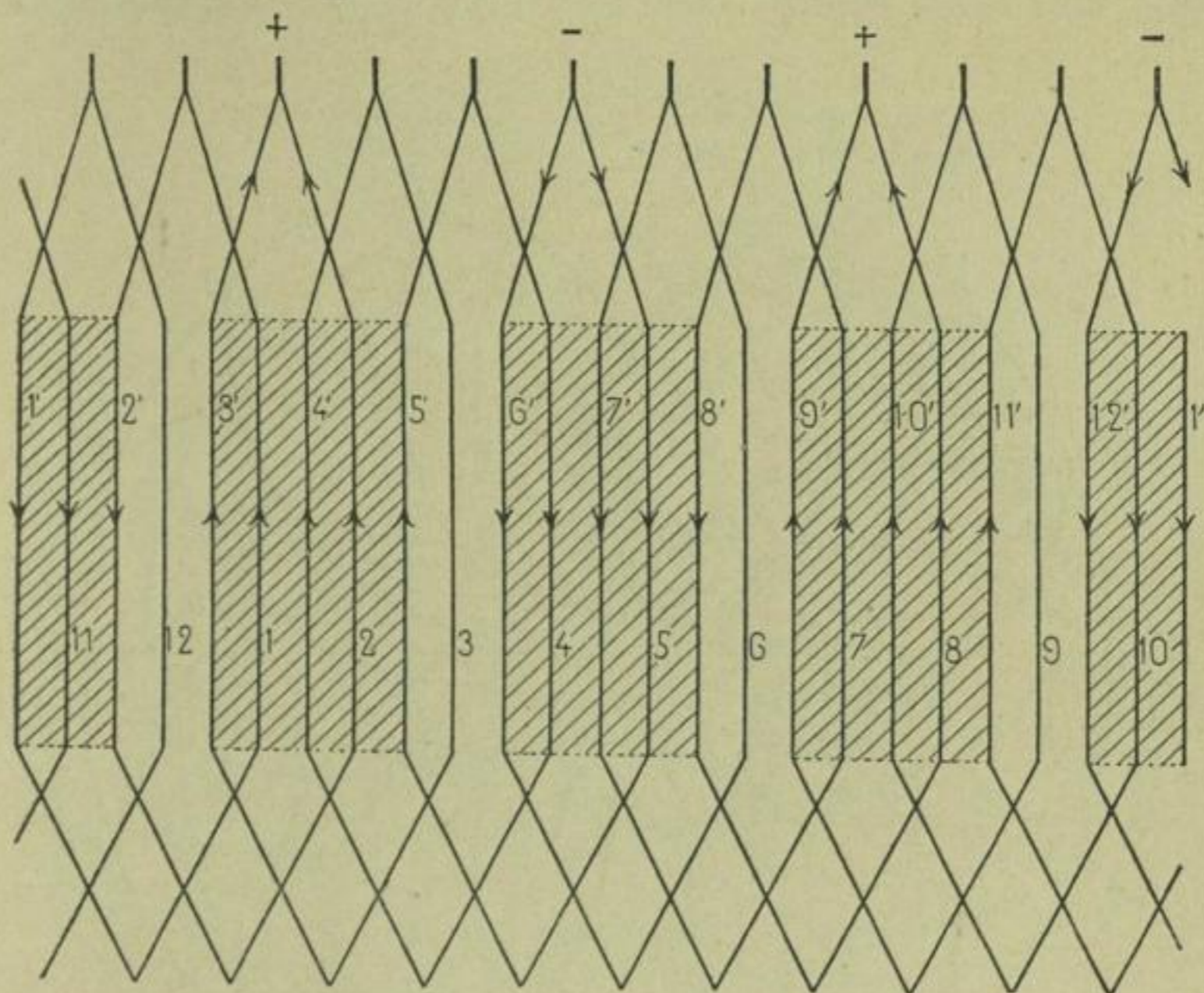


Fig. 91.

In der gezeichneten Stellung sind die vier Armaturzweige folgende:

$$\left. \begin{array}{l} e \quad 14' \quad 14 \quad d \quad 15' \quad 15 \quad c \quad 16' \quad 16 \quad b \quad 1' \quad 1 \quad a \\ e \quad 13 \quad 13' \quad f \quad 12 \quad 12' \quad g \quad 11 \quad 11' \quad h \quad 10 \quad 10' \quad a \\ e_1 \quad 6' \quad 6 \quad d_1 \quad 7' \quad 7 \quad c_1 \quad 8' \quad 8 \quad b_1 \quad 9' \quad 9 \quad a_1 \\ e_1 \quad 5 \quad 5' \quad f_1 \quad 4 \quad 4' \quad g_1 \quad 3 \quad 3' \quad h_1 \quad 2 \quad 2' \quad a. \end{array} \right\} +$$

Jedem derselben gehören zwei innen- und zwei außenliegende Spulen an.

Diese Schaltung ist dann geeignet, wenn die Armaturspulen aus mehreren Windungen Draht bestehen.

Wird die Wicklung aus einzelnen Stäben hergestellt, welche an den Enden abgekröpft und verlötet, oder durch besondere Kupferstreifen miteinander verbunden werden, so wird zweckmäßiger ein Verbindungsschema nach Fig. 93 gewählt. Die

Enden aller innern Stäbe werden nach der einen Richtung und die Enden aller äußern Stäbe nach der andern Richtung abgebogen, und je ein innerer und ein äußerer Stab werden miteinander verbunden. In der Figur sind der Deutlichkeit halber die Verbindungen auf der hintern Seite des Ankers nach aussen verlegt worden.

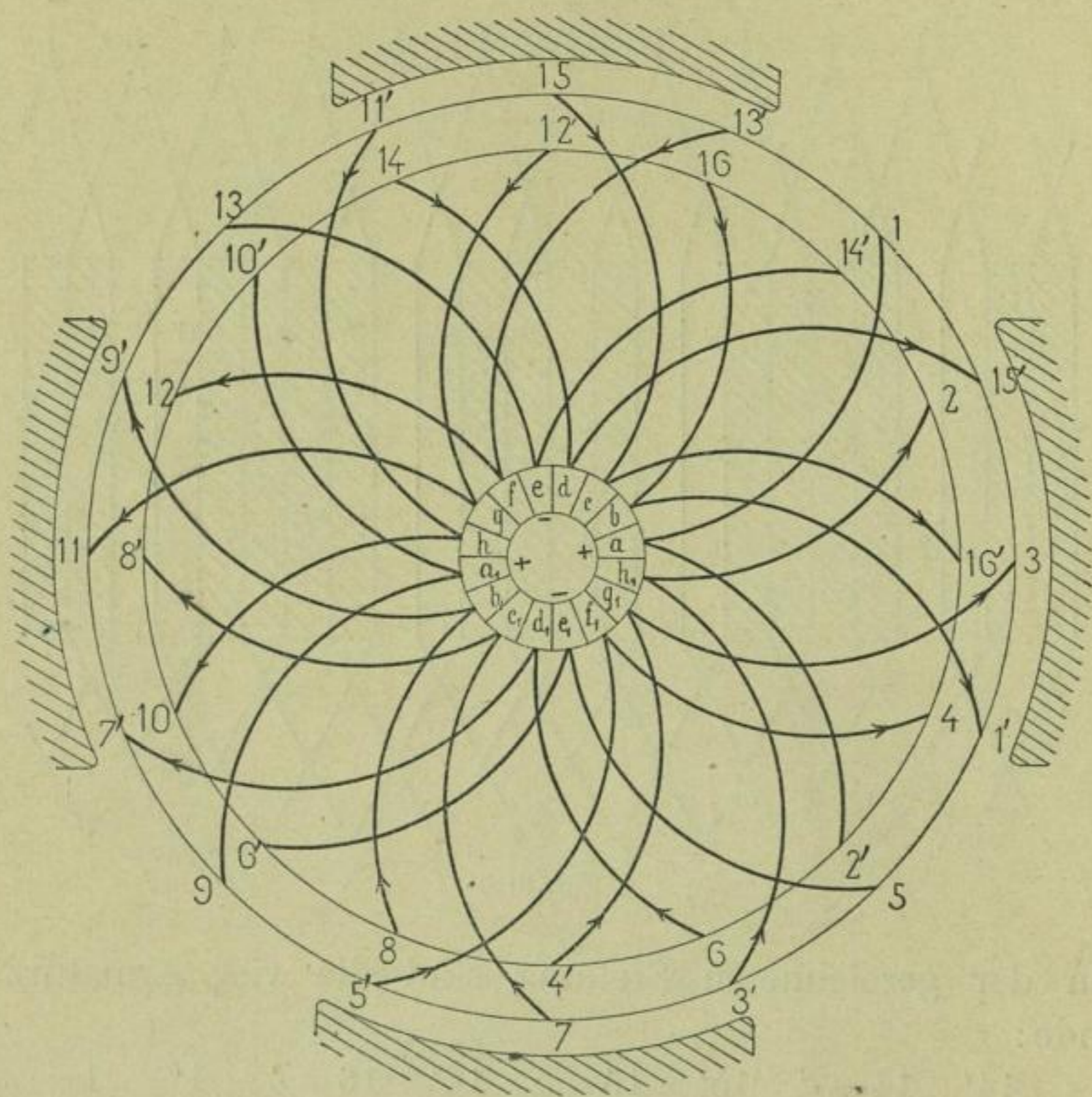


Fig. 92.

Die Wicklung besteht nun aus  $\frac{s}{2}$  kurzen und  $\frac{s}{2}$  langen Stäben, die kurzen Stäbe und deren Querverbindungen liegen innen und die langen Stäbe außen.

Für Fig. 93 ist

$$y_{1;2} = \frac{32 - b}{4} \pm 1,$$

für  $b = 0$  wird

$$y_1 = 8 + 1 = 9$$

$$y_2 = 8 - 1 = 7.$$

Da zwei Wicklungsfelder zu einem vereinigt sind, so beträgt der Schritt

$$\frac{y_1 - 1}{2} = 4$$

und

$$\frac{y_2 - 1}{2} = 3$$

Wicklungsfelder. Wir verbinden den innern Stab des Wicklungs-

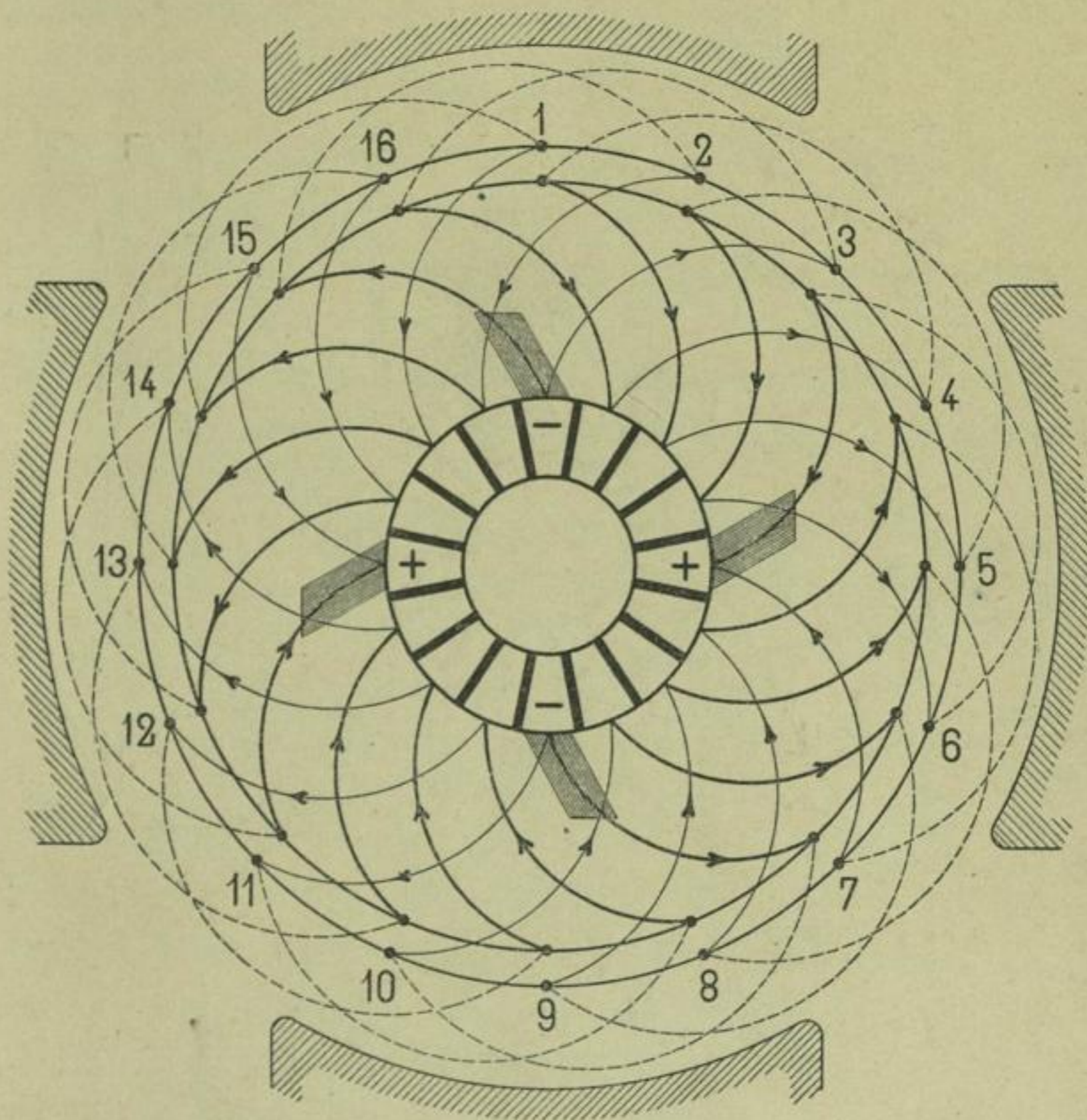


Fig. 93.

feldes 1 mit dem äußern Stab von  $1 + 4 = 5$  und den äußern Stab 5 mit dem innern  $5 - 3 = 2$ .

Der Wicklungsschritt ließe sich verkürzen. Für  $b = 8$  wird

$$y_1 = 7, \quad \frac{y_1 - 1}{2} = 3,$$

$$y_2 = 5, \quad \frac{y_2 - 1}{2} = 2.$$

Mehrpoliger Trommelanker mit Parallelschaltung und Wellenwicklung von dem Verfasser. In der ersten Auflage dieses Buches habe ich gezeigt, daß die Wellenwicklung sich nicht nur für Reihenschaltung, sondern auch für Parallelschaltung eignet. Ich habe nun Gelegenheit gehabt, diese Schaltung für Trommelanker vielfach in Anwendung zu bringen.

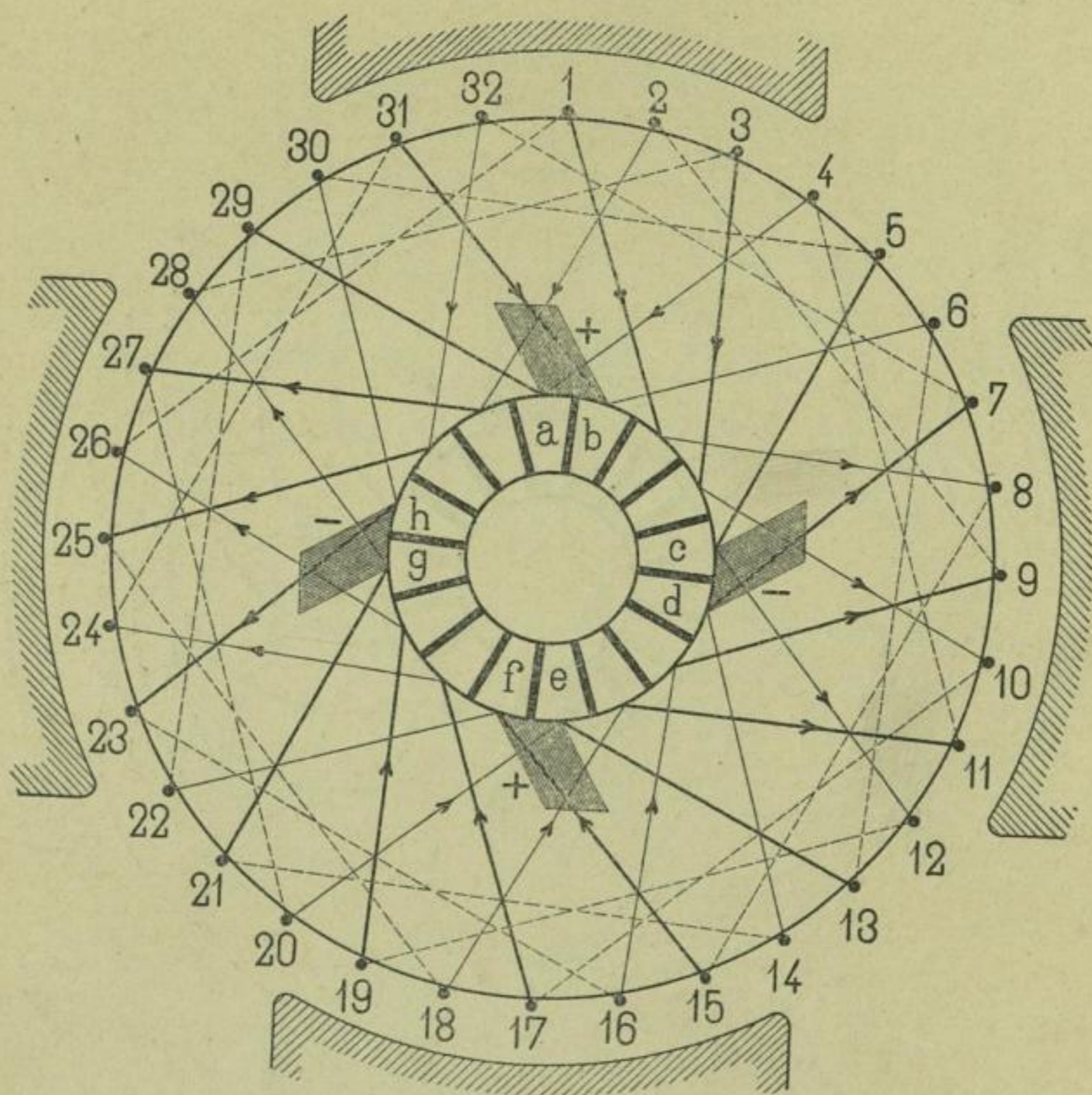


Fig. 94.

Die Eigentümlichkeiten dieser Schaltung sind auf Seite 36 u. f. für Ringankerwicklungen ausführlich erörtert worden. Für Trommelanker tritt noch ein weiterer Vorzug dieser Schaltung hinzu. Während bei der Schleifenwicklung die Querverbindungen oder Kröpfungen der Armaturstäbe auf der hintern und vordern Seite der Armatur verschieden sind, fällt diese Verschiedenheit bei den Wellenwicklungen, für welche  $y_1 = y_2$  ist, fort. Für die Fabrikation der Stabwicklungen ist das angenehm.



Die Parallelschaltung mit Wellenwicklung geht aus der allgemeinen Schaltungsregel für  $a = p$  hervor.

Für Trommelanker wird dann allgemein

$$y = \frac{s}{2p} \pm 1,$$

$\frac{s}{2}$  und  $y$  müssen teilerfremd sein.

Mit den Annahmen

$$p = 2, \quad s = 32, \quad y = \frac{32}{4} - 1 = 7$$

ist in Fig. 94 ein Schema entworfen. Es ist 1 mit  $1 + 7 = 8$ , 8 mit  $8 + 7 = 15$  u. s. f. verbunden.

Sämtliche Spulen bilden eine einzige in sich geschlossene Wicklung.

Die bei der Ringwicklung (Fig. 36) erwähnte Eigentümlichkeit, daß die kurzgeschlossenen Spulen in Serie geschaltet sind, ist hier ebenfalls ersichtlich.

Die positiven Bürsten, welche die Segmente  $ab$  und  $cd$  verbinden, schliessen die Armaturdrähte 6, 13, 22 und 29 kurz, sie bilden zusammen den Stromkreis

$$a \quad b \quad 6 \quad 13 \quad e \quad f \quad 22 \quad 29 \quad a$$

und die negativen schliessen den Stromkreis

$$c \quad d \quad 14 \quad 21 \quad g \quad h \quad 30 \quad 5 \quad c,$$

die Armaturdrähte 14, 21, 30 und 5 sind daher ebenfalls aus den wirksamen Ankerstromzweigen ausgeschaltet.

Die vier Ankerstromzweige bestehen aus den Stäben

$$- \left\{ \begin{array}{cccccccc} c & 12 & 19 & 26 & 1 & 8 & 15 & f \\ d & 7 & 32 & 25 & 18 & 11 & 4 & a \\ g & 28 & 3 & 10 & 17 & 24 & 31 & b \\ h & 23 & 16 & 9 & 2 & 27 & 20 & e \end{array} \right\} +$$

Die Parallelschaltung mit Wellenwicklung eignet sich nur für bestimmte Spulenzahlen

$$s = 2p(y \pm 1),$$

wobei  $s$  und  $y$  teilerfremd sein müssen.

In nachstehender Tabelle sind die möglichen Stabzahlen für 4, 6 und 8 Pole zusammengestellt. Jeder Spulenzahl entsprechen zwei Werte von  $y$ . Man wird am besten den kleineren Wert wählen.

4 Pole		6 Pole		8 Pole	
Stabzahl $s =$	Schritt $y =$	Stabzahl $s =$	Schritt $y =$	Stabzahl $s =$	Schritt $y =$
64	15 oder 17	72	11 oder 13	96	11 oder 13
72	17 › 19	84	13 › 15	112	13 › 15
80	19 › 21	96	15 › 17	128	15 › 17
88	21 › 23	108	17 › 19	144	17 › 19
96	23 › 25	120	19 › 21	160	19 › 21
104	25 › 27	132	21 › 23	176	21 › 23
112	27 › 29	144	23 › 25	192	23 › 25
120	29 › 31	156	25 › 27	208	25 › 27
128	31 › 33	168	27 › 29	224	27 › 29
136	33 › 35	180	29 › 31	240	29 › 31
144	35 › 37	192	31 › 33	256	31 › 33
152	37 › 39	204	33 › 35	272	33 › 35
160	39 › 41	216	35 › 37	288	35 › 37

u. s. f.

Für grössere Stabzahlen kann anstatt eines Schemas, wie früher angegeben worden (S. 56), eine Wicklungstabelle aufgestellt werden. Für den Entwurf der Wicklung genügt es jedoch, wenn nur ein Teil derselben gezeichnet wird.

Die abgerollten Schemas Fig. 86 und 91 lassen eine in neuerer Zeit vielfach gebräuchliche Ausführungsart der Trommelwicklungen erkennen. Wir können das Schema in gestreckter Lage auf dem Mantel der Trommel aufwickeln und daher die ganze Wicklung auf der cylindrischen Fläche der Trommel ausführen.

**Mehrpole Trommelanker mit Parallelschaltung nach Mordey.** Die von Mordey zuerst angegebene Verbindung der zum magnetischen Felde symmetrisch gelegenen Kollektorlamellen kann dreierlei Zweck haben. Entweder will man dadurch die Zahl der Bürsten vermindern oder die Möglichkeit haben, die Bürsten abzuheben, ohne daß die Stromverteilung im Anker verändert wird, oder man bezweckt damit einen Ausgleich von kleinen Spannungsdifferenzen in den einzelnen Ankerstromzweigen und eine gleiche Stromabgabe sämtlicher Bürsten. Dem letzteren Zwecke, welcher nur bei kleinen Ankerwiderständen oder grossen Stromstärken

in Betracht kommen kann, wird durch die oben angeführte Wellenwicklung allerdings besser entsprochen.

Für die Mordeyschaltung muß die Kollektorlamellenzahl durch die halbe Polzahl oder  $s$  durch  $2p$  teilbar sein.

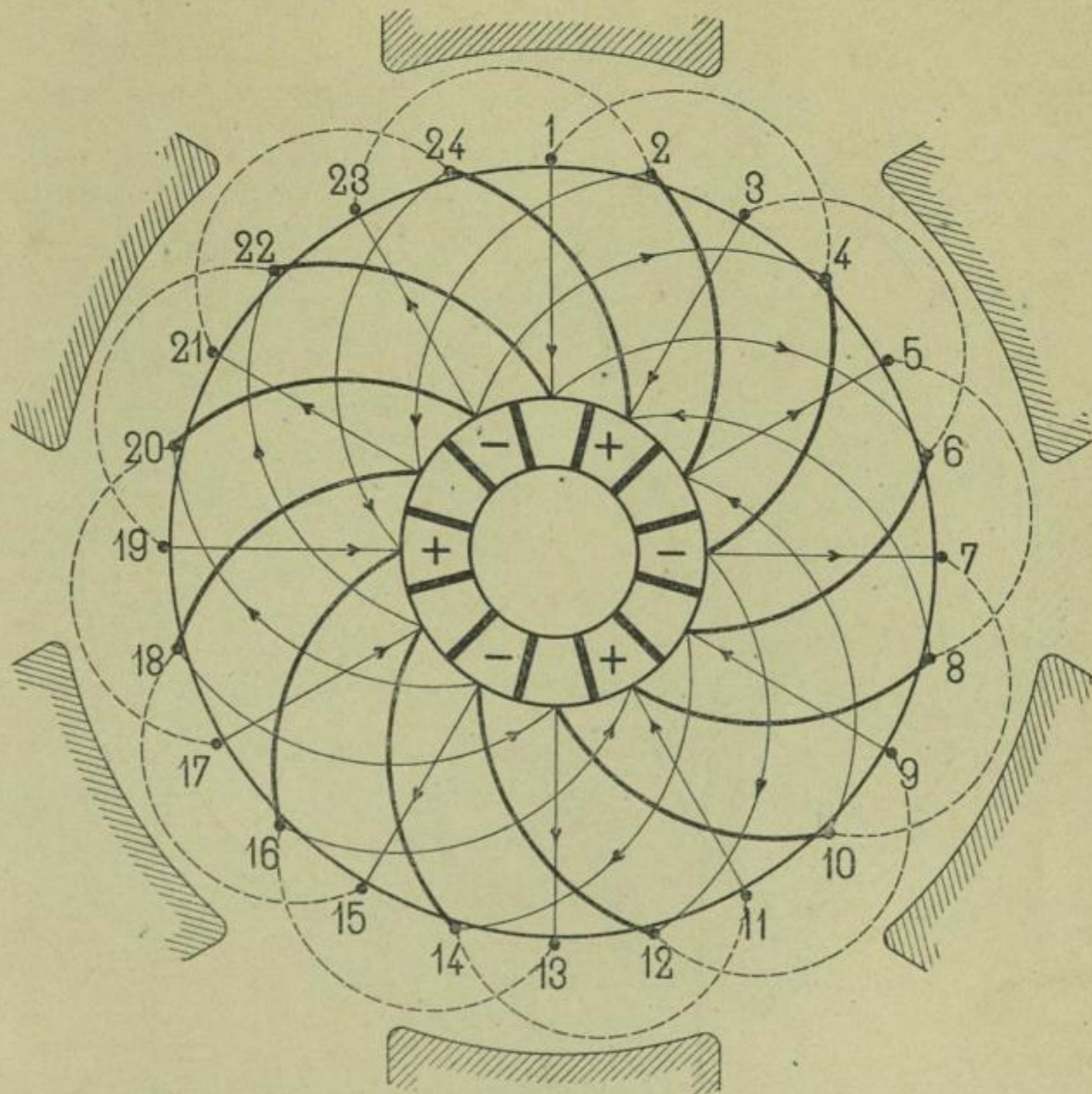


Fig. 95.

In Fig. 95 ist für die Annahmen

$$p = 3, \quad s = 24$$

ein Schema entworfen. Es wird

$$y_{1,2} = \frac{24 - b}{6} \pm 1$$

für  $b = 0$

$$y_1 = 5, \quad y_2 = 3.$$

Die Mordeyverbindungen sind durch starke Striche hervorgehoben und außerhalb des Kollektors verlegt. Auf diese Art sind für Stabwicklungen die Querverbindungen gut auszuführen,

die geraden radialen Stäbe liegen in der einen, die rechts abgebogenen Querverbindungen in der zweiten und die links abgebogenen Mordeyverbindungen in der dritten Ebene<sup>1)</sup>. — Die Verbindungen auf der hinteren Seite der Trommel sind der Deutlichkeit wegen nach aussen verlegt worden. Die Stromrichtung

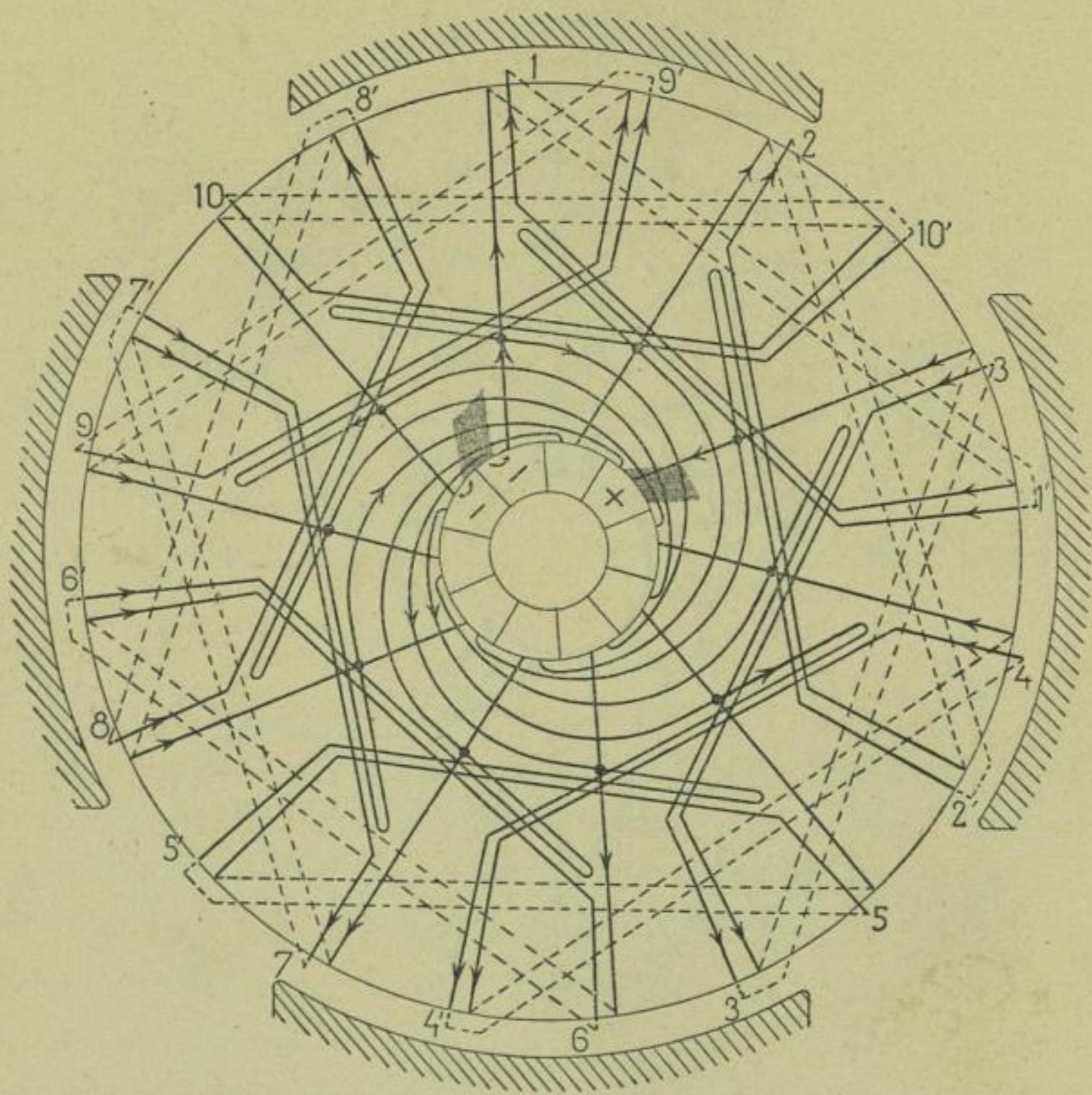


Fig. 96.

in den Mordeyverbindungen ist unbestimmt und daher nicht eingezeichnet.

Für Anker mit Drahtwicklungen erfolgt die Ausführung der Mordeyverbindungen ebenfalls mittels Drähten oder Kupferlamellen nach dem Schema Fig. 39.

In Fig. 96 ist noch ein vierpoliger Trommelanker von Alioth & Co. (jetzt Elektrizitäts-Gesellschaft Alioth), bei welchem die gegenüberliegenden Lamellen nach Mordey leitend verbunden sind, dargestellt. Die Spulen 10 und 5 befinden sich in der neutralen Lage und sind kurz geschlossen.

<sup>1)</sup> Nach Ausführungen der Maschinenfabrik Oerlikon.

### 3. Mehrpolige Trommelanker mit Reihenschaltung.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Reihenschaltung der Ring- und Trommelanker ist nicht vorhanden, es mag daher an dieser Stelle einfach auf das dort (S. 45 u. f.) Gesagte verwiesen werden.

Jedes Schema, welches sich für Ringanker eignet, kann auf Trommelanker übertragen werden, indem einfach die zweite Erzeugende der Spule, welche bei der Ringwicklung induktionsfrei ist, in ein magnetisches Feld gebracht wird, dessen Polarität demjenigen der ersten Erzeugenden entgegengesetzt gerichtet ist.

Im Nachfolgenden werde ich mich hauptsächlich auf die symmetrischen Reihenschaltungen, welche aus der Anwendung des Wicklungsschemas von Perry auf Trommelanker hervorgehen, beschränken, diese allein haben praktische Bedeutung. Die ersten Trommelanker mit Reihenwicklung sind von Paris und Scott<sup>1)</sup> ausgeführt worden.

Die Reihenschaltung ist entweder eine reine Wellenwicklung oder eine Kombination von Schleifen- und Wellenwicklung.

Die Reihenschaltung mit Wellenwicklung. Zum Entwerfen der Reihenschaltung mit Wellenwicklung benützen wir entweder die Schaltungsformel 1) oder 2) (S. 24).

Für Trommelanker ist  $c = 2$  und  $a = 1$ . Die Formel 1) lautet dann

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{2} \pm 1 \right) \dots \dots \dots 1)$$

Wird die Wicklung in Spulen eingeteilt, deren Zahl  $= \frac{s}{2}$ , so ist diese Formel für die Benützung bequemer.

Für Trommelanker mit Stabwicklung ist dagegen die Formel

$$cy = \frac{s \pm ac}{p}$$

geeigneter. Für Trommelanker lautet dieselbe

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm 2}{p} \dots \dots \dots 3)$$

Die Stabzahl ist

$$s = p (y_1 + y_2) \pm 2,$$

<sup>1)</sup> Specif. of Patent Nr. 4683 von 1884. Ferner H. Müller Amerik. Pat. Nr. 331726 v. 1. Dez. 1885.

ferner müssen

$$\frac{s}{2} \text{ und } \frac{y_1 + y_2}{2}$$

teilerfremd und die Schritte  $y_1$  und  $y_2$  ungerade sein. Die Summe  $y_1 + y_2$  ist stets gerade und wird in zwei ungerade Zahlen zerlegt. Die Differenz  $y_1 - y_2$  kann  $= 0$ ,  $= 2$ , oder ein Vielfaches von 2 sein. Ich werde in den nachfolgenden Tabellen nur die beiden ersten Möglichkeiten berücksichtigen.

Um eine Reihenschaltung zu erhalten, sind die Schritte  $y_1$  und  $y_2$  auf der vordern und hintern Seite des Ankers in gleicher Richtung zurückzulegen.

Ist die Kollektorlamellenzahl

$$k = \frac{s}{2},$$

so wird die Zahl der Spulen, welche von einer Bürste gleichzeitig kurz geschlossen werden  $= p$ .

Die größte Spannungsdifferenz zwischen benachbarten Spulen wird gleich oder nahezu gleich der vollen Spannung zwischen einer positiven und einer negativen Bürste.

Der Winkel zwischen einer positiven und einer negativen Bürste ist  $= \frac{180}{p}$  Grad oder ein ungerades Vielfache davon. Die Zahl der Bürsten kann für eine beliebige Polzahl bis auf zwei vermindert werden, darf aber, ebenso wie bei Parallelschaltung, allgemein  $= 2p$  sein.

Im nachfolgenden ist zunächst eine Tabelle der möglichen Stabzahlen  $s$  und der zugehörigen Schritte  $y_1$  und  $y_2$  für 4, 6, 8 und 10 Pole gegeben.

Aus den Tabellen ist ersichtlich, daß nur für 4 Pole jede der angegebenen Stabzahlen gleiche Werte von  $y_1$  und  $y_2$  ergibt, obwohl jeder Stabzahl auch ungleiche Werte von  $y_1$  und  $y_2$  entsprechen. Für mehr als vier Pole erhält man entweder gleiche oder ungleiche Werte von  $y_1$  und  $y_2$ . Im allgemeinen wird man gleichen Werten den Vorzug geben, besonders für Stabwicklungen, weil dann die vordern und hintern Querverbindungen gleich werden.

4 Pole ( $p = 2$ )			6 Pole ( $p = 3$ )		
Stabzahl $s =$	Schritt		Stabzahl $s =$	Schritt	
	$y_1 =$	$y_2 =$		$y_1 =$	$y_2 =$
58 und 62	15	15	88 und 92	15	15
62 > 66	15	17	94 > 98	15	17
66 > 70	17	17	100 > 104	17	17
70 > 74	17	19	106 > 110	17	19
74 > 78	19	19	112 > 116	19	19
78 > 82	19	21	118 > 122	19	21
82 > 86	21	21	124 > 128	21	21
86 > 90	21	23	130 > 134	21	23
90 > 94	23	23	136 > 140	23	23
94 > 98	23	25	142 > 146	23	25
98 > 102	25	25	148 > 152	25	25
102 > 106	25	27	154 > 158	25	27
106 > 110	27	27	160 > 164	27	27
110 > 114	27	29	166 > 170	27	29
114 > 118	29	29	172 > 176	29	29
118 > 122	29	31	178 > 182	29	31
122 > 126	31	31	184 > 188	31	31
126 > 130	31	33	190 > 194	31	33
130 > 134	33	33	196 > 200	33	33
134 > 138	33	35	202 > 206	33	35
138 > 142	35	35	208 > 212	35	35
142 > 146	35	37	214 > 218	35	37
146 > 150	37	37	220 > 224	37	37
150 > 154	37	39	226 > 230	37	39
154 > 158	39	39	232 > 236	39	39
158 > 162	39	41	238 > 242	39	41
162 > 166	41	41	244 > 248	41	41
166 > 170	41	43	250 > 254	41	43
170 > 174	43	43	256 > 260	43	43
174 > 178	43	45	262 > 266	43	45
178 > 182	45	45	268 > 272	45	45
182 > 186	45	47	274 > 278	45	47
186 > 190	47	47	280 > 284	47	47
190 > 194	47	49	286 > 290	47	49
194 > 198	49	49	292 > 296	49	49
198 > 202	49	51	298 > 302	49	51
202 > 206	51	51	304 > 308	51	51

8 Pole ( $p = 4$ )			10 Pole ( $p = 5$ )		
Stabzahl $s =$	Schritt		Stabzahl $s =$	Schritt	
	$y_1 =$	$y_2 =$		$y_1 =$	$y_2 =$
118 und 122	15	15	148 und 152	15	15
126 › 130	15	17	158 › 162	15	17
134 › 138	17	17	168 › 172	17	17
142 › 146	17	19	178 › 182	17	19
150 › 154	19	19	188 › 192	19	19
158 › 162	19	21	198 › 202	19	21
166 › 170	21	21	208 › 212	21	21
174 › 178	21	23	218 › 222	21	23
182 › 186	23	23	228 › 232	23	23
190 › 194	23	25	238 › 242	23	25
198 › 202	25	25	248 › 252	25	25
206 › 210	25	27	258 › 262	25	27
214 › 218	27	27	268 › 272	27	27
222 › 226	27	29	278 › 282	27	29
230 › 234	29	29	288 › 292	29	29
238 › 242	29	31	298 › 302	29	31
246 › 250	31	31	308 › 312	31	31
254 › 258	31	33	318 › 322	31	33
262 › 266	33	33	328 › 332	33	33
270 › 274	33	35	338 › 342	33	35
278 › 282	35	35	348 › 352	35	35
286 › 290	35	37	358 › 362	35	37
294 › 298	37	37	368 › 372	37	37
302 › 306	37	39	378 › 382	37	39
310 › 314	39	39	388 › 392	39	39
318 › 322	39	41	398 › 402	39	41
326 › 330	41	41	408 › 412	41	41
334 › 338	41	43	418 › 422	41	43
342 › 346	43	43	428 › 432	43	43
350 › 354	43	45	438 › 442	43	45

Will der Konstrukteur sich noch besonders überzeugen, daß die Spulenzahl und der Schritt im richtigen Verhältnisse stehen und die Wicklung sich nur einmal schließt, so kann er eine Wicklungstabelle nach dem auf Seite 56 gegebenen Beispiele entwerfen.



Zur weiteren Erläuterung der Reihenschaltung mit Wellenwicklung dienen folgende Beispiele. Der Deutlichkeit wegen wird die Stabzahl verhältnismäßig klein angenommen.

Es sei zunächst

$$p = 2, \quad s = 26,$$

dann wird nach Formel 2)

$$y_1 + y_2 = \frac{26 \pm 2}{2} = \begin{cases} 14 \\ 12 \end{cases}$$

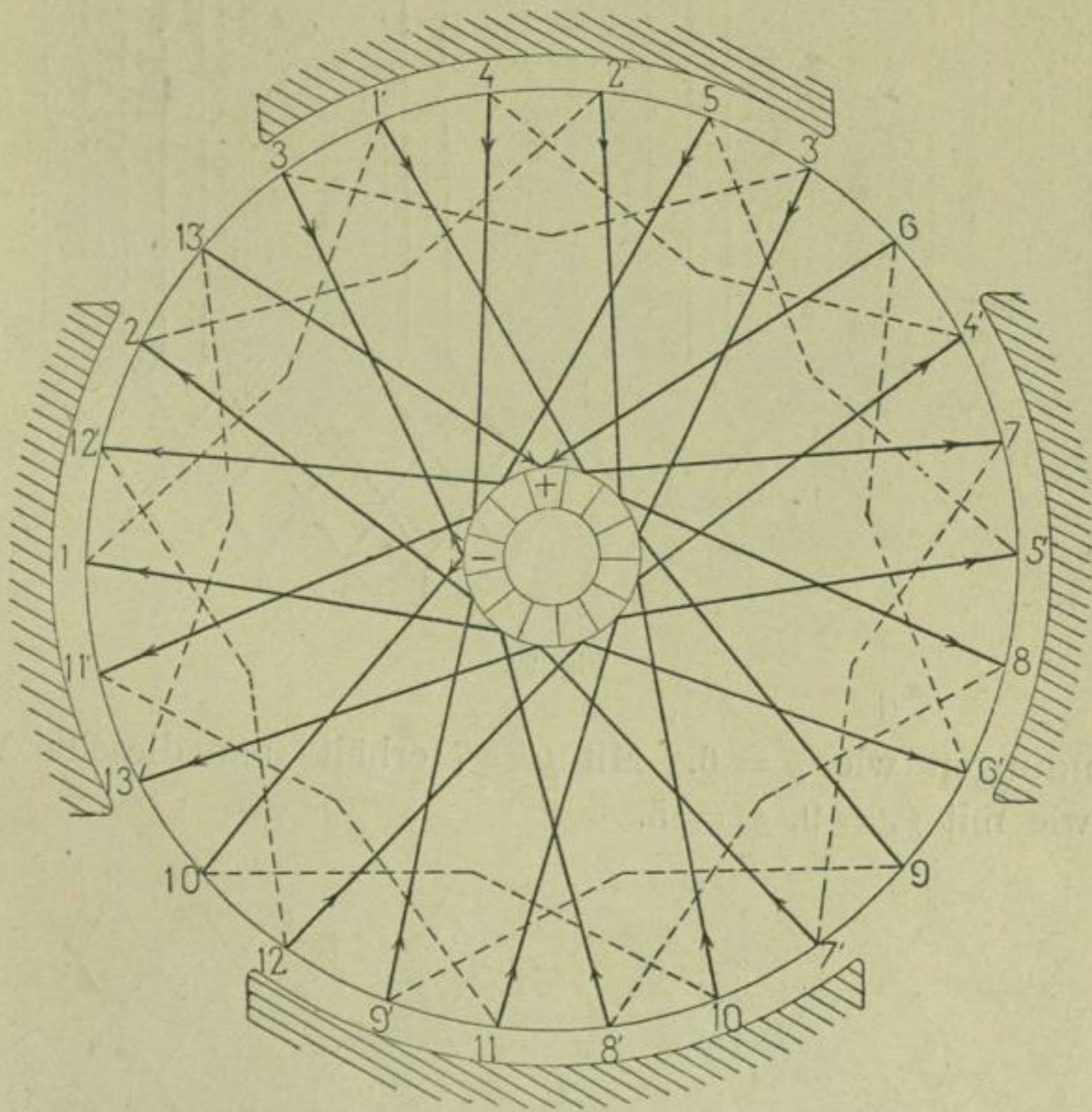


Fig. 97.

woraus  $y_1 = 9 \quad y_2 = 5$   
 oder  $y_1 = 7 \quad y_2 = 7$   
 oder  $y_1 = 7 \quad y_2 = 5$  } die drei Möglichkeiten liefern drei verschiedene Verbindungsarten.

Nach der Formel 1) wird

$$y = \frac{1}{2} \left( \frac{26}{2} \pm 1 \right) = \begin{cases} 7 \\ 6 \end{cases}$$

Wir wollen nach Formel 1) verfahren und numerieren (Fig. 97) die Spulenanfänge mit 1, 2, 3 . . . deren Enden mit

1', 2', 3' ... dann ist, wenn  $y = 6$  gewählt wird, 1' mit 7, 7' mit  $7 + 6 = 13$  u. s. f. zu verbinden. Denken wir uns die Wicklungsfelder fortlaufend numeriert, so ergibt  $y_1 = 7$ ,  $y_2 = 5$  dieselben

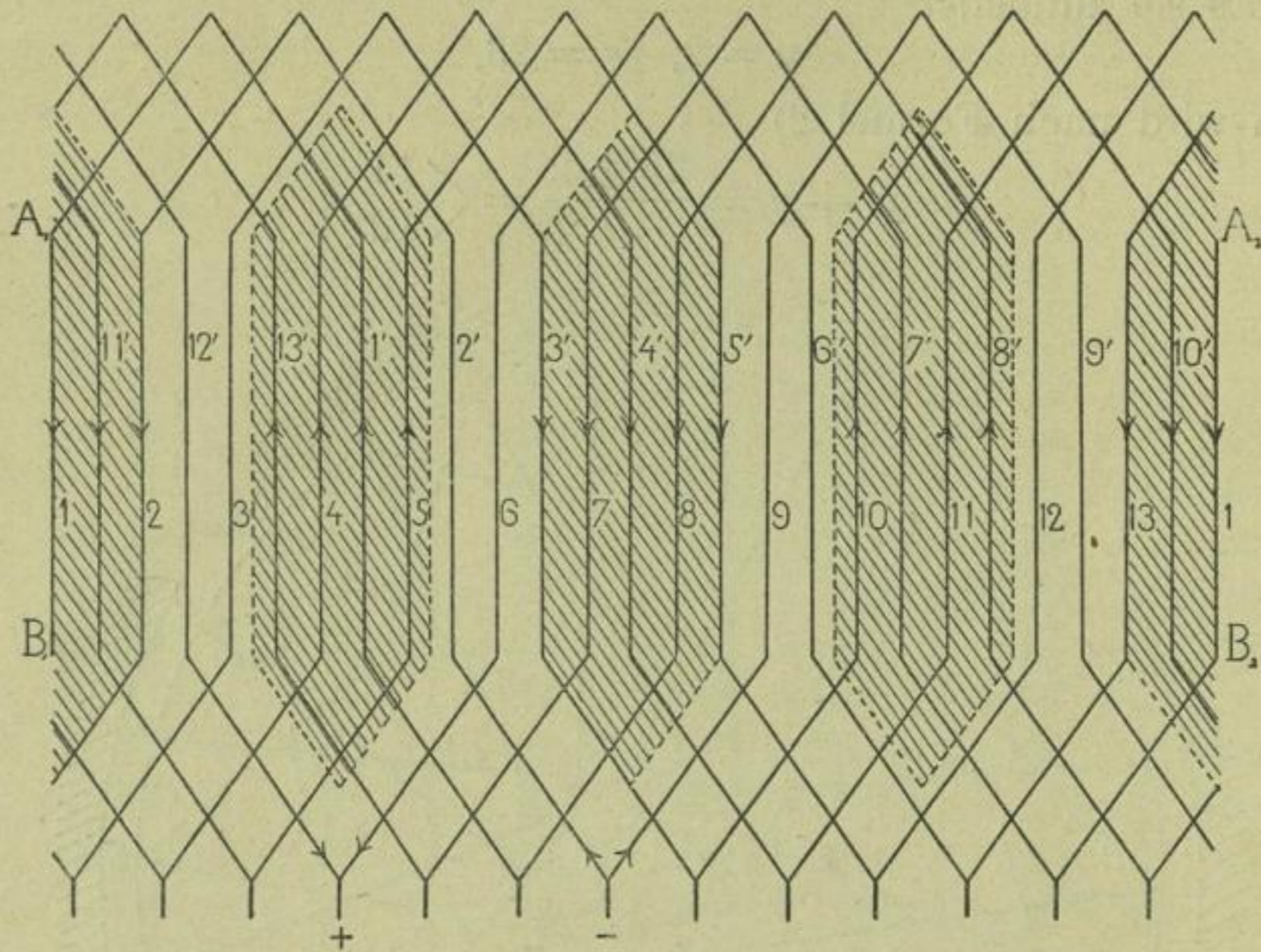


Fig. 98.

Verbindungen wie  $y = 6$ . Mit  $y = 7$  erhält man dieselbe Wicklung wie mit  $y_1 = 9$ ,  $y_2 = 5$ .

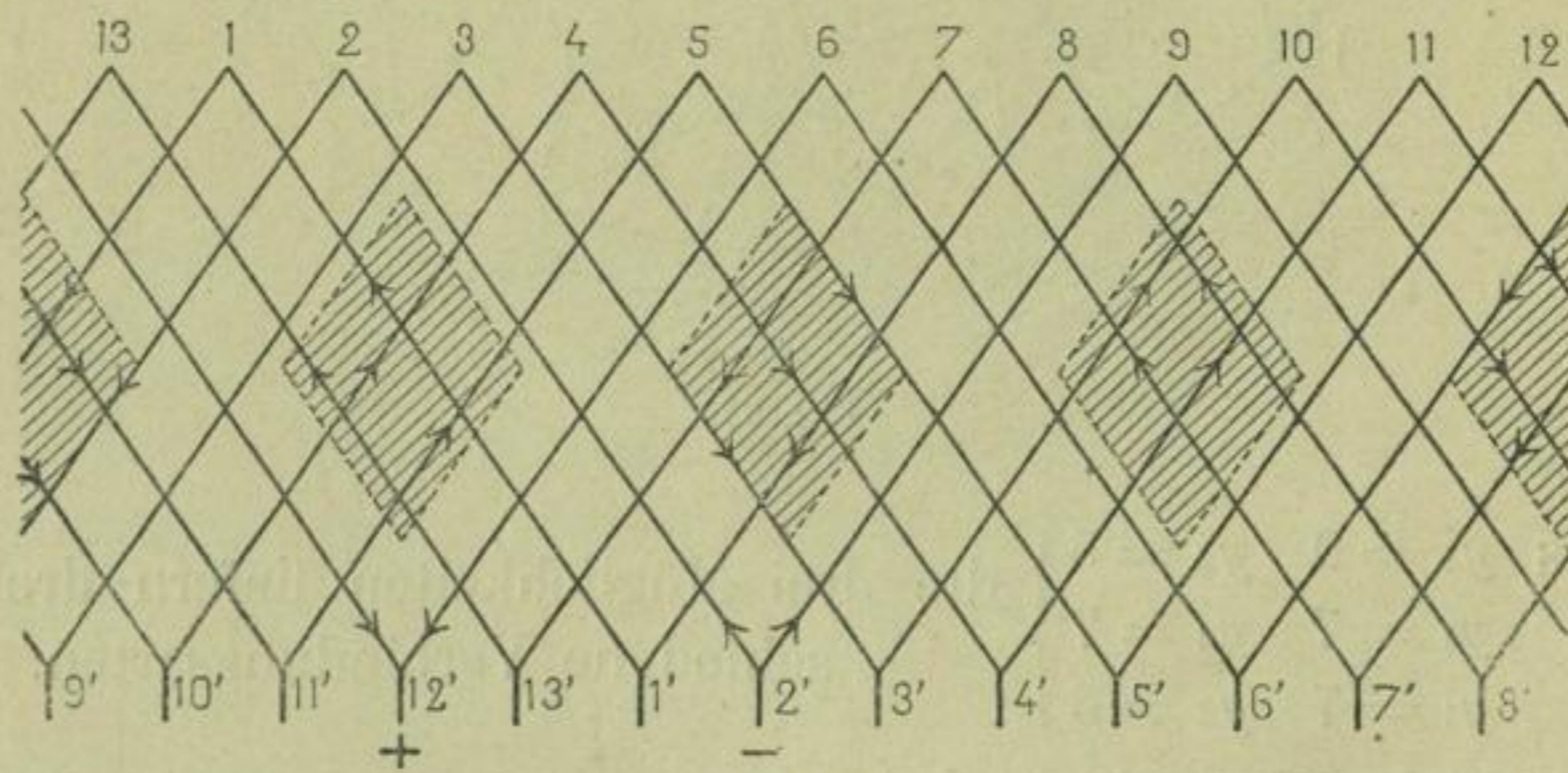


Fig. 99.

Der Schritt  $y_2 = 5$  ist durch die angenommene Lage der Spulen in Fig. 97 gegeben, wird 1' zwischen 4 und 5 verlegt, so ist  $y_2 = 7$ .

Dieselbe Schaltung läßt sich lediglich auf der cylindrischen Fläche der Trommel ausführen, wie das in die Papierebene abgerollte Schema Fig. 98 erkennen läßt. Um in diesem Falle die wirksame Drahtlänge zu vergrößern, würden die Pole zweckmäÙig die durch Schraffur angedeutete länglich sechseckige Form erhalten.

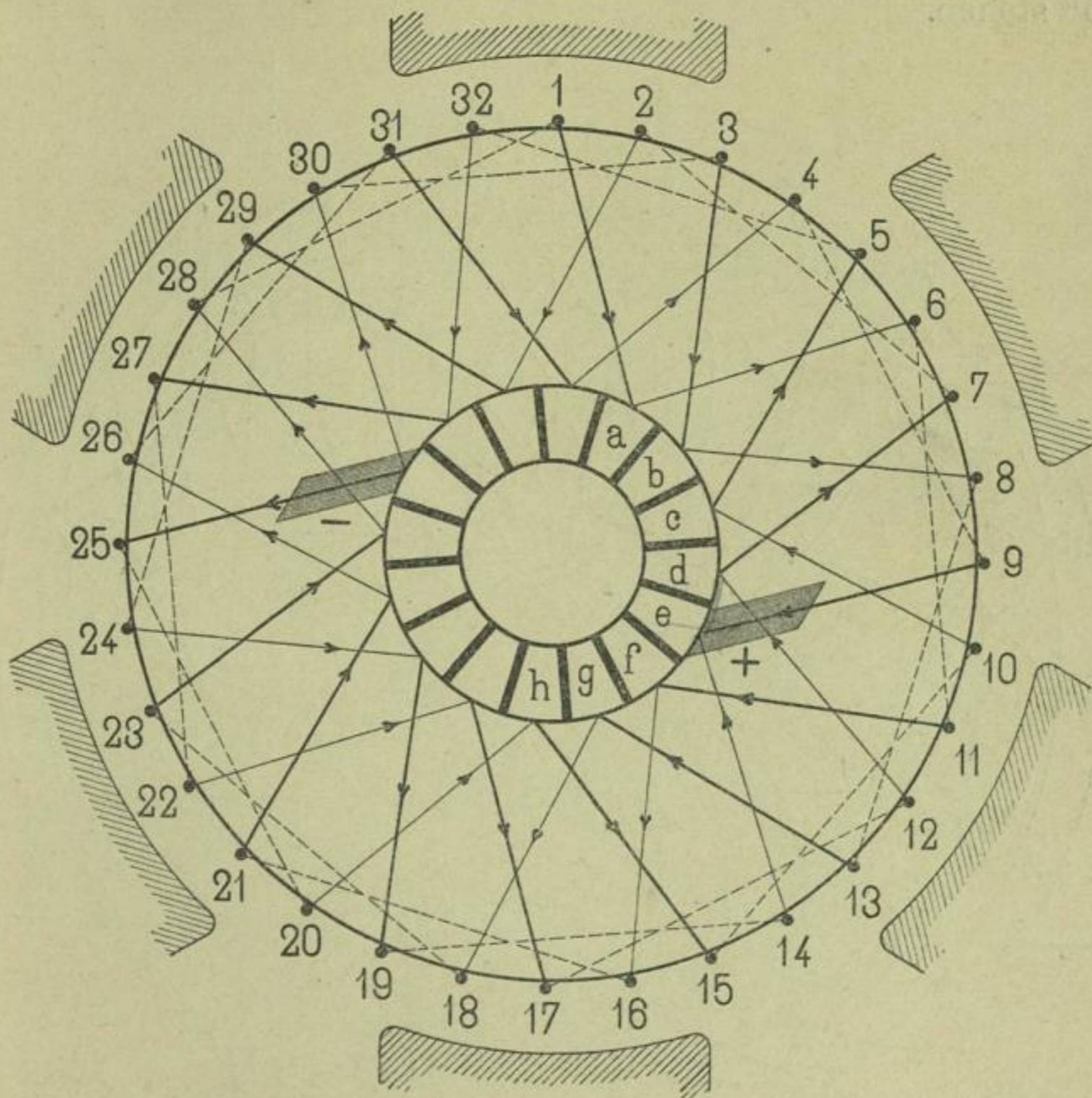


Fig. 100.

W. Fritsche<sup>1)</sup> hat dieser Wicklung eine einfachere Gestalt gegeben, welche erhalten wird, wenn wir uns in Fig. 98 das Rechteck  $A_1 A_2 B_2 B_1$  ausgeschnitten und die übrig bleibenden Teile zusammengesoben denken, es entsteht dann Fig. 99. (Siehe auch Fig. 302 u. 302a.)

Die einzelnen Stäbe oder Drähte laufen nun ohne Kröpfung von einem Ende bis zum andern durch und erhalten bei vielpoligen Maschinen auf der Trommel nur eine schwache Krümmung.

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 45 808 vom 19. Juni 1887.

Wie wir schon bei den Ringankerwicklungen gesehen, kann bei ungerader Zahl der Polpaare, die Kollektorlamellenzahl

$$k = \frac{s}{2}$$

gerade sein, und die Bürsten können unter einem Winkel von  $180^\circ$  stehen.

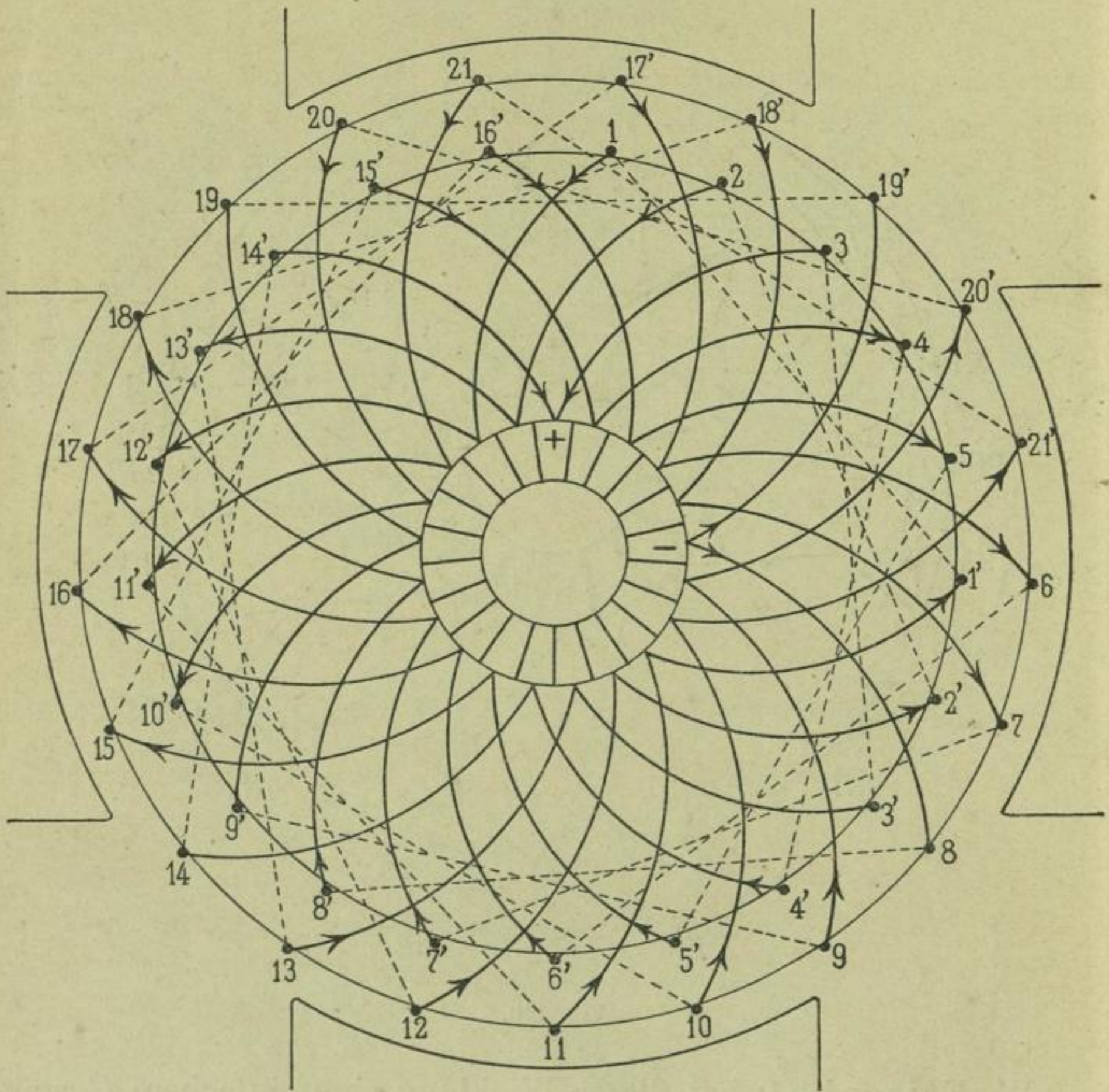


Fig. 101.

In Fig. 100 ist für

$$p = 3, \quad s = 32, \quad k = 16,$$

ein solches Schema gezeichnet.

Es ist

$$y_1 + y_2 = \frac{32 - 2}{3} = 10$$

$$y_1 = 5, \quad y_2 = 5,$$

Die Reihenschaltung mit Wellenwicklung und übereinander liegenden Spulen. Besonders wertvoll erweist sich die Anwendung der Schaltungsregel bei übereinanderliegenden Wicklungsfeldern. Es sei z. B.

$$p = 2, \quad s = 42, \quad k = 21,$$

$$y = \frac{1}{p} \left( \frac{s}{2} \pm 1 \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{42}{2} - 1 \right) = 10,$$

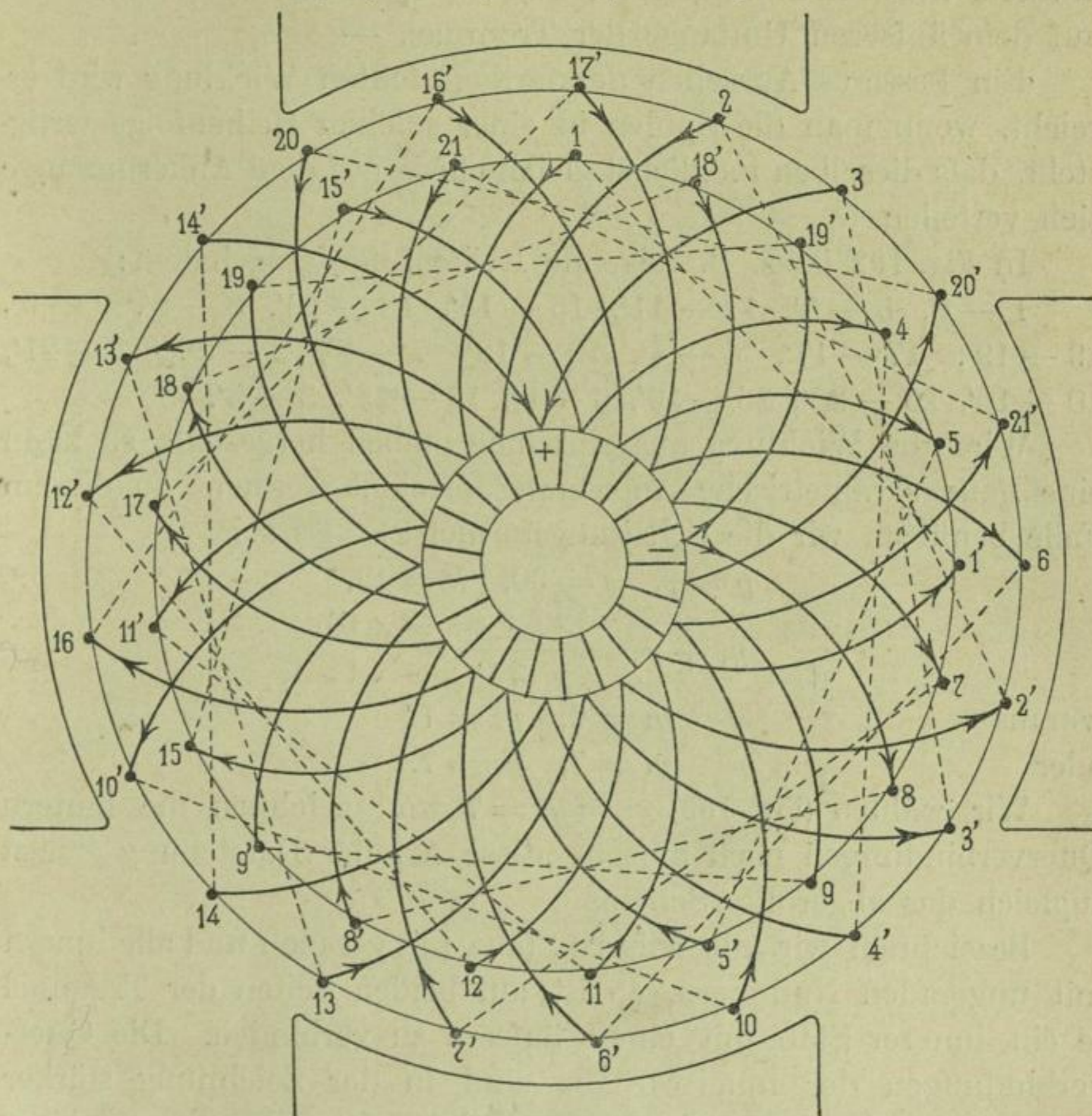


Fig. 102.

und es sollen die Drähte von zwei Spulen, die aus mehreren Windungen bestehen, am Ankerumfang übereinandergewickelt sein. Wir haben 21 Spulen, deren Anfänge mit 1, 2, 3 . . . deren Enden mit 1', 2', 3' . . . bezeichnet sind.

In Fig. 101 sind die Spulen in ihrer natürlichen Reihenfolge 1—1', 2—2', 3—3', 4—4' u. s. f. fertiggestellt und nach Angabe

der Schaltungsregel miteinander verbunden, also 1' mit  $1 + 10 = 11$ , 2' mit 12 u. s. f.

Die Lage der Spulen und deren Verbindungen sind unsymmetrisch und würde es daher ohne Schaltungsregel nicht so leicht sein, die Spulen in richtiger Weise zu verbinden. Die Spulen 1—1' bis 5—5' liegen auf dem inneren, die Spulen 6—6' bis 16—16' auf dem inneren und äußeren, und die Spulen 17—17' bis 21—21' auf dem äußeren Umfange der Trommel. —

Ein besseres Aussehen der fertiggestellten Wicklung wird erreicht, wenn man die Spulen in einer solchen Reihenfolge fertigstellt, daß dieselben möglichst gleichmäÙig auf dem Ankerumfang sich verteilen.

In Fig. 102 ist z. B. folgende Reihenfolge eingehalten:

1 — 1', 5 — 5', 11 — 11', 15 — 15', 18 — 18', 8 — 8', 9 — 9',  
19 — 19', 17 — 17', 4 — 4', 12 — 12', 7 — 7', 2 — 2', 21 — 21',  
10 — 10', 20 — 20', 16 — 16', 6 — 6', 13 — 13', 3 — 3'.

Wird die Wicklung aus einzelnen Stäben hergestellt, so kann eine ganz symmetrische Anordnung erreicht werden. In diesem Falle benützen wir die Schaltungsformel 2). Es sei

$$p = 2, \quad s = 30, \quad k = 19,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{30 \pm 2}{2} = \begin{cases} 16 \\ 14 \end{cases}$$

woraus

$$y_1 = 9, \quad y_2 = 7$$

oder

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 7.$$

Wir wählen (Fig. 103)  $y_1 = y_2 = 7$  und zeichnen die hintern Querverbindungen nach außen, diese Art der Darstellung ersetzt zugleich das abgerollte Schema.

Bezeichnen wir alle äußern Stäbe mit geraden und alle innern mit ungeraden Nummern, so ist auf beiden Seiten der Trommel je ein innerer Stab mit einem äußern zu verbinden. Die Querverbindungen der innern Stäbe sind in der Zeichnung stärker ausgezogen, sie liegen an beiden Stirnflächen der Trommel an, über denselben ordnen sich die schwach ausgezogenen Querverbindungen der äußern Stäbe. Wird die Wicklung samt den Querverbindungen auf der Mantelfläche des Cylinders ausgeführt, so liegen die schwach ausgezogenen Stäbe auf dem innern, die stark ausgezogenen Stäbe auf dem äußern Cylindermantel.

Fassen wir die zwei übereinanderliegenden Wicklungsfelder (Nuten bei Nutenankern) als eins auf, so beträgt der Schritt

$$y'_1 = \frac{y_1 - 1}{2} = 3$$

$$y'_2 = \frac{y_2 + 1}{2} = 4$$

Wicklungsfelder.

Bei der Herstellung einer solchen Wicklung darf nicht übersehen werden, daß zwischen zwei übereinanderliegenden Stäben

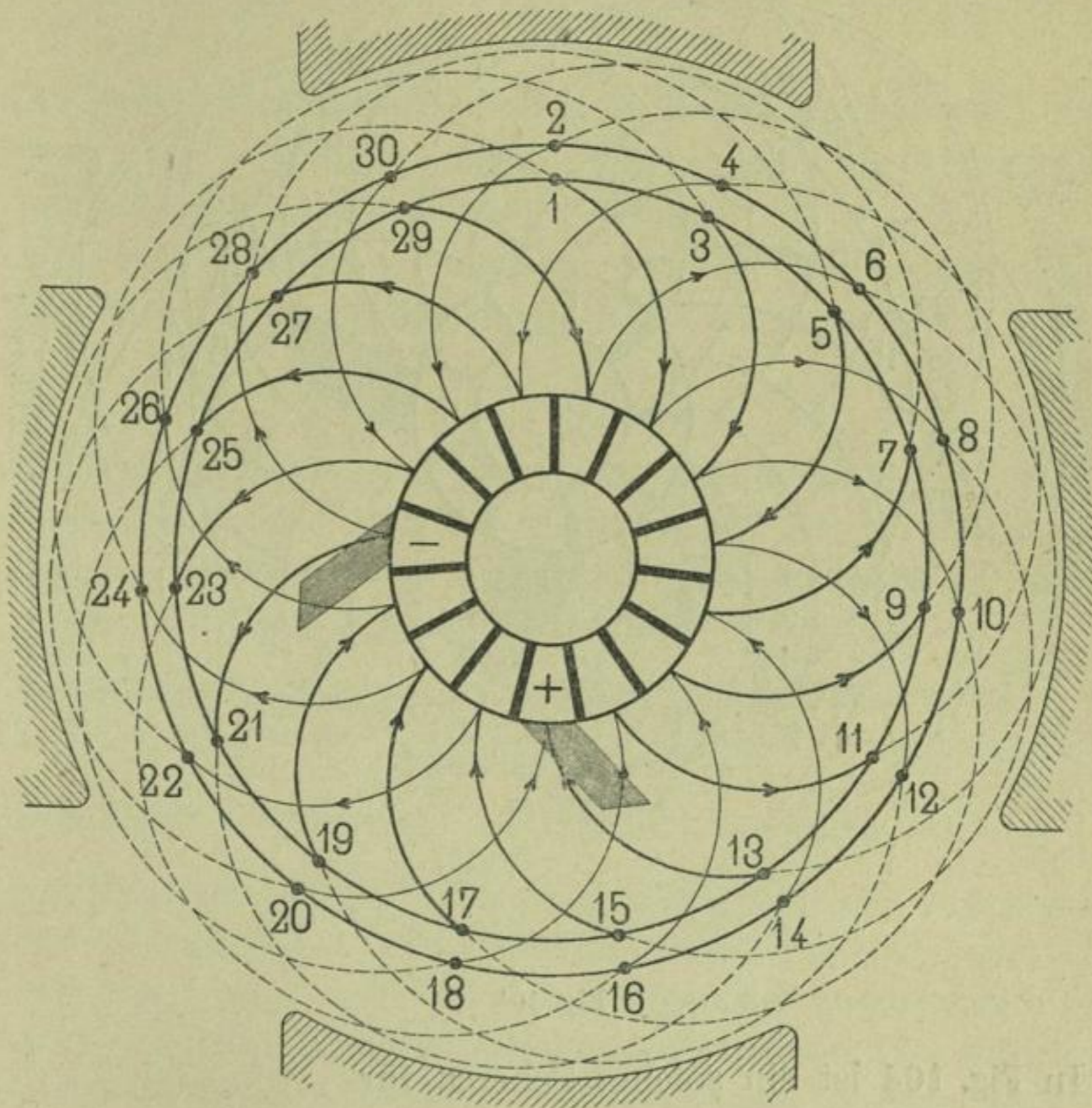


Fig. 103.

eine Spannungsdifferenz auftritt, welche nahezu gleich der Spannung zwischen den Bürsten ist.

**Reihenschaltung mit Schleifen-Wellenwicklung.** Ist  $s$  eine Stabzahl, für welche bei gegebener Polzahl eine Reihenschaltung mit Wellenwicklung möglich ist, so ist die Schaltung auch für eine Stabzahl ausführbar, welche ein beliebiges Vielfache von  $s$  etwa  $= m \cdot s$  ist. Wir haben in dem Falle, nachdem der Schritt  $y_1$  ausgeführt ist, erst  $m-1$  Schleifen und dann den Schritt  $y_2$  zu

machen. — Die Spannungsdifferenz zwischen den Stäben einer Schleife wird nun klein und dieselben können bei schwacher gegenseitiger Isolation z. B. über oder direkt nebeneinander angeordnet werden.

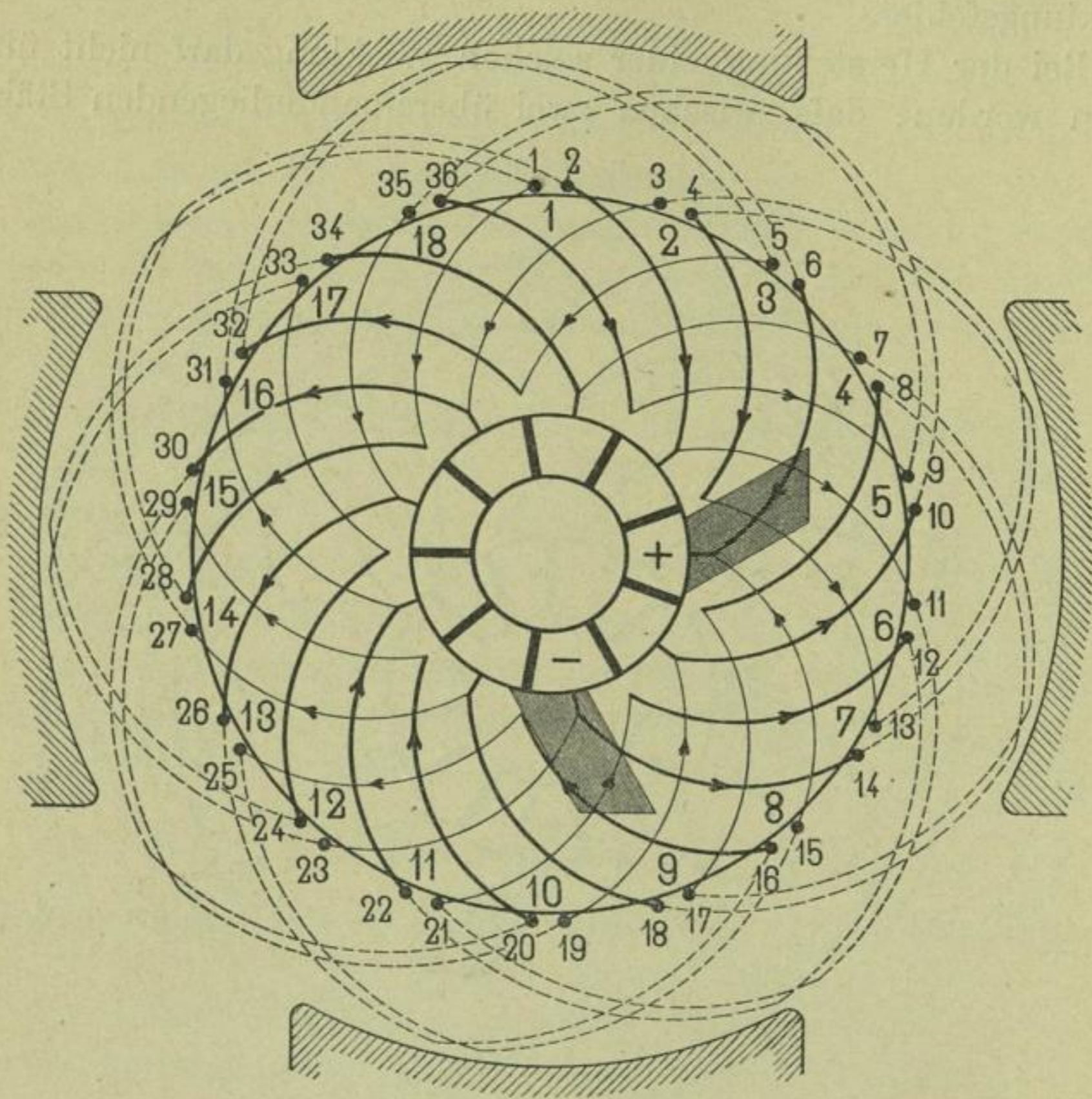


Fig. 104.

In Fig. 104 ist ein solches Schema für

$$s = 18, \quad m \cdot s = 36, \quad p = 2, \quad m = 2,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{18 + 2}{2} = 10$$

$$y_1 = 5, \quad y_2 = 5$$

aufgezeichnet. Wir verbinden 1 mit  $1 + 5 = 6$ , 6 mit  $6 + 5 = 11$ , machen eine Schleife und verbinden dann 11 mit  $11 + 5 = 16$  u. s. f.

Werden die Stäbe am Umfange von 1 bis 36, wie durch die kleinen Zahlen angegeben ist, numeriert, so ergibt die Schaltungsformel



$$y_1 + y_2 = \frac{36 \pm 2}{2} = \begin{cases} 19 \\ 17 \end{cases}$$

woraus  $y_1 = 9, y_2 = 10$

oder  $y_1 = 8, y_2 = 9.$

Das Wicklungsschema stimmt mit  $y_1 = 9, y_2 = 10$  überein, wenn von 2 ausgehend mit  $y_1 = 9$  begonnen wird; 2 ist mit  $2 + 9 = 11$ , 11 mit  $11 + 10 = 21$ , 21 mit  $21 - 9 = 12$ , 12 mit  $12 + 10 = 22$  u. s. f. verbunden.

Die Querverbindungen lassen sich wie früher in zwei Ebenen anordnen. Die Lötstellen müssen aber so gewählt werden, daß ein Zusammenstellen der Wicklung möglich ist.

Die Schleifen werden nicht an den Kollektor angeschlossen, die Zahl der Kollektorlamellen bleibt daher wie früher

$$k = \frac{s}{2}.$$

Die Reihenschaltungen, welche aus Drahtspulen mit mehreren Windungen bestehen, könnten ebenfalls zu den Schleifenwellenwicklungen gezählt werden. Ich wollte hier nur zeigen, wie sich eine solche Wicklung mittels Stäben ausführen läßt.

**Die Reihenschaltung mit vermehrter Kollektorlamellenzahl.** Für die bis jetzt besprochenen Reihenschaltungen für Trommelanker ist die Kollektorlamellenzahl stets gleich der Spulenzahl  $\frac{s}{2}$ .

Aus den schon bei den Ringwicklungen (Seite 57) angegebenen Gründen kann es unter Umständen zweckmäÙig sein, die Wicklung mit einer möglichst geringen Spulenzahl auszuführen. Um nun doch diejenige Kollektorlamellenzahl, welche erforderlich ist, damit die Spannungsdifferenz zwischen benachbarten Lamellen und die Zahl der Ankerwindungen, welche gleichzeitig durch die Bürsten kurz geschlossen werden, die gewünschten Grenzen nicht überschreiten, muß die Zahl der Kollektorlamellen größer als  $\frac{s}{2}$  werden.

Die Zahl derselben kann für beliebige Polzahlen auf das 2, 3, 4 u. s. f. fache von  $\frac{s}{2}$  gebracht werden, wir haben in diesem Falle nur die symmetrisch zu den gleichnamigen Polen liegenden Lamellen leitend mit einander zu verbinden.

In Fig. 105 ist eine 6polige Wicklung mit  $2 \times \frac{s}{2}$  Kollektorlamellen dargestellt. Es ist

$$s = 32, \quad y_1 + y_2 = \frac{32 - 2}{3} = 10$$

$$y_1 = y_2 = 5$$

$$k = 2 \cdot 16 = 32.$$

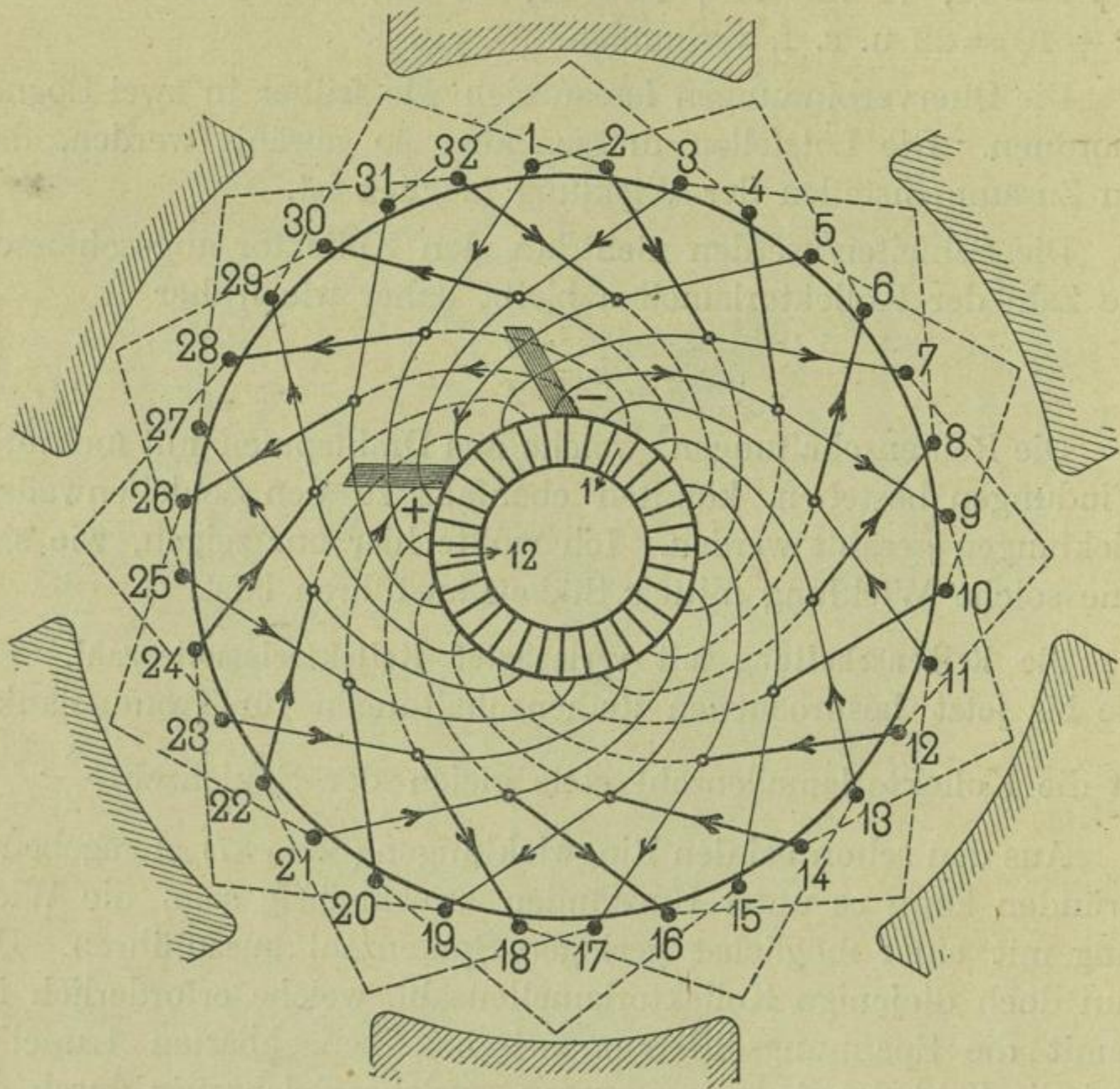


Fig. 105.

Irgend eine Lamelle  $x$  ist mit der  $\left(x + \frac{32 + 1}{3}\right)$ ten Lamelle leitend verbunden, also 1 mit  $1 + 11 = 12$  u. s. f.

Wie aus der Figur ersichtlich, können sämtliche Verbindungen der Ankerstäbe mit den Lamellen in zwei übereinander liegenden Ebenen angeordnet werden, an den mit kleinen Kreisen bezeichneten Kreuzungsstellen sind diese Querverbindungen leitend zu verbinden.

Die Zahl der Ankerstäbe, welche von den Bürsten gleichzeitig kurzgeschlossen werden, ist

$$= \frac{s \cdot 2p}{k} = \frac{s \cdot 2p}{2 \cdot \frac{s}{2}} = 2p = 6.$$

In der gezeichneten Stellung schließt die negative Bürste die Stäbe 31 und 4 und die positive Bürste die Stäbe 5, 10, 15 und 20 kurz.

Im nächsten Momente werden durch die negative Bürste 4 Stäbe und durch die positive nur 2 Stäbe kurzgeschlossen.

Diese Unsymmetrie fällt fort, wenn die Zahl ( $k$ ) der Kollektor-segmente derart gewählt wird, daß

$$k = \frac{p}{m} \cdot \frac{s}{2},$$

$m$  ist hierin eine ganze, durch  $p$  teilbare Zahl und  $\leq p$ . — Es wird z. B.

$$\text{für } p = 2 \quad k = \frac{s}{2} \text{ oder } 2 \cdot \frac{s}{2}$$

$$\text{„ } p = 3 \quad k = \frac{s}{2} \quad \text{„} \quad 3 \cdot \frac{s}{2}$$

$$\text{„ } p = 4 \quad k = \frac{s}{2}; 2 \cdot \frac{s}{2} \text{ oder } 4 \cdot \frac{s}{2}$$

$$\text{„ } p = 6 \quad k = \frac{s}{2}; 3 \cdot \frac{s}{2} \quad \text{„} \quad 6 \cdot \frac{s}{2}$$

Wollen wir erreichen, daß ebenso wie bei zweipoligen Maschinen, nur 2 Stäbe (oder eine Spule) von jeder Bürste gleichzeitig kurzgeschlossen werden, so müssen wir die Zahl der Kollektorsegmente  $= p \cdot \frac{s}{2}$  machen und diejenigen, welche um einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad auseinander liegen, leitend miteinander verbinden. Beide Bürsten schließen dann gleichzeitig

$$= \frac{s \cdot 2p}{p \cdot \frac{s}{2}} = 4 \text{ Stäbe}$$

kurz.

Ein solches Schema für dieselben Annahmen wie in Fig. 105 ist in Fig. 106 entworfen.

Die Verbindungen der einzelnen Kollektorsegmente untereinander sind innerhalb des Kollektors eingezeichnet; dieselben

erinnern an die Mordeyschaltung. In der angenommenen Lage sind die Ankerstäbe 31, 4 durch die negative Bürste und 5, 10, 15, 20 durch die positive Bürste kurzgeschlossen. Von der negativen Bürste ausgehend, haben wir den Stromlauf

$$- \left\langle \begin{array}{l} 31, 4, 14, 19, 24, 29, 2, 7, 12, 17, 22, 27, 32 \\ 26, 21, 16, 11, 6, 1, 28, 23, 18, 13, 8, 30, 25 \end{array} \right\rangle +$$

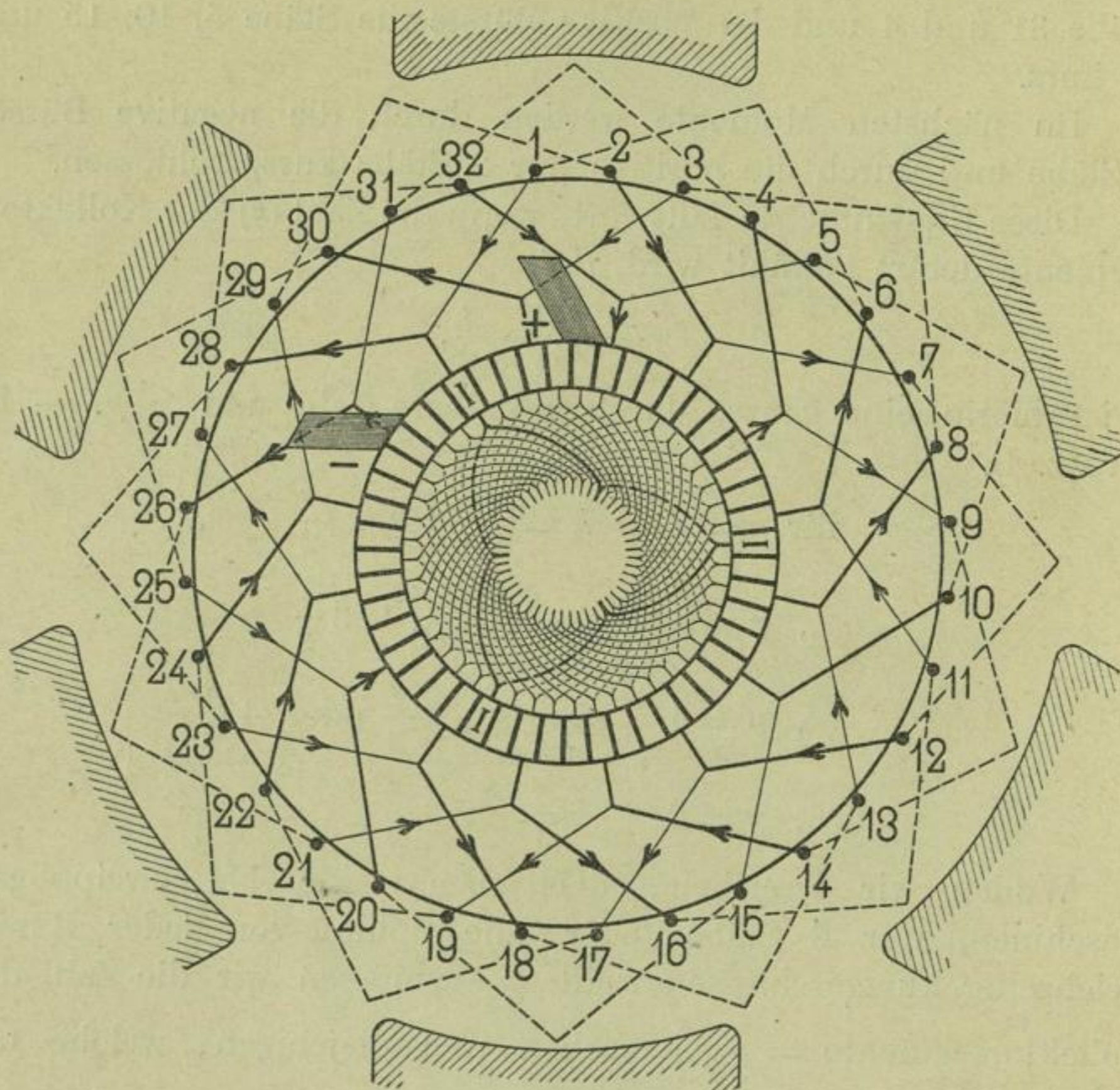


Fig. 106.

Reihenschaltung für Trommelanker, deren Stabzahl ein Vielfaches der Polzahl. In Fig. 42 ist für Ringanker eine Wicklung angegeben worden, bei welcher zwischen je zwei benachbarten Kollektorsegmenten  $2p$  Spulen liegen, die symmetrisch zu den Magnetpolen am Umfange des Ankers verteilt sind. Diese Wicklungsart läßt sich auf Trommelanker übertragen,<sup>1)</sup> dabei ist es zugleich zweckmäÙsig, die Zahl der Kollektorsegmente um das  $p$ fache zu vergrößern.

<sup>1)</sup> Vergleiche damit die Wicklung von Frick Fig. 125.

In Fig. 107 ist für

$$p = 3, \quad s = 30, \quad k = 15$$

eine solche Wicklung dargestellt. Die unter sich leitend verbundenen Lamellen des Kollektors sind mit gleichen Nummern bezeichnet. Zwischen den Lamellen 1 und 5 liegen die Ankerstäbe 4, 9, 14, 19, 24, 29; im ganzen sind 5 oder allgemein  $\frac{s}{2p}$

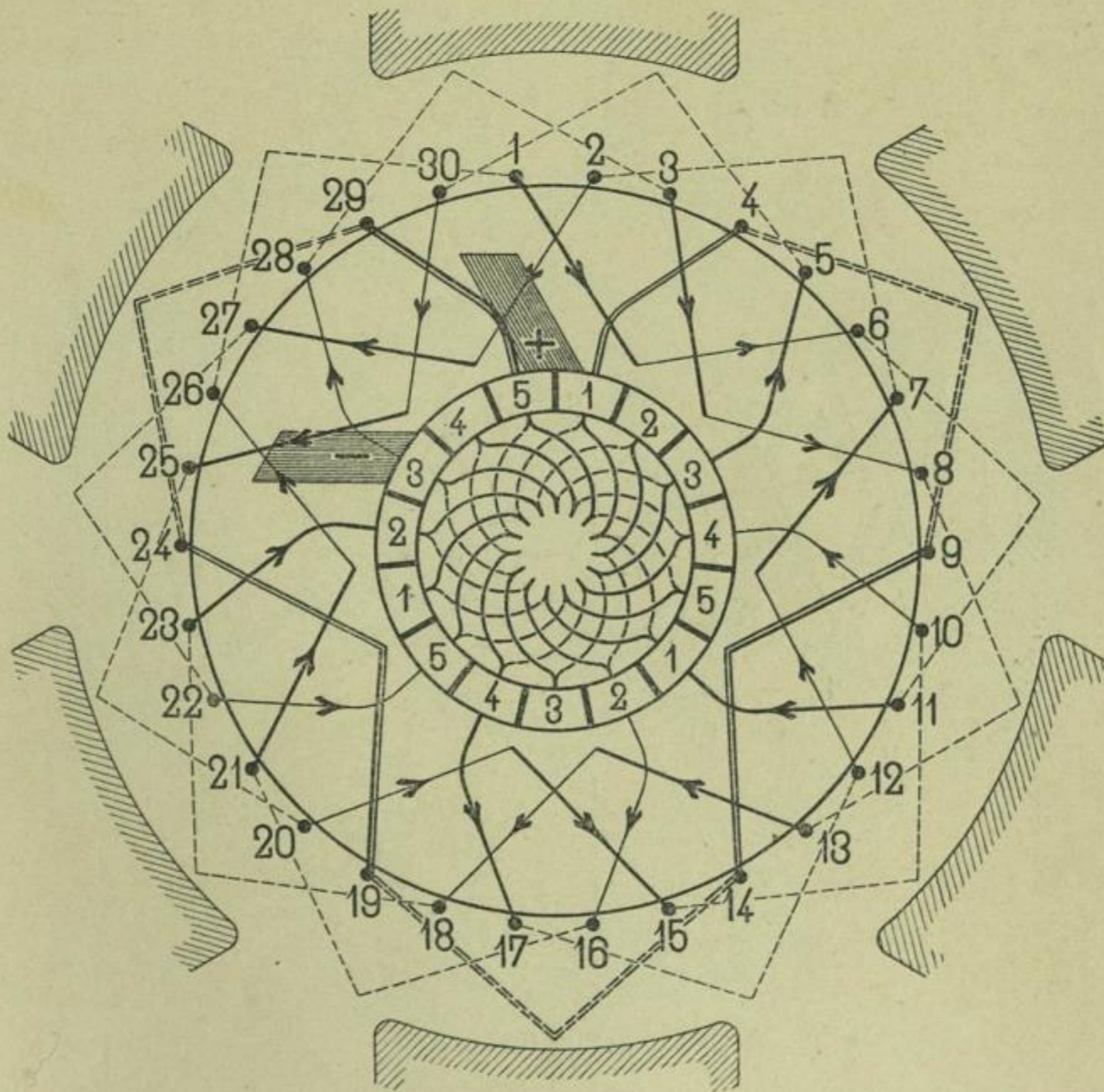


Fig. 107.

solcher Gruppen vorhanden. Die Zahl der Kollektorlamellen ist

$$k = \frac{s}{2p} \cdot p = \frac{s}{2}$$

In der angenommenen Lage des Ankers erhalten wir den Stromlauf

$$- \left\langle \begin{array}{l} 28, 3, 8, 13, 18, 23, 16, 21, 26, 1, 6, 11 \\ 5, 30, 25, 20, 15, 10, 17, 12, 7, 2, 27, 22 \end{array} \right\rangle +$$

die zwischen den Lamellen 1 und 5 liegenden Stäbe sind kurzgeschlossen.

Eine symmetrische Anordnung der Querverbindungen der Ankerstäbe ergibt diese Wicklung nur dann, wenn  $\frac{s}{2p}$  ungerade ist.

**Reihenschaltung für Trommelanker mit Doppelspulen.** Schliesslich sei noch eine Trommelwicklung von Alioth u. Co. (jetzt

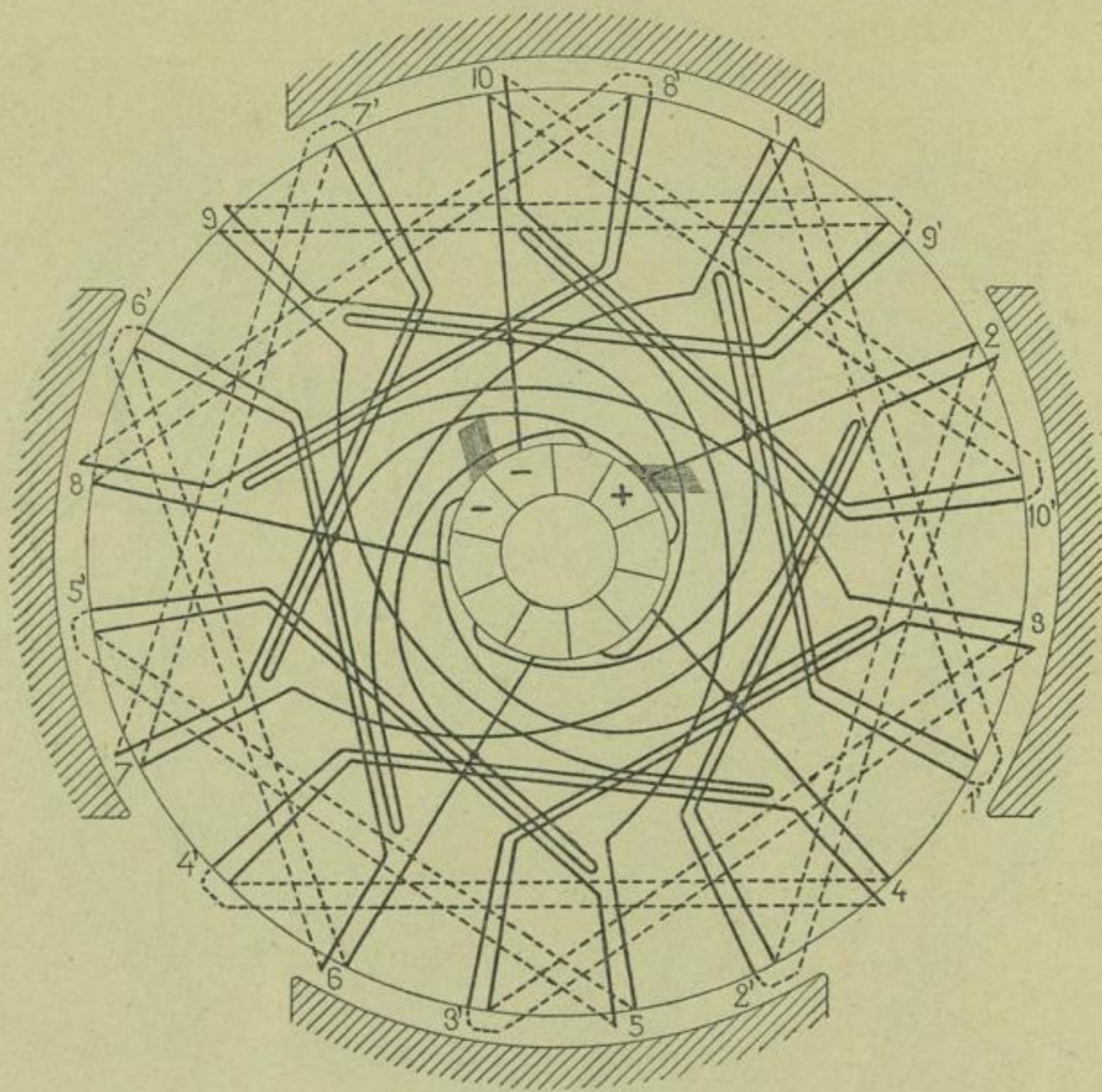


Fig. 108.

Elektrizitätsgesellschaft Alioth) in Basel erwähnt, welche zeigt, dass, wenn  $p$  gerade, auch mit einer geraden Spulenzahl die Reihenschaltung möglich ist. Diese in den nachfolgenden Figuren 108 bis 109 dargestellte Wicklung steht mit dem Schema Fig. 59 in Übereinstimmung. Die Spulen sind paarweise zusammengefasst. Die Zahl dieser Doppelspulen muss der Spulenzahl  $\frac{s}{2}$  der Schaltungsformel entsprechen. Diese Wicklung macht daher keine Ausnahme von der allgemeinen Regel.

Am deutlichsten ist die Aliothsche Schaltung aus Fig. 109 ersichtlich. Die voll ausgezogenen Linien bedeuten die Verbindungen auf der vordern Stirnfläche des Ankers und die Verbindungen der Kollektorsegmente.

Es sind z. B. die Spulen 1'—1, 6'—6 zu einer Doppelspule vereinigt, und von 6' gelangt man durch die Verbindung von zwei gegenüberliegenden Kollektorlamellen zu 5' u. s. f.

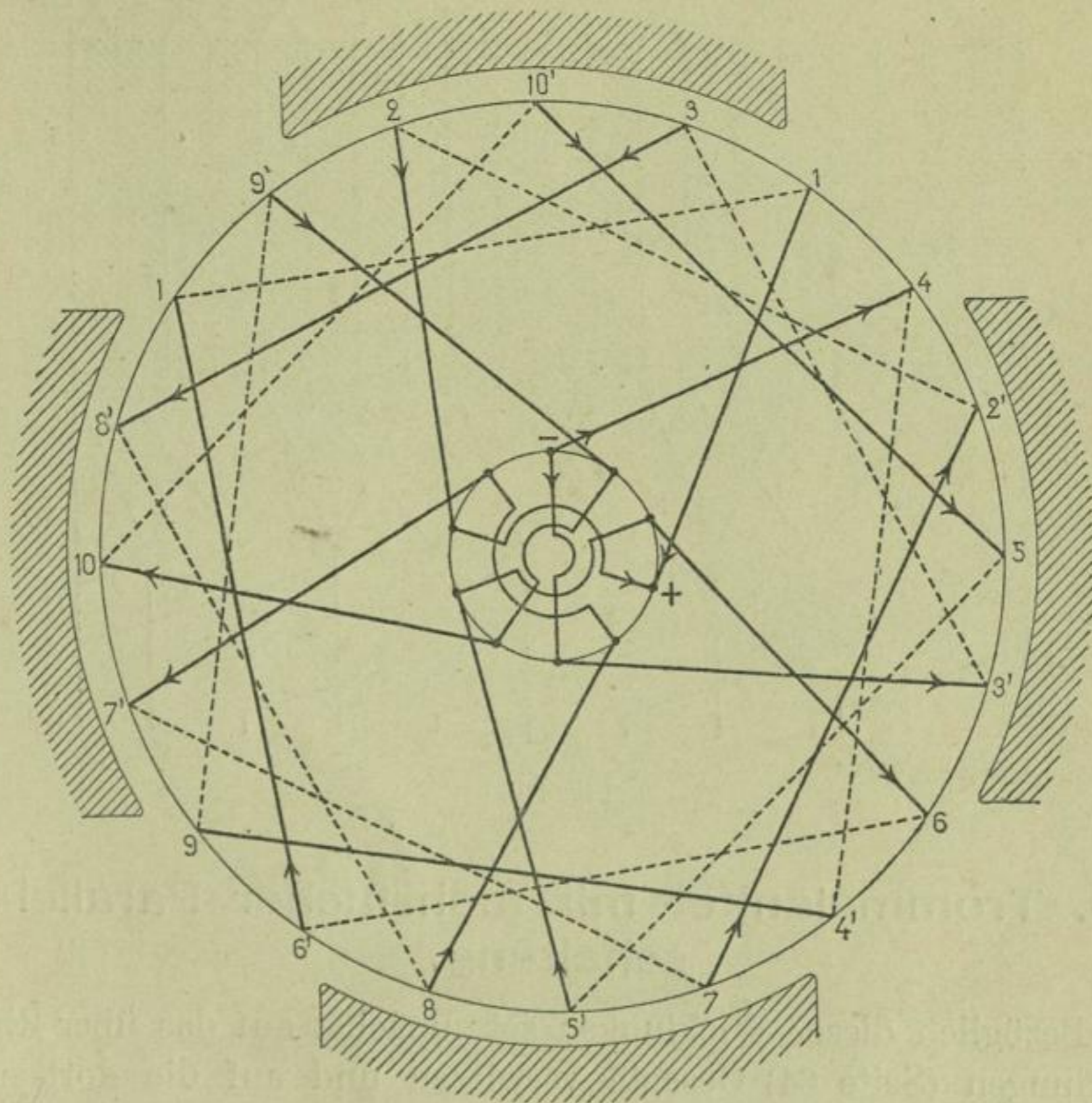


Fig. 109.

Das abgewickelte Schema Fig. 110 ist insofern interessant, als wir es hier mit einem Gemisch von Schleifen und Wellenwicklung zu thun haben.

Jedes Wicklungselement enthält 4 induzierte Stäbe ( $c = 4$ ); in Fig. 110 ist ein solches durch starke Linien hervorgehoben. Im Ganzen sind fünf Elemente vorhanden, die Zahlen Ia, IIa, IIIa, IVa, Va sollen die Anfänge und Ie, Iie, IIIe, IVe, Ve die Enden derselben bezeichnen. Die Schaltungsregel ergibt

$$y = \frac{2}{4} \left( \frac{20}{4} + 1 \right) = 3$$

somit ist  $I_e$  mit  $I_e + 3 = IV_a$  und  $IV_e$  mit  $IV_e + 3 = 7 = 5 + 2$  also mit  $II_a$  zu verbinden u. s. f.

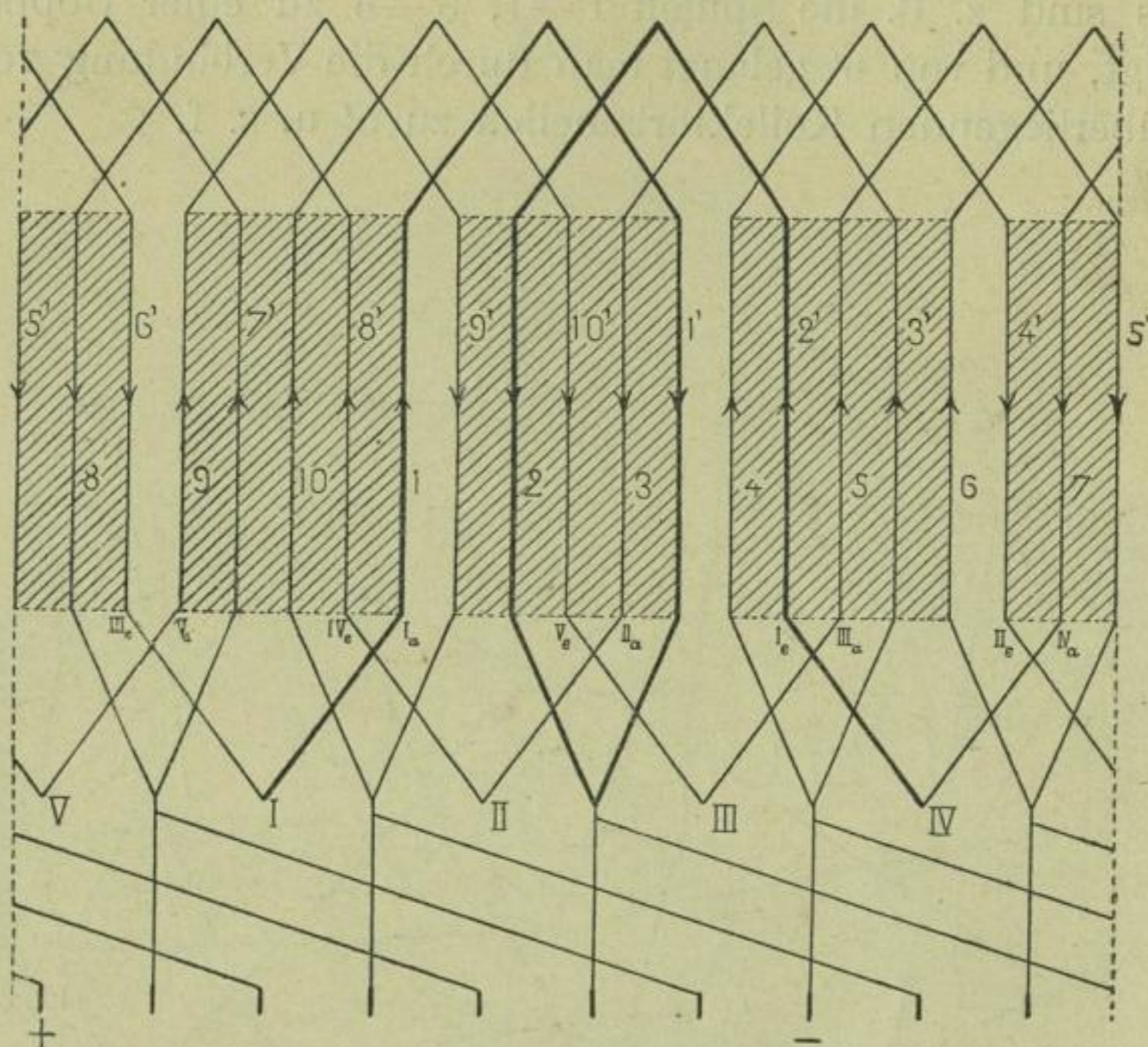


Fig. 110.

#### 4. Trommelanker mit mehrfacher Parallelschaltung.

Bezüglich dieser Wicklungen sei zunächst auf das über Ringwicklungen (Seite 64) Gesagte verwiesen und auf die dort entwickelten Schemata, welche leicht auf Trommelanker übertragen werden können. Wir erhalten hier die Bedingungen

$$y = \frac{s}{2} \pm a \text{ und } a > 1.$$

In Fig. 111 ist zunächst eine sechspolige Wicklung mit

$$s = 48, \quad a = 2, \quad y = \frac{48}{2} - 2 = 22$$

dargestellt. Da  $\frac{s}{2}$ ,  $y$  und  $a$  den gemeinschaftlichen Teiler 2 haben, so erhalten wir eine zweifach geschlossene Wicklung bezw.



zwei einfache Parallelschaltungen; die eine derselben ist durch punktierte Striche hervorgehoben.

Die Spulenanfänge sind entsprechend der Schaltungsregel I mit 1, 2, 3 ... die Enden mit 1', 2', 3' ... bezeichnet. Es ist dann

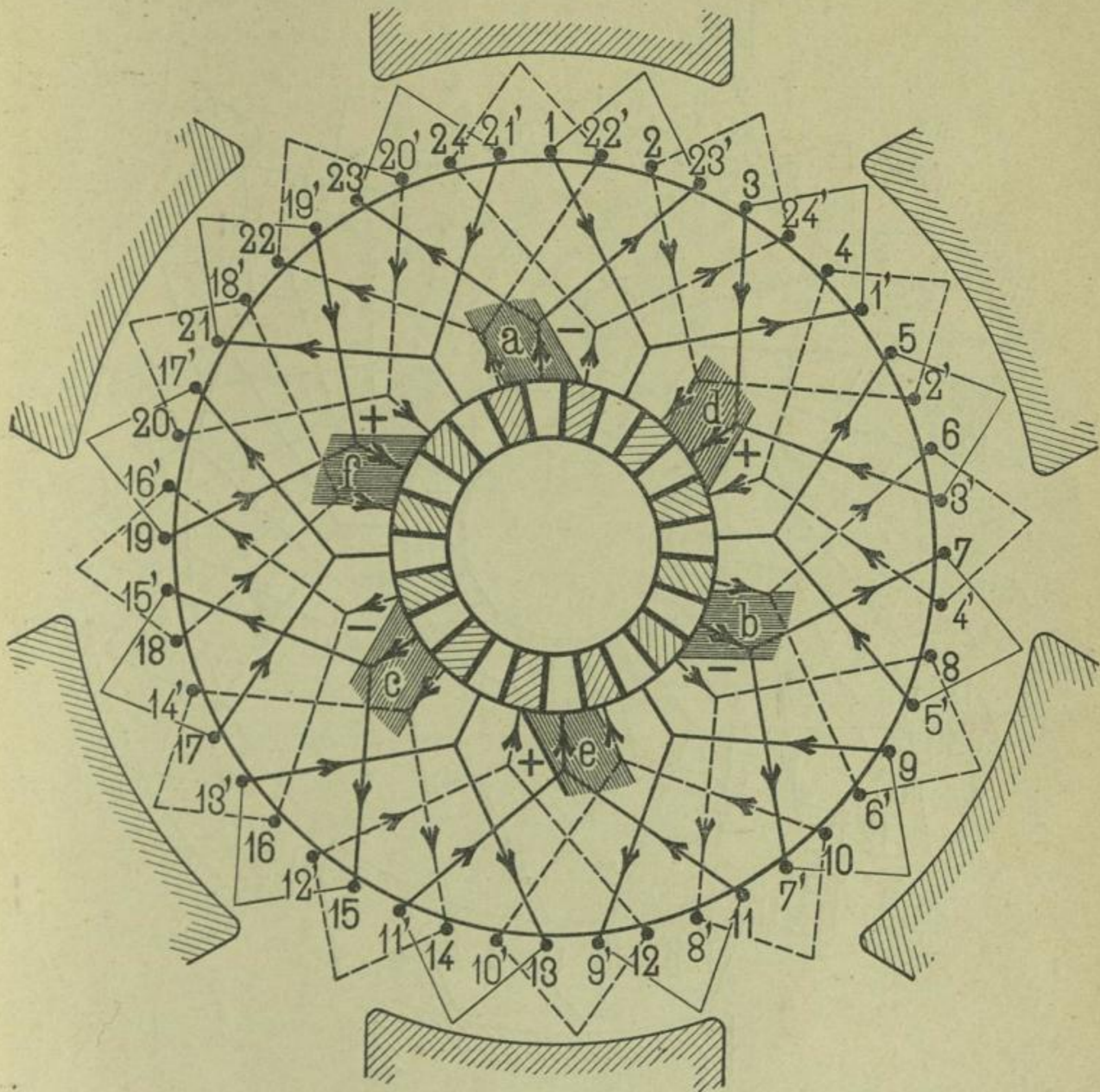


Fig. 111.

1' mit 1 und 1 mit  $1 + 22 = 23'$  zu verbinden u. s. f. In der angenommenen Lage der Bürsten sind die Stäbe 24 — 22', 4 — 2', 8 — 6', 12 — 10', 16 — 14' und 20 — 18', welche sich unter den Polen befinden, kurz geschlossen.

Weil die gewählte Stabzahl klein ist, liegen die kurzgeschlossenen Stäbe nicht in der neutralen Zone zwischen den Polen,

aber die in denselben induzierten E. M. K. heben sich auf. Im Ganzen haben wir 12 Ankerstromzweige, 6 derselben bestehen aus 2, und 6 aus 4 Ankerstäben, dieselben sind im Schema leicht zu verfolgen.

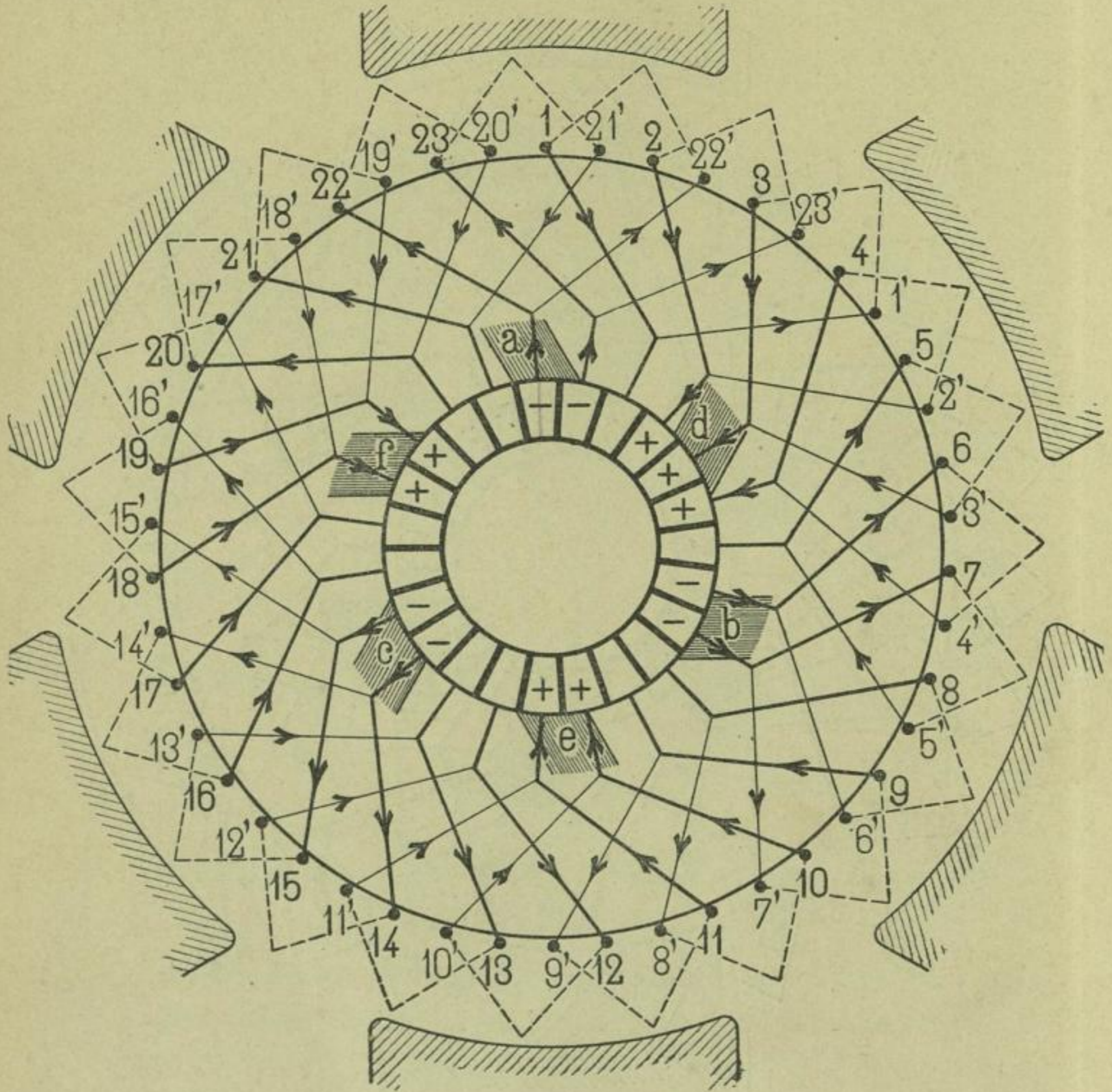


Fig. 112.

Für

$$s = 46, \quad a = 2, \quad y = \frac{46}{2} - 2 = 21$$

entsteht, wie Fig. 112 zeigt, eine einfach geschlossene Wicklung mit ebenfalls  $2ap = 12$  Ankerstromzweigen. Die Zahl der Spulen, welche gleichzeitig kurzgeschlossen werden, ist hier kleiner als in Fig. 111; hier sind die Spulen  $4 - 2'$  und  $8 - 6'$  kurz geschlossen und wir erhalten die Ankerstromzweige

<i>a</i>	22	20'	20	18'	<i>f</i>
<i>a</i>	22'	1	1'	3	<i>d</i>
<i>a</i>	23	21'	21	19'	<i>f</i>
<i>a</i>	23'	2	<i>d</i>		
<i>b</i>	6	4'	<i>d</i>		
<i>b</i>	6'	8	8'	10	<i>e</i>
<i>b</i>	7	5'	5	3'	<i>d</i>
<i>b</i>	7'	9	9'	11	<i>e</i>
<i>c</i>	14	12'	12	10'	<i>e</i>
<i>c</i>	14'	16	16'	18	<i>f</i>
<i>c</i>	15	13'	13	11'	<i>e</i>
<i>c</i>	15'	17	17'	19	<i>f</i>

### 5. Trommelanker mit Reihen-Parallelschaltung.

Größere praktische Bedeutung als die mehrfache Parallelschaltung hat die Reihenparallelschaltung. Wie auf Seite 104 angeführt worden ist, hat der Verfasser diese Wicklungsart für den speziellen Fall  $a = p$  vielfach angewandt. Diese Wicklung eignet sich aber ebensogut für andere Werte von  $a$ .

Bei dem Entwurfe einer Dynamo, deren Anker als Stabwicklung ausgeführt werden soll, kann der Fall eintreten, daß die Stabquerschnitte für gewöhnliche Parallelschaltung mit  $2p$  Ankerstromzweigen zu klein und die Stabzahl zu groß wird; für Serienschaltung mit 2 Ankerstromzweigen ergibt sich dagegen ein zu großer Stabquerschnitt und eine zu kleine Stabzahl bzw. zu kleine Kollektorlamellenzahl. In einem solchen Falle kann die Reihenparallelschaltung des Verfassers mit einer Zahl von Ankerstromzweigen, die größer als 2, aber kleiner als  $2p$  ist, Anwendung finden.

Auch an Stelle der mehrfachen Parallelschaltung kann eine Reihenparallelschaltung mit  $a > p$  gewählt werden.

Die Reihenparallelschaltung gewährt somit den Vorzug, daß die Zahl der Ankerstromzweige unabhängig von der Polzahl als beliebiges Vielfache von 2 gewählt werden kann und daß jeder Stromzweig sämtliche Magnetfelder durchläuft, somit eine Ungleichheit der letzteren ohne Einfluß auf die Stromverteilung bleibt.

Die Zahl der Bürsten kann bei genügender Breite derselben, unabhängig von der Polzahl, stets = 2 sein, es ist jedoch besser, mit der Zahl der Ankerstromzweige auch die Zahl der Bürsten zu vergrößern, dieselbe darf ebenso wie bei Parallelschaltung gleich der Polzahl werden.

Für Trommelwicklungen mit Reihenparallelschaltung haben wir die Bedingungen

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm 2a}{p}$$

$$s = p(y_1 + y_2) \pm 2a$$

und

$$a > 1.$$

Um eine einfach geschlossene Wicklung zu erhalten, ist die Summe  $(y_1 + y_2)$  in zwei ungerade Zahlen zu zerlegen und die Werte  $\frac{y_1 + y_2}{2}$ ,  $\frac{s}{2}$  und  $a$  müssen teilerfremd sein.

1. Beispiel. Als erstes Beispiel diene Fig. 113 mit den Annahmen

$$p = 3, \quad s = 46, \quad a = 2,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{46 - 4}{3} = 14$$

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 7.$$

Wir erhalten eine einfach geschlossene Wicklung mit den  $(2a = 4)$  Ankerstromzweigen:

$$a \quad 23, \quad 16, \quad 9, \quad 2, \quad 41, \quad 34, \quad 27, \quad 20, \quad 13, \quad 6 \quad e$$

$$b \quad 28, \quad 35, \quad 42, \quad 3, \quad 10, \quad 17, \quad 24, \quad 31, \quad 38, \quad 45 \quad e$$

$$b \quad 21, \quad 14, \quad 7, \quad 46, \quad 39, \quad 32, \quad 25, \quad 18, \quad 11, \quad 4 \quad d$$

$$c \quad 26, \quad 33, \quad 40, \quad 1, \quad 8, \quad 15, \quad 22, \quad 29, \quad 36, \quad 43 \quad d$$

und den Kurzschlussstromkreis

$$a \quad 30, \quad 37, \quad 44, \quad 5, \quad 12, \quad 19 \quad c.$$

2. Beispiel. Für die Annahmen

$$p = 3, \quad s = 40, \quad a = 2,$$

wird

$$y_1 + y_2 = \frac{40 - 4}{3} = 12$$

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 5,$$

ferner ist

$$\frac{y_1 + y_2}{2} = 6 = 2 \cdot 3$$

$$\frac{s}{2} = 20 = 2 \cdot 10$$

$$a = 2 = 2 \cdot 1,$$

es entsteht eine zweifach geschlossene Wicklung.

3. Beispiel. Es sei

$$p = 3, \quad s = 48, \quad a = 3,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{48 - 6}{3} = 14$$

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 7.$$

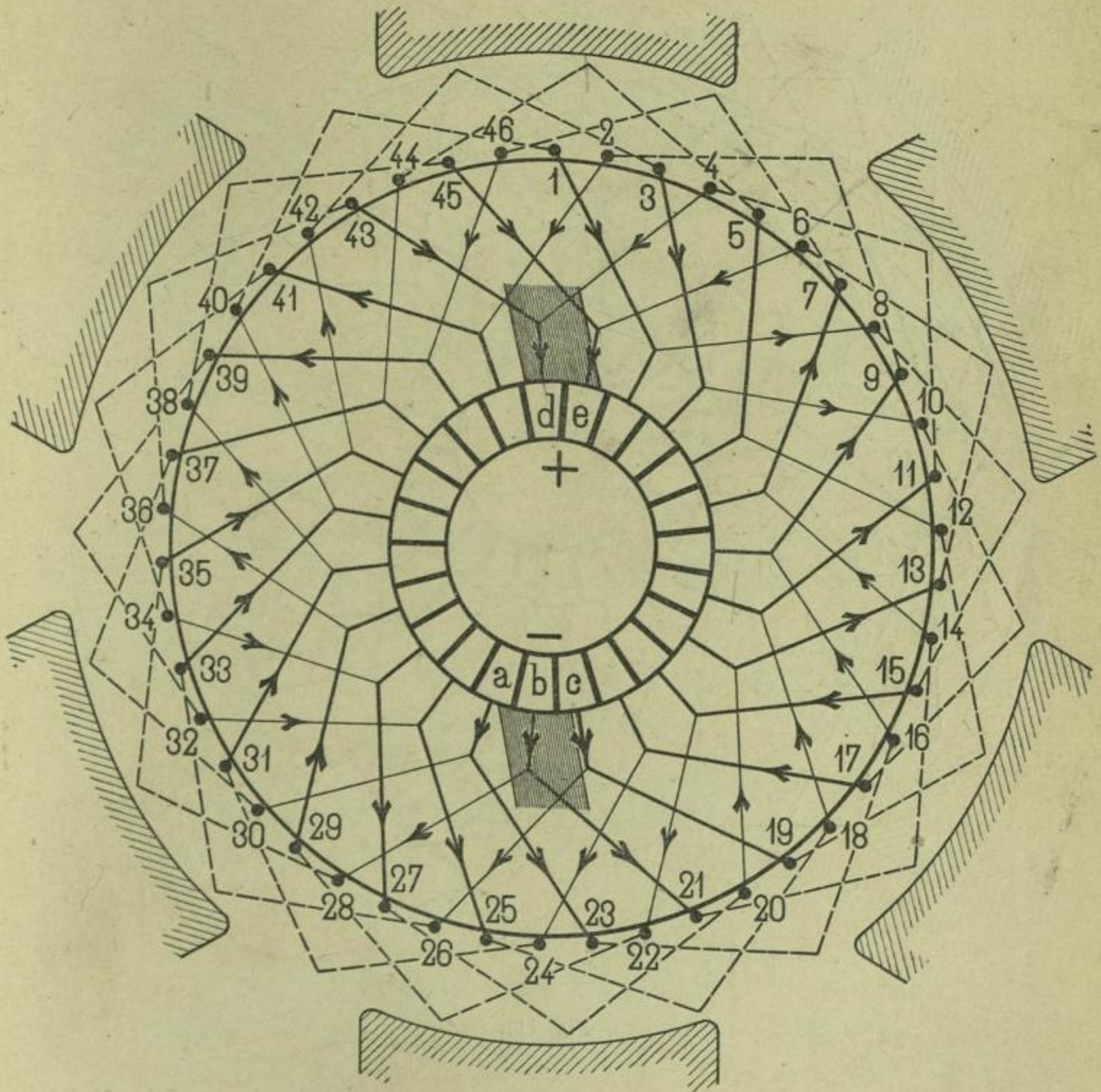


Fig. 113.

Diese Wicklung ist einfach geschlossen; die Zahl der Ankerstromzweige ist, weil  $a = p$ , ebenso wie bei der gewöhnlichen Parallelschaltung  $= 2p$ . Ein weiteres Beispiel hierzu liefert die Fig. 94.

4. Beispiel. Es sei

$$p = 3, \quad s = 50, \quad a = 4,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{50 - 8}{3} = 14,$$

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 7;$$

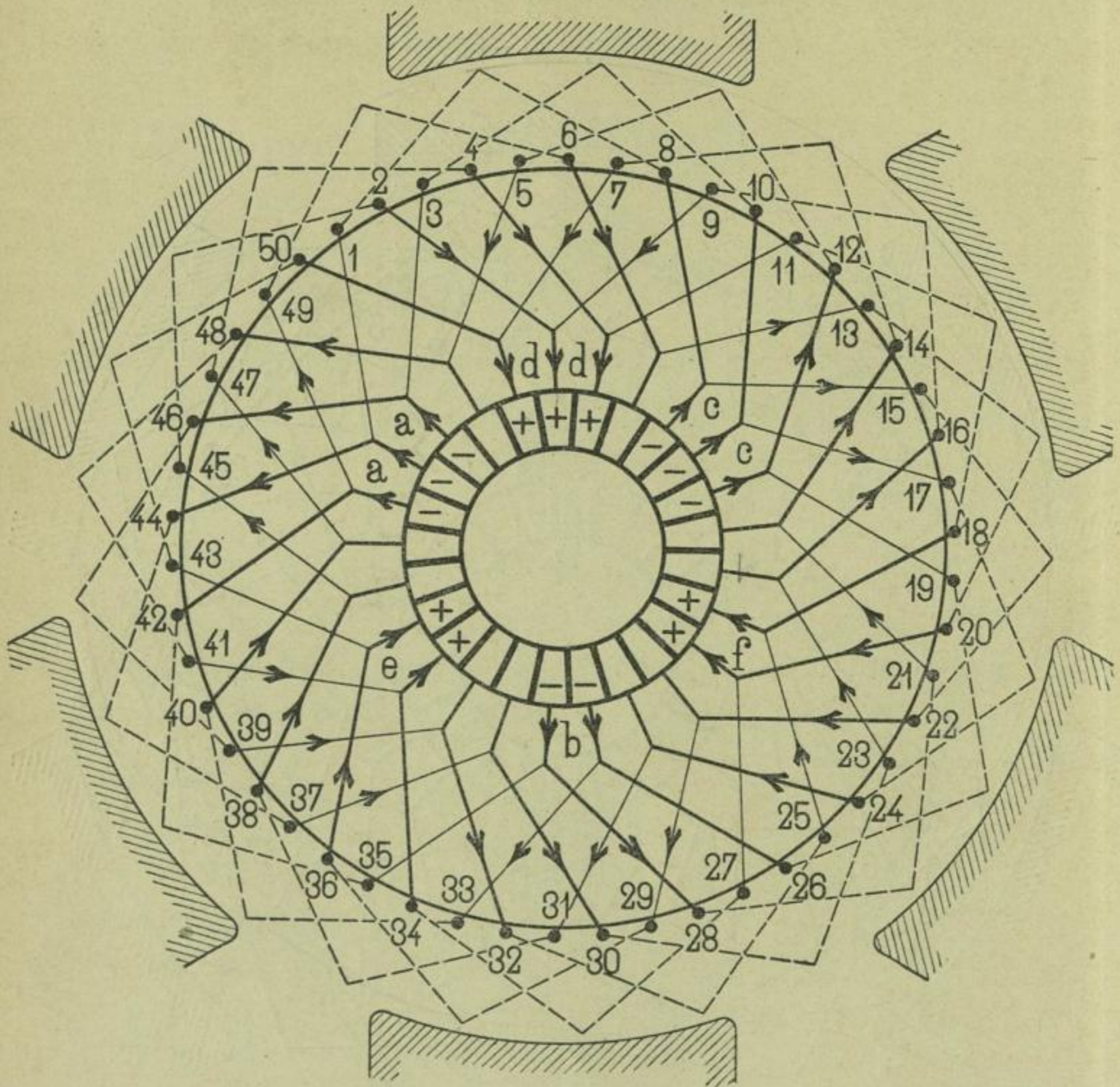


Fig. 114.

das entsprechende Schema ist in Fig. 114 entworfen. Die Zahl der Bürsten muß nun auf 6 erhöht werden, denn die Zahl der Stromkreise ist für zwei Bürsten zu groß, um den Kurzschluss der Spulen rechtzeitig zu veranlassen. In der vorhergehenden Fig. 113 war es noch möglich, mit zwei Bürsten auszukommen.

Wir erhalten folgende 8 Ankerstromzweige:

<i>a</i>	49	6	13	20	<i>f</i>		
<i>a</i>	44	37	30	23	16	9	<i>d</i>
<i>a</i>	46	39	32	25	<i>f</i>		
<i>b</i>	28	21	14	7	<i>d</i>		
<i>b</i>	33	40	47	4	<i>d</i>		
<i>c</i>	12	5	48	41	<i>e</i>		
<i>c</i>	15	22	29	36	<i>e</i>		
<i>c</i>	17	24	31	38	45	2	<i>d</i>

Der Kurzschluss der Spulen entsteht durch die Verbindungen von gleichnamigen Bürsten untereinander, also durch

<i>a</i>	42	35	<i>b</i>
<i>a</i>	1	8	<i>c</i>
<i>a</i>	3	10	<i>c</i>
<i>b</i>	26	19	<i>c</i>
<i>e</i>	34	27	<i>f</i>
<i>e</i>	43	50	<i>d</i>
<i>d</i>	11	18	<i>f</i>

Es sind also 14 Drähte kurzgeschlossen.

Diese Beispiele mögen genügen, um die Aufmerksamkeit der Dynamobauer auf die Reihen-Parallelschaltung zu lenken.

### Übersicht über die verschiedenen Bewicklungsarten eines Trommelankers.

Aus den bisherigen Darstellungen geht hervor, dass die Zahl der Bewicklungsarten eines Ankers eine sehr große und mannigfaltige ist. Die praktisch brauchbaren Wicklungen sind spezielle Fälle von einer theoretisch sehr großen Zahl von Möglichkeiten.

Im Nachfolgenden will ich eine Zusammenstellung der Bewicklungsarten eines Trommelankers geben. Dieselben sind in zwei Hauptgruppen, in Schleifenwicklungen und Wellenwicklungen getrennt und dann nach der Zahl der Ankerstromzweige und der Zahl der Schließungen einer Wicklung geordnet.

In der vierten Spalte ist angegeben, aus welchen einfach geschlossenen Wicklungen sich die mehrfach geschlossenen zusammensetzen.

## I. Schleifenwicklungen.

$a =$	Zahl der Ankerstromzweige $2ap =$	Zahl der Schließungen	Die Wicklung besteht aus	Nr.
1	$2p$	1	— . . . . .	1
2	$4p$	1	— . . . . .	2
		2	2 Wickl. Nr. 1 . . . . .	—
3	$6p$	1	— . . . . .	3
		2	1 Wickl. Nr. 1 und 1 » Nr. 2 . . . . .	—
		3	3 Wickl. Nr. 1 . . . . .	—
4	$8p$	1	— . . . . .	4
		2	2 Wickl. Nr. 2 . . . . .	—
		3	2 » Nr. 1 und 1 » Nr. 2 . . . . .	—
		4	4 » Nr. 1 . . . . .	—
5	$10p$	1	— . . . . .	5
		2	1 Wickl. Nr. 2 und 1 » Nr. 3 . . . . .	—
		3	1 » Nr. 1 2 » Nr. 2 . . . . .	—
		4	3 » Nr. 1 1 » Nr. 2 . . . . .	—
		5	5 » Nr. 1 . . . . .	—

u. s. f.

## Trommelanker mit zwei Kollektoren.

Die für Ringanker angegebenen Verbindungsarten (Seite 70) sind für Trommelanker ebenfalls anwendbar. Da bei einem Trommelanker mit einfachem Kollektor die Zahl der Lamellen höchstens halb so groß ist als die Stabzahl des Ankers, so wird der Fall, daß zwei Kollektoren für die Stromabnahme erforderlich sind, eher eintreten als bei Ringankern und es kann die Anwendung von zwei Kollektoren durch den Übergang von der Trommel- zur Ringwicklung in gewissen Fällen vermieden werden.

Der Anker erhält entweder eine Wicklung, welche an beide Kollektoren angeschlossen ist, oder zwei unabhängige Wicklungen, von denen jede mit einem Kollektor verbunden ist, oder endlich zwei oder mehr Wicklungen, von denen jede beiden Kollektoren



II. Wellenwicklungen.

$a =$	Zahl der Ankerstromzweige $2a =$	Zahl der Schließungen	Die Wicklung besteht aus	Nr.		
1	2	1	— . . . . .	1		
2	4	1	— . . . . .	2		
			2 Wickl. Nr. 1 . . .	—		
3	6	1	— . . . . .	3		
			2	1 Wickl. Nr. 1 und	—	
				1 » Nr. 2 . . .	—	
4	8	3	3 » Nr. 1 . . .	—		
			2	1	— . . . . .	4
				2 Wickl. Nr. 2 . . .	—	
				3	2 » Nr. 1 und	—
1 » Nr. 2 . . .	—					
5	10	4	4 » Nr. 1 . . .	—		
			1	— . . . . .	5	
				2	1 Wickl. Nr. 2	—
					1 » Nr. 3	
				3	oder	—
1 Wickl. Nr. 1						
4	3	1 » Nr. 4	—			
		1 Wickl. Nr. 1				
		2 » Nr. 2				
5	4	3	oder	—		
			2 Wickl. Nr. 1			
			1 » Nr. 3			
5	5	5	3 Wickl. Nr. 1	—		
			1 » Nr. 2			
			5 » Nr. 1			

u. s. f.

Strom zuführt. Der letztere Fall ist für zwei Wicklungen<sup>1)</sup> in Fig. 69 dargestellt.

Trommelankerwicklung von Immisch. Eine eigentümliche Anwendung des v. Hefner-Alteneckschen Schemas zeigt der Anker des Elektromotors von Immisch.<sup>2)</sup> In Fig. 115 ist diese Bewicklung dargestellt.

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 22097 v. 13. Juni 1882 von E. Weston.

<sup>2)</sup> La Lum. électr. 1887 Bd. 24 p. 261. Elektrot. Zeitschr. 1887 p. 531.

Es sind zwei Kollektoren vorhanden, deren Lamellenzahl gleich der halben Spulenzahl ist. Dieselben sind um die Breite einer halben Lamelle gegeneinander verstellt, so daß die Mitte eines Segmentes des einen Kollektors mit dem Zwischenraum von zwei Segmenten des andern Kollektors zusammenfällt. Jede Bürste besteht ebenfalls aus zwei Teilen, die miteinander verbunden sind und auf den beiden Kollektoren schleifen. In

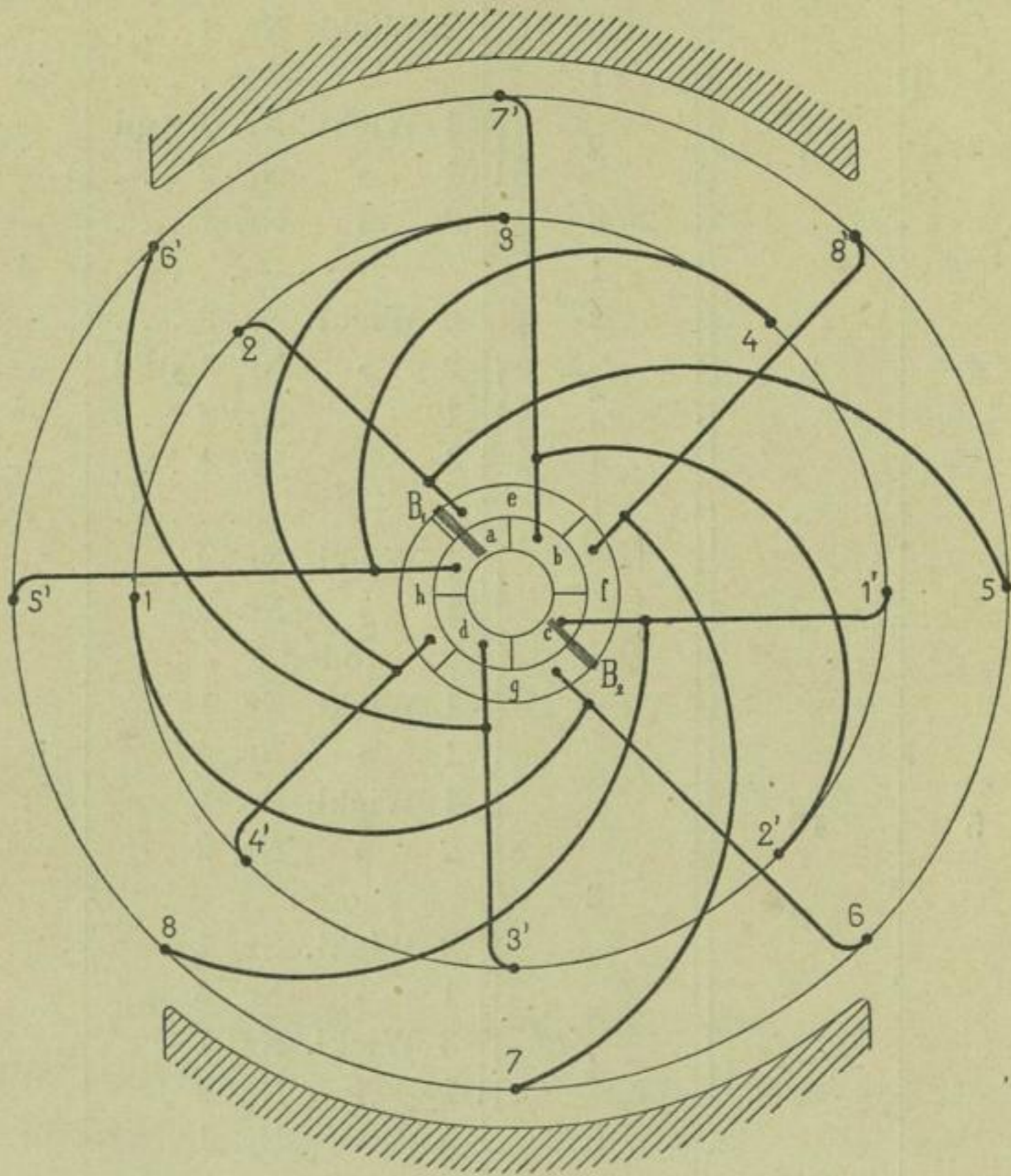


Fig. 115.

Fig. 115 sind, um die Verbindungen besser andeuten zu können, die beiden Kollektoren als konzentrische Ringe dargestellt. Der Strom kreist ebenso wie in einer v. Hefner-Alteneckschen Trommel und beide Wicklungen wären identisch, wenn die Segmente des einen Kollektors zwischen die Segmente des andern geschoben würden, z. B. *c* zwischen *a* und *b*. — Der doppelte Kollektor leistet dasselbe wie ein gewöhnlicher, nur bleiben die Spulen längere Zeit kurzgeschlossen als es sonst geschieht.

## Die Wicklungen von Scheibenankern und verwandten Ankerkonstruktionen.

Bei den Ring- und Trommelankern bewegen sich die ganzen Spulen, deren Form gewöhnlich viereckig ist, derart zwischen Polen entgegengesetzter Polarität, daß die Ebene derselben bald senkrecht bald parallel zur Richtung der magnetischen Strömung steht. Die Entfernung von Mitte bis Mitte Polfläche wird stets annähernd gleich der Spulenweite sein, und die Kraftlinien haben daher einen guten Teil ihres Weges innerhalb des Ankers zurückzulegen; der Ankerkern wird deshalb aus Eisen hergestellt, welches aus mechanischen Gründen mitrotieren muß.

Für die Scheibenanker ist nun charakteristisch, daß sich gleichzeitig nur einzelne Seiten der Spulen oder die Ankerstäbe in steter Aufeinanderfolge zwischen zwei gegenüberstehenden Polen entgegengesetzter Polarität bewegen, während die Ebene der Spulen senkrecht zur Richtung der magnetischen Strömung bleibt. Die Entfernung der Polflächen ist jetzt nur noch von der Dicke der Armaturstäbe abhängig und der eiserne Ankerkern kann ganz in Wegfall kommen, indem die Kraftlinien die kurze Strecke zwischen zwei Polen durch die Luft zurücklegen.

Um ohne Anwendung eines Eisenkernes und mit möglichst wenig Amperewindungen ein intensives magnetisches Feld zu erzeugen, muß der Abstand, welcher für die Bewegung des Ankers zwischen den Polen frei gelassen wird, möglichst klein gewählt werden, d. h. die der Induktion ausgesetzten Leiter dürfen in der Richtung der Kraftlinien nur wenig Raum beanspruchen. Diese Bedingung, sowie die Verbindung der induzierten Leiter unter sich und mit dem Kollektor erschweren die Herstellung von Scheibenankern ganz wesentlich.

Die Scheibenanker werden meistens für mehrpolige Maschinen gebaut; jedoch läßt sich ein solcher Anker auch für zweipolige Maschinen ausführen.

Die Reihenschaltung ist für vielpolige Scheibenanker besonders geeignet, denn dieselbe gestattet die gewünschte elektromotorische Kraft mit geringer Windungs- oder Stabzahl des Ankers zu erreichen.

#### Die Faraday'sche Scheibe.

Als passender Ausgangspunkt für die Scheibenanker kann die Scheibe von Faraday angesehen werden. Die bekannte Anordnung ist in Fig. 116 dargestellt. Eine Kupferscheibe rotiert so

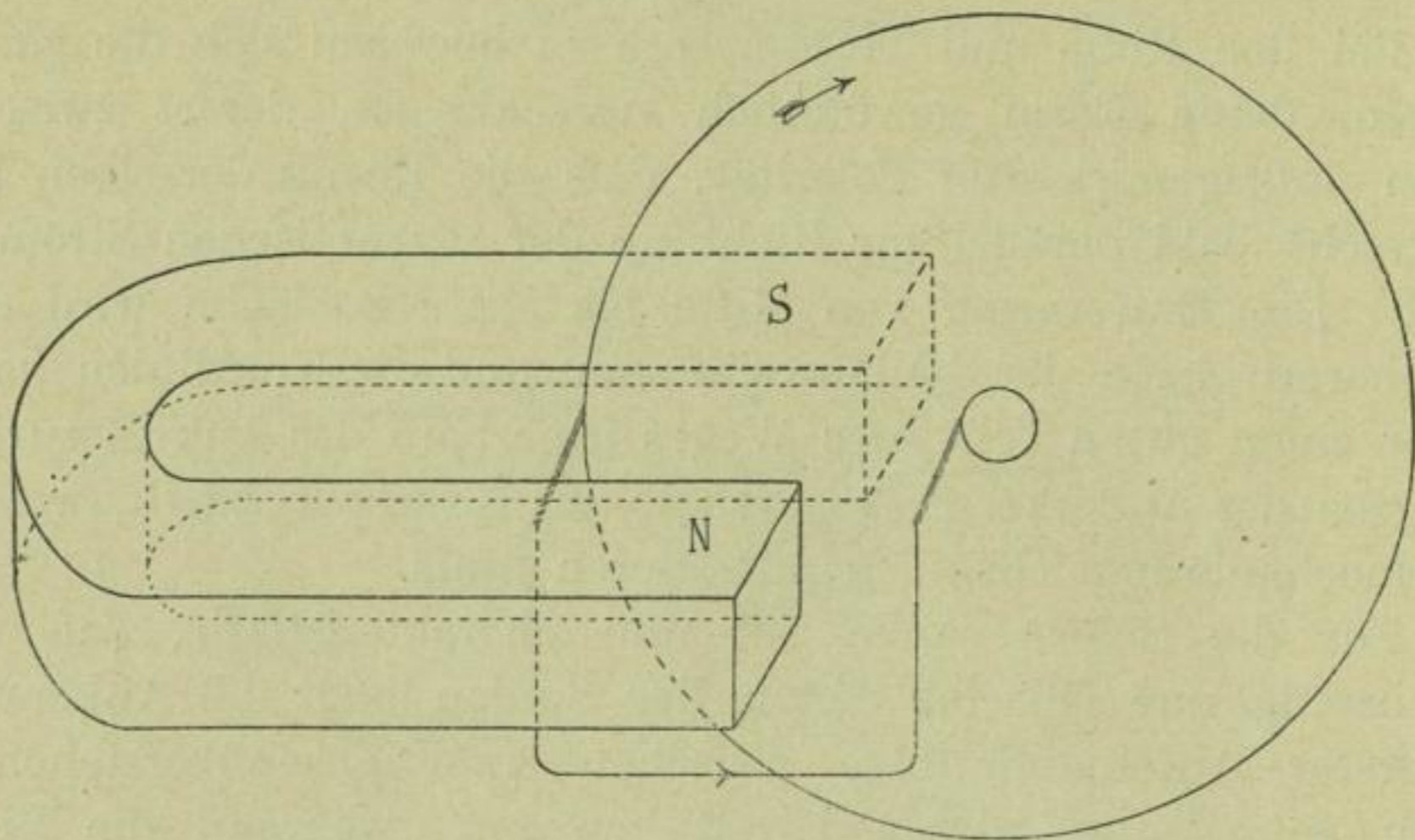


Fig. 116.

im magnetischen Felde, daß beständig Kraftlinien geschnitten werden. Durch Anlegen von Bürsten an der Achse und der Peripherie der Scheibe wird im äußern Stromkreise ein ununterbrochener Strom erhalten.

#### Scheibenanker von W. Thomson<sup>1)</sup> und Poleschko<sup>2)</sup>.

Teilt man die Kupferscheibe in radiale Streifen, welche an einer gemeinsamen Nabe befestigt, nach der Peripherie zu aber voneinander isoliert sind, und läßt diese Scheibe zwischen zwei Feldern entgegengesetzter Polarität rotieren, so erhält man die

<sup>1)</sup> S. P. Thompson, Dyn.-Masch. III. Aufl. p. 233.

<sup>2)</sup> La Lum. élect. Bd. 35. 1889. p. 610.

Anordnung von Poleschko (Fig. 117). In der Figur hat man sich über der Papierebene vor dem Nordpol einen Südpol und vor dem Südpol einen Nordpol zu denken.}

Beide Bürsten schleifen am Umfange der Scheibe in der Pollinie  $SN$ , die elektromotorischen Kräfte in den gegenüberstehenden radialen Stäben addieren sich, was einer Verdopplung derselben im Vergleich zu einer Faraday'schen Scheibe entspricht. Die

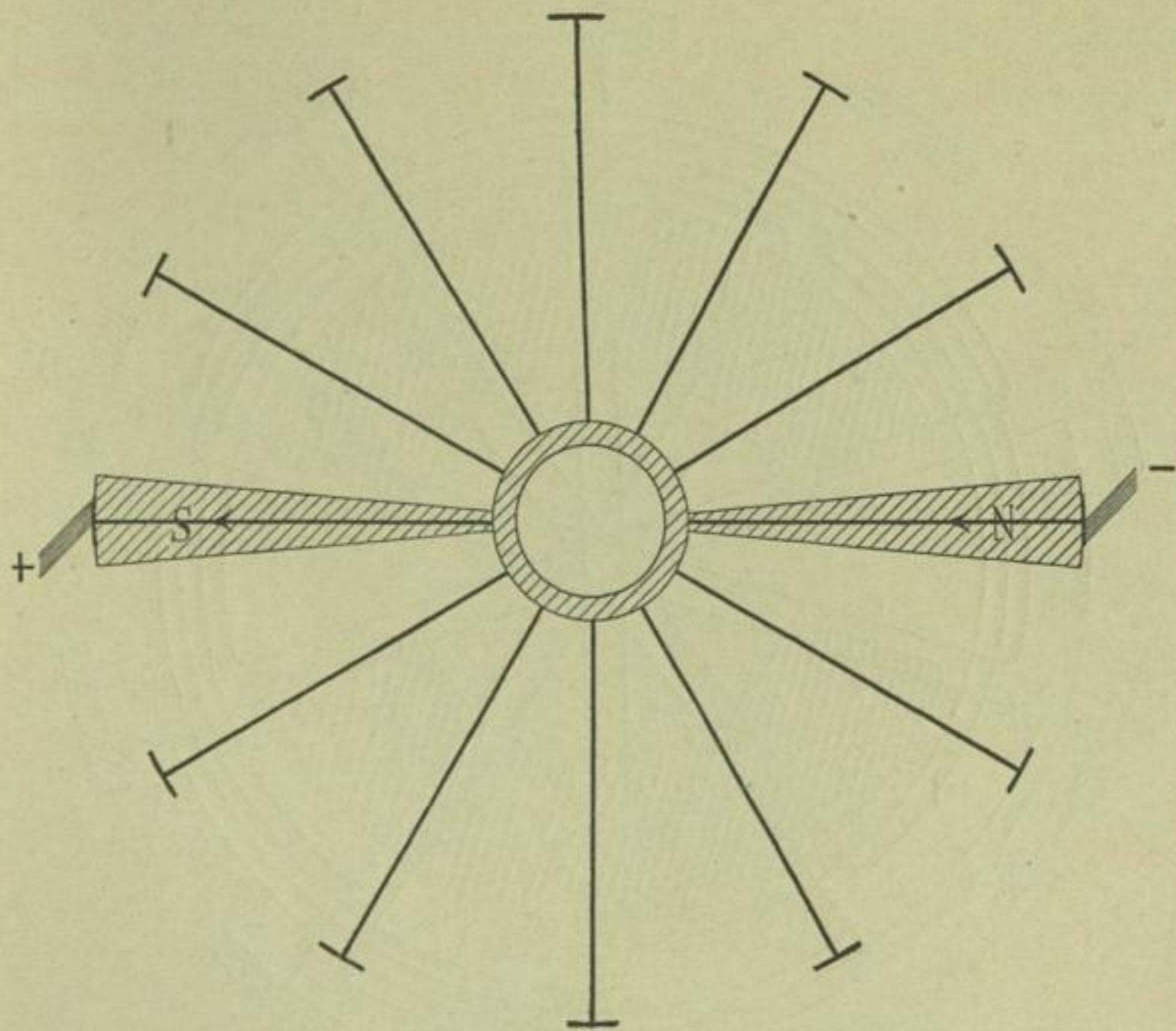


Fig. 117.

Teilung der Scheiben in radiale Streifen verhindert die Bildung von Nebenströmen.

W. Thomson verbindet die radialen Arme oder Speichen an ihren äußeren Enden mit einem kupfernen Reifen; ihre innern Enden sind isoliert und jedes steht mit einem Segmente eines gewöhnlichen Kollektors in Verbindung, auf welchem zwei Bürsten schleifen.

Diese Anker gehören zu denjenigen mit offener Wicklung. Dieselben fanden, um die Entstehung des Scheibenankers zu erläutern, jedoch schon hier Erwähnung.

Scheibenanker von Pacinotti <sup>1)</sup>.

Im Jahre 1881 wurde eine Maschine mit Scheibenanker zur Pariser Weltausstellung gebracht, welche Pacinotti im Jahre 1875 erfunden hatte. Pacinotti stellt den Anker ebenfalls aus radialen Leitern, welche zwischen zwei Feldern entgegengesetzter Polarität rotieren, zusammen, verbindet aber dieselben so untereinander, daß eine einzige geschlossene Wicklung entsteht. In Fig. 118 ist

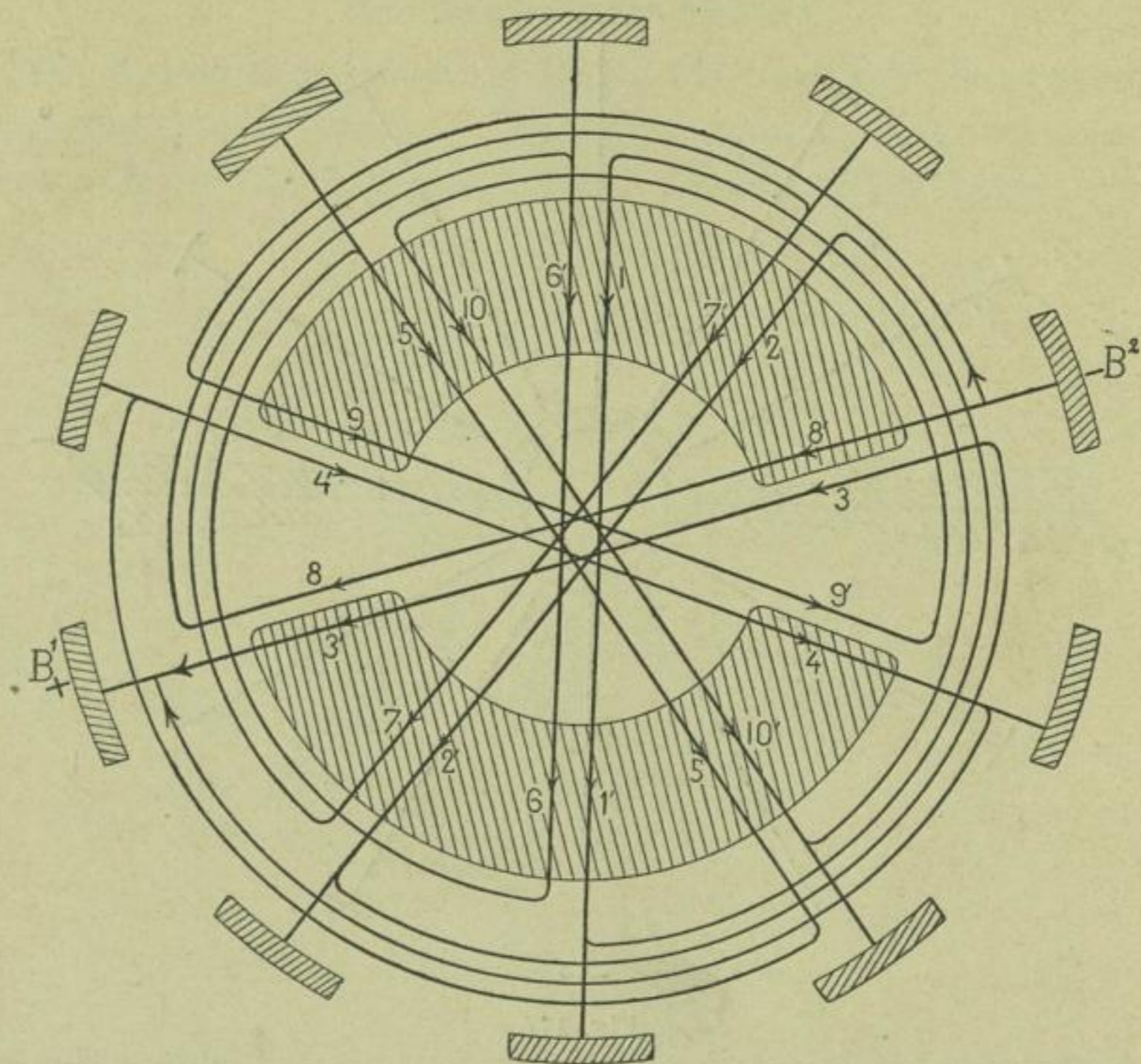


Fig. 118.

die Verbindungsweise angegeben; die Flächen der einander gegenüberstehenden Pole sind im Vergleich zu Fig. 117 stark verbreitert, so daß in der einen Hälfte der Leiter der Strom radial nach innen und in der andern Hälfte radial nach außen fließt. Die Verbindungsweise entspricht unserer allgemeinen Schaltungsregel, also auch derjenigen des Pacinotti'schen Ringankers.

In der Figur ist  $s = 10$ ,  $y = s + 1 = 11$ , daher muß 1' mit  $1 + 11 = 12$  oder 2 verbunden werden. Die Kollektorlamellen

<sup>1)</sup> S. P. Thompson, Die dynamoelectr.-Masch. 1893. p. 296.

sind der Deutlichkeit halber auf den äußern Umfang verlegt. Der Strom gelangt durch die Bürste  $B^1$  in den äußern Stromkreis, tritt durch die Bürste  $B^2$  wieder in den Anker ein und verteilt sich von hier aus in die Zweige

$$B^2 \ 9, 9', 10, 10', 1, 1', 2, 2', 3, 3', B^1$$

$$B^2 \ 8', 8, 7', 7, 6', 6, 5', 5, 4', 4, B^1.$$

#### Scheibenanker von Edison<sup>1)</sup>.

Im Jahre 1881 liefs sich Edison eine Maschine patentieren, deren Anker mit demjenigen von Pacinotti nahezu übereinstimmt.

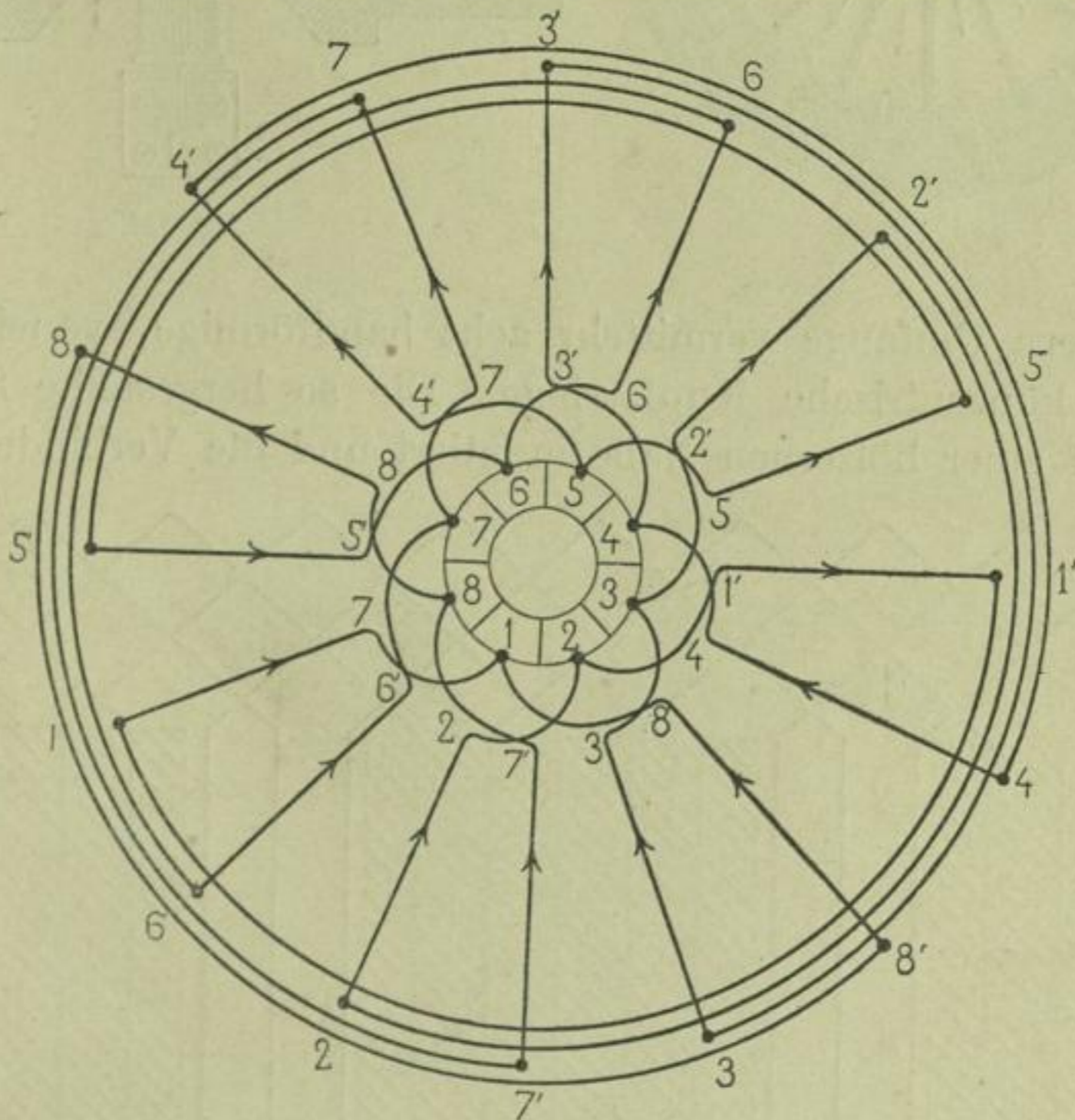


Fig. 119.

Vertauschen wir nämlich bei dem Letztern die Verbindungen der radialen Stäbe derart, daß wir die am Umfange liegenden Verbindungen mit den Kollektorsegmenten nach innen und die innern Verbindungen (1 mit 1', 2 mit 2' u. s. f.) nach außen verlegen, so ergibt sich das in Fig. 119 dargestellte Schema von Edison.

Die konstruktive Ausführung veranschaulichen die Fig. 120 und 121 in Ansicht und Querschnitt.

<sup>1)</sup> D. R. P. 18216 v. 2. Aug. 1881.

Die 16 radialen Leiter bestehen aus Kupferstreifen ( $a, a \dots$ ), welche gut von einander isoliert sind. Die Verbindung derselben

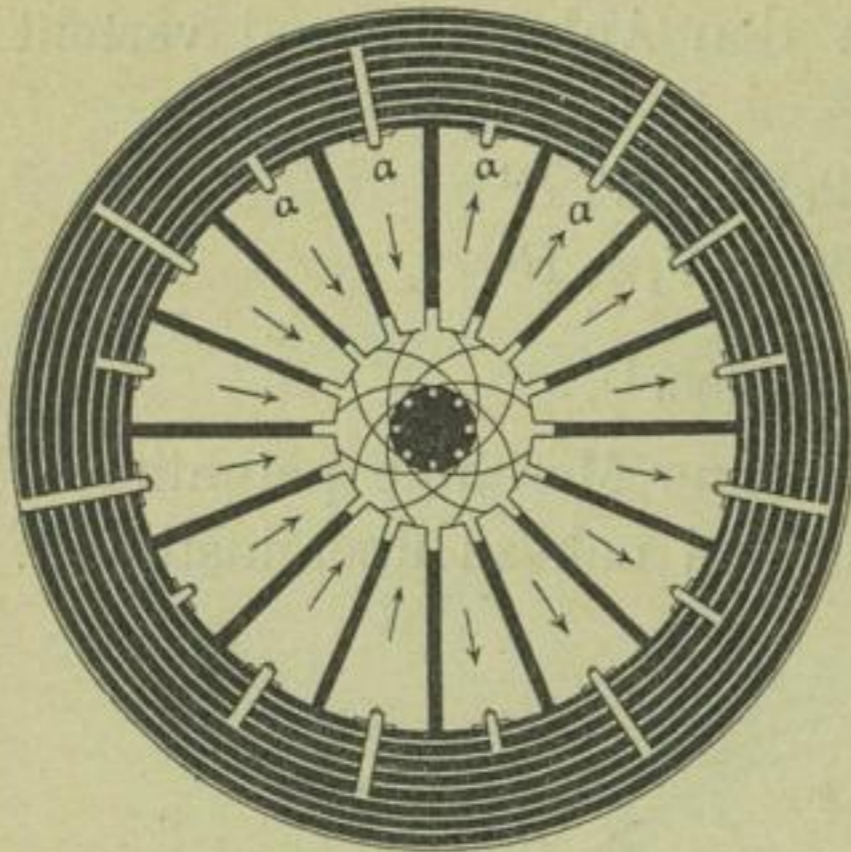


Fig. 120.

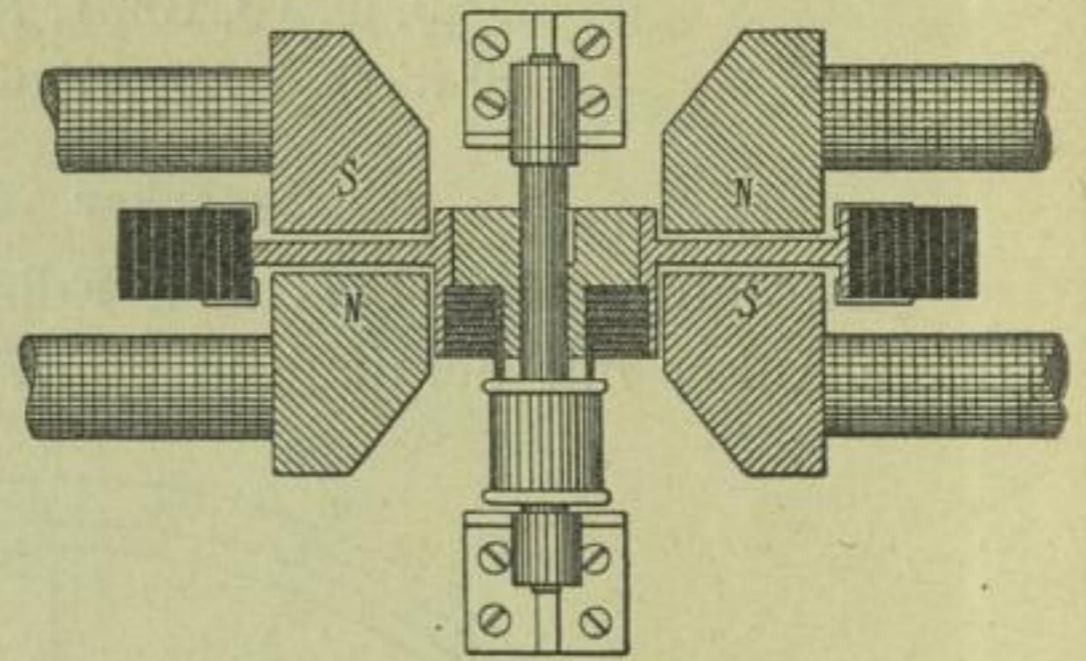


Fig. 121.

am äußern Umfange vermitteln acht bandförmige, voneinander isolierte konzentrische Kupferringe. Die so hergestellte Scheibe wird auf einer hölzernen Nabe montiert und die Verbindung der

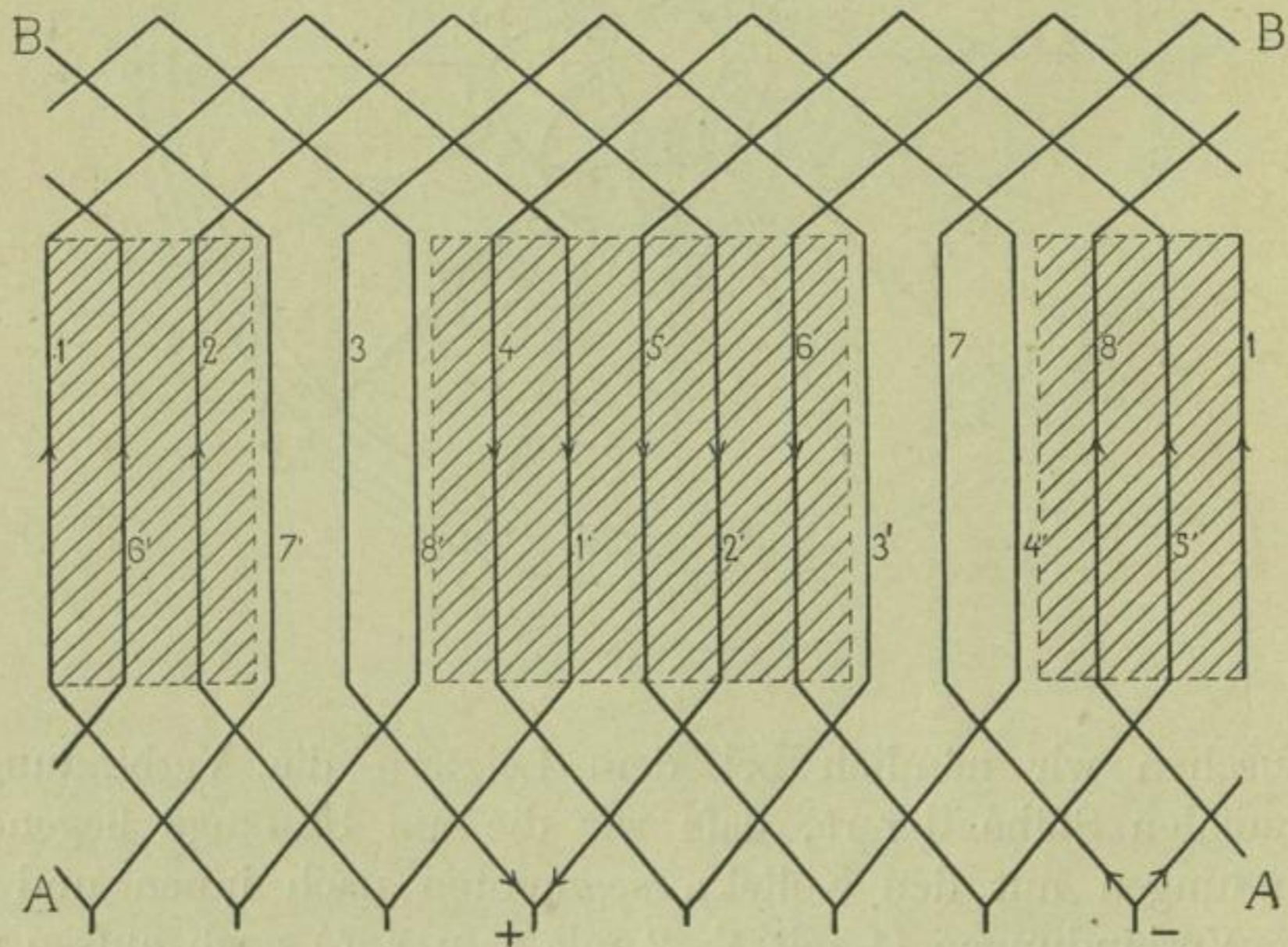


Fig. 122.

innern Enden der radialen Streifen mit dem Kollektor ebenfalls durch acht auf die Nabe aufgeschobene und isolierte Kupferringe bewerkstelligt.



Zeichnet man die Schemata von Pacinotti und Edison in aus-  
gestreckter Lage, so erhält man Fig. 122.

Ein Vergleich derselben mit Fig. 73 beweist, daß die vor-  
liegende Verbindungsmethode mit der von v. Hefner-Alteneck'schen  
Trommelwicklung übereinstimmt. Rollen wir das Schema Fig. 122  
hochkant derartig in eine Kreisform, daß die Seite *AA* am  
äußern Umfang liegt, so erhalten wir das Schema von Pacinotti,

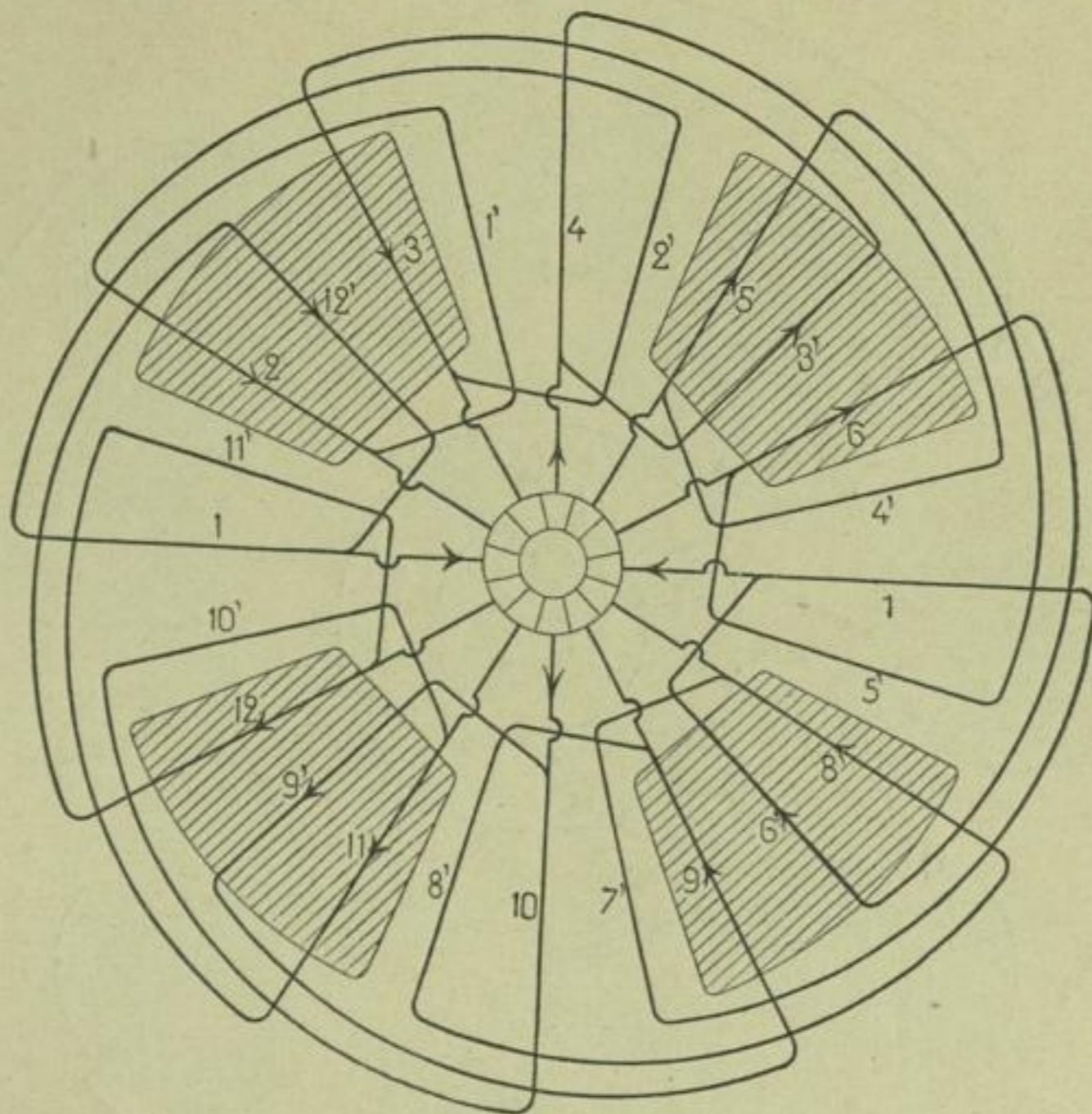


Fig. 123.

kommt dagegen *BB* nach außen zu liegen, so ergibt sich das  
Schema von Edison.

Wenden wir die in Fig. 119 angegebene Verbindungsmethode  
für eine vierpolige Anordnung an, so entsteht das Schema Fig. 123.  
Dasselbe ist vollkommen übereinstimmend mit dem für Trommel-  
anker gültigen Schema Fig. 86.

#### Scheibenanker von Frick.

Im deutschen Reichspatente Nr. 3147 vom 6. Dezember 1877  
hat Frick eine mehrpolige Ankerwicklung beschrieben, welche  
eine Reihenschaltung darstellt. Es dürfte das zugleich die erste  
Reihenschaltung sein, welche bekannt geworden ist.

Die Figuren sind in der Patentschrift sehr undeutlich gehalten, es ist das jedenfalls der Grund, weshalb diese Wicklung so wenig bekannt<sup>1)</sup> und von andern Autoren bei Behandlung der Ankerwicklungen gar nicht oder unrichtig wiedergegeben worden ist.

Die Wicklung setzt sich aus Zickzackspulen zusammen. Jede einzelne Spule geht von einer Kollektorlamelle aus, durchläuft der

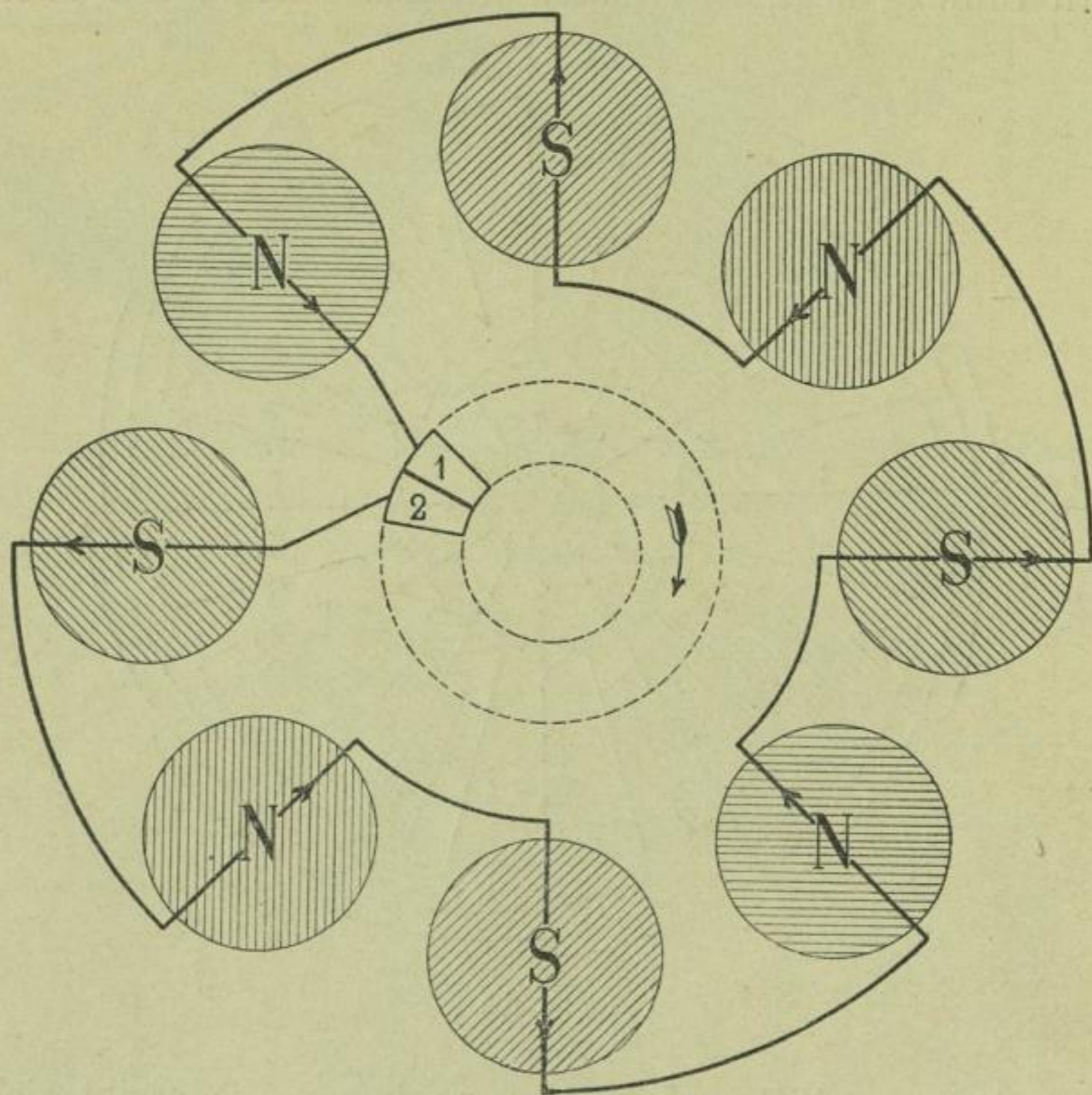


Fig. 124.

Reihe nach sämtliche Pole, so daß sich die induzierten E. M. Ke. addieren, und das Ende wird mit der benachbarten Lamelle verbunden. In Fig. 124 ist eine einzelne Spule und in Fig. 125 das vollständige Schema eines 8poligen Ankers mit 5 Zickzackspulen dargestellt. Dasselbe Schema kann ohne Weiteres auf Ring- und Trommelanker übertragen werden, wie Fig. 107 zeigt.

<sup>1)</sup> Anspruch 1 des D. R. P. von Ch. Stanley, Nr. 56 258 v. 10. Juli 1889 entspricht dieser Wicklung von Frick.

Die Zahl der Kollektorsegmente beträgt 20, hiervon werden zunächst nur 5 Segmente mit den Spulen, und zwar wie folgt verbunden:

Spule 1	beginnt	bei	Segment	1	und	endet	bei	Segment	2
»	2	»	»	»	2	»	»	»	3
»	3	»	»	»	3	»	»	»	4
»	4	»	»	»	4	»	»	»	5
»	5	»	»	»	5	»	»	»	1

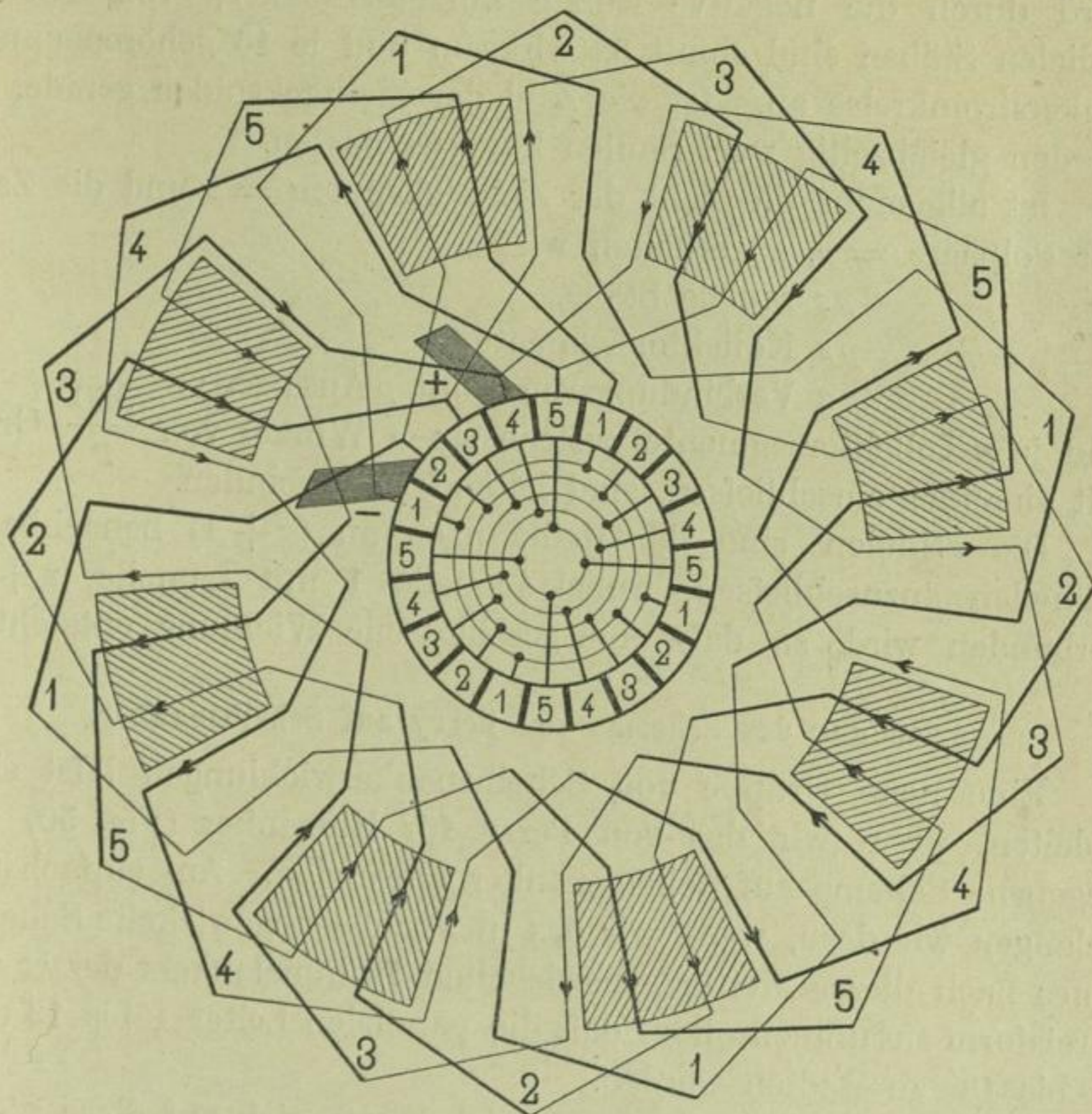


Fig. 125.

d. h. die Verbindungen folgen sich ebenso wie bei einer zwei-<sup>170.28</sup>poligen Maschine, aber die 5 Segmente füllen nur  $90^\circ$  des Kollektorumfangs. Der Anschluss der übrigen 15 Lamellen erfolgt durch Ringe, die sich innerhalb des Kollektors befinden und mit je vier Ansätzen versehen sind; je vier Segmente, welche um  $90^\circ$  auseinander liegen, werden mit diesen Ansätzen verlötet und dadurch leitend verbunden. Diese Ringe sind in der Fig. 125 im Innern des

Kollektors durch konzentrische Kreise angedeutet. — Die leitend mit einander verbundenen Lamellen haben die gleiche Nummer.

Wir erhalten zwei Bürsten unter  $45^\circ$ , es können jedoch auch 8 Bürsten angeordnet werden. Der Stromlauf ist

$$- \left\langle \begin{array}{cccccccc} 2 & - & 2 & - & 2 & - & 2 & - & 3 & - & 3 & - & 3 & - & 3 \\ 5 & - & 5 & - & 5 & - & 5 & - & 4 & - & 4 & - & 4 & - & 4 \end{array} \right\rangle +$$

wir haben somit eine Reihenschaltung. Die Spule 1 — 1 — 1 — 1 wird durch die negative Bürste kurzgeschlossen, von den 40 radialen Stäben sind somit 32 wirksam und je 16 gehören einem Ankerstromkreise an. Ist die Zahl der Zickzackspulen gerade, so werden gleichzeitig zwei Spulen kurzgeschlossen.

Ist allgemein die Zahl der Zickzackspulen  $= z$  und die Zahl der Polpaare  $= p$ , so erhalten wir

$2pz$  radiale Stäbe,

$pz$  Kollektorsegmente,

$z$  Verbindungsringe mit  $p$  Ansätzen;

und je  $p$  Kollektorsegmente, welche einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad mit einander einschließen, sind leitend zu verbinden.

Die  $z$  Spulen sind der Reihe nach an  $(z + 1)$  benachbarte Lamellen anzuschließen, wobei Lamelle 1 mit Lamelle  $(z + 1)$  verbunden wird, so daß eine geschlossene Wicklung entsteht.<sup>1)</sup>

#### Anwendung des Schemas von Perry auf Scheibenanker.

Eine neue Gruppe von Scheibenankerwicklungen läßt sich ableiten, wenn wir das von Perry für Ringanker (Fig. 50) angegebene Schema auf Scheibenanker anwenden. Am einfachsten gelangen wir dazu, wenn wir das in Fig. 98 abgewickelte Schema eines nach dieser Methode bewickelten Trommelankers derart zur Kreisform zusammenrollen, daß die parallelen Leiter 1 bis 13 und 1' bis 13' zu Radien werden.

In Fig. 126 ist ein Schema, welches man sich auf diese Weise entstanden denken kann, für acht magnetische Felder entworfen.

Für das Verhältnis der Spulenzahl zum Schritte gelten hier dieselben Bedingungen wie für Trommelwicklungen. Es ist für Reihenschaltung

$$y_1 + y_2 = \frac{s + 2}{p};$$

<sup>1)</sup> Die Verbindungen der Wicklung mit dem Kollektor können am Kollektorumfange symmetrisch verteilt werden, wie das in Fig. 107 für Trommelwicklung gezeigt wurde. —

$$\frac{s}{2} \text{ und } \frac{y_1 + y_2}{2}$$

müssen teilerfremd sein.

Die für Trommelanker auf Seite 111 u. f. gegebenen Tabellen der möglichen Stabzahlen und Wicklungsschritte sind auch für Scheibenanker gültig.

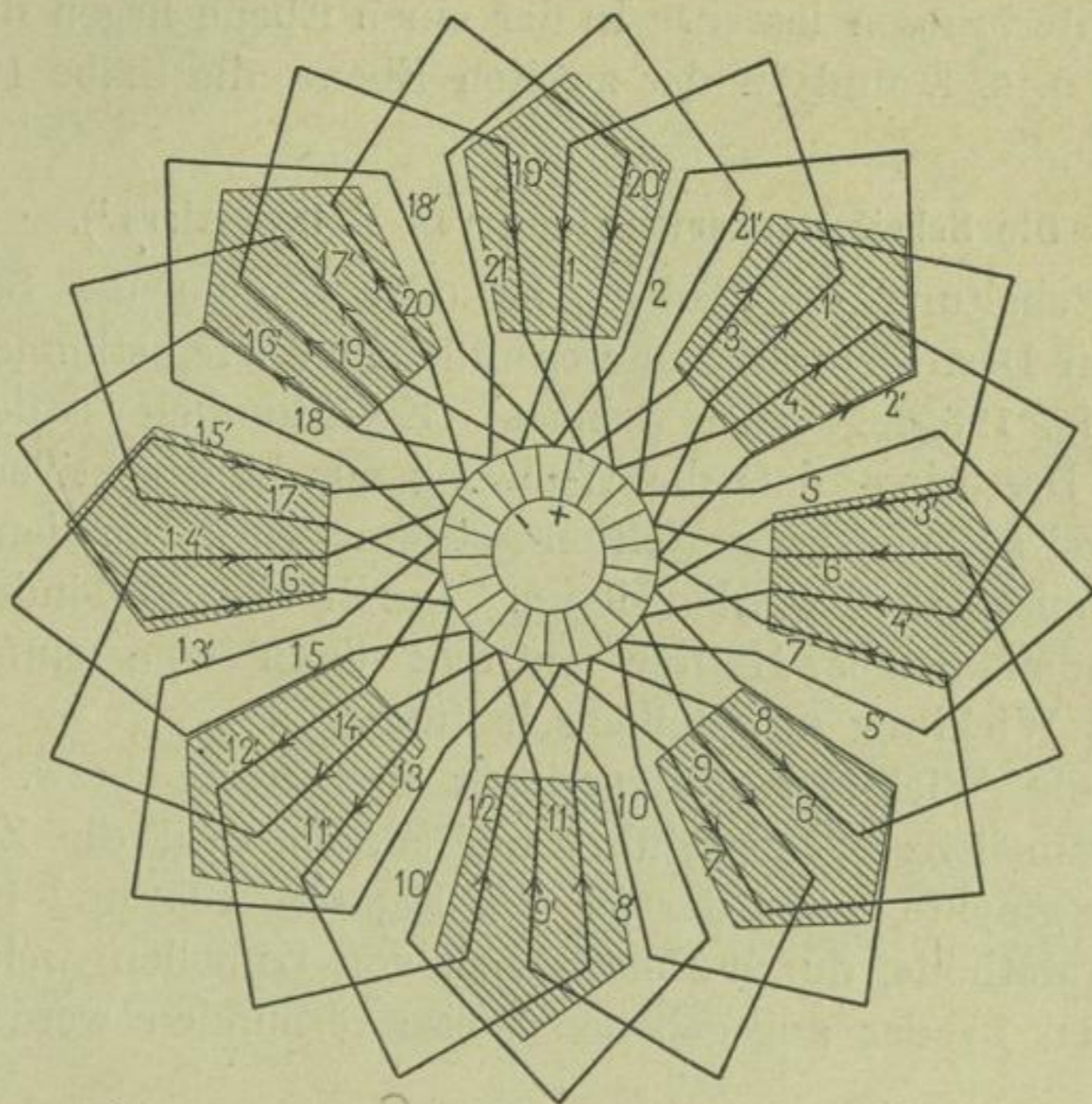


Fig. 126.

In Fig. 126 ist

$$s = 42, \quad p = 4,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{42 - 2}{4} = 10,$$

$$y_1 = y_2 = 5$$

$y_1$  kann als Schritt am äußeren,  $y_2$  als Schritt am inneren Umfange angesehen werden. Es ist 1' mit  $1 + 5 = 6$ , 2' mit 7, 3' mit 8 u. s. f. zu verbinden. Die Stäbe hätten ebensogut fortlaufend numeriert werden können.

Die Zahl der Kollektorsegmente ist gleich 21; durch jede Bürste werden gleichzeitig  $p = 4$  Spulen oder 8 Stäbe kurz geschlossen, und zwar in der gezeichneten Lage durch die negative Bürste die Spulen 21—21', 5—5', 10—10', 15—15' und durch die positive Bürste die Spulen 18'—18, 13'—13, 8'—8 und 3'—3.

Die Gestalt der Polflächen wird durch die Form der Spulen bestimmt; damit keine entgegenwirkenden elektromotorischen Kräfte induziert werden, müssen die Pole aufsen abgeschrägt und die Seitenflächen radial verlaufend sein.

Aus der Figur ist leicht ersichtlich, daß sich sämtliche Stäbe mit den Querverbindungen in zwei, axial hintereinander liegenden Ebenen unterbringen lassen. In der einen Ebene liegen die Stäbe 1, 2, 3, 4 u. s. f. und in der zweiten Ebene die Stäbe 1', 2', 3', 4' u. s. f.

#### Die Scheibenankerwicklung von E. Desroziers<sup>1)</sup>.

Die Schaltung der Ankerstäbe oder Spulen des Scheibenankers von Desroziers ist im wesentlichen übereinstimmend mit dem in Fig. 126 gegebenen Schema. Eigentümlich ist der Schaltung von Desroziers, daß die Wicklung aus konstruktiven Gründen in zwei symmetrische Hälften getrennt wird, von denen jede für sich ausgeführt werden kann. Durch die Verbindung der freien Enden beider Hälften entsteht dann eine einfach geschlossene Wicklung mit Reihenschaltung.

Soll die Wicklung mit geringer Spulenzahl bzw. großer Kollektorlamellenzahl ausgeführt werden, so wird die Zahl der Kollektorsegmente, nach der in den Figuren 105 und 106 dargestellten Methode, durch Einschieben von Lamellen, welche mit den übrigen in der angegebenen Weise verbunden werden, vergrößert.

Als Beispiel diene eine 6polige Armatur mit 64 Ankerstäben. Jede Armaturhälfte erhält 32 Stäbe, welche in jeder Hälfte (Fig. 128 u. 129) radial und gleichmäÙig am ganzen Umfange verteilt angeordnet sind; in axialer Richtung liegen die beiden Hälften hintereinander.

Der Wicklungsschritt wird

$$y_1 + y_2 = \frac{s \pm 2}{p} = \frac{64 \pm 2}{3} = 22,$$

$$y_1 = 11, \quad y_2 = 11.$$

Dieser Schritt wäre einzuhalten, wenn alle 64 Stäbe in ein Schema eingetragen und von 1 bis 64 fortlaufend numeriert würden.

<sup>1)</sup> Franz. Patent Nr. 169746 vom 24. Juni 1885 und Nr. 176718 vom 11. Juni 1886. — Amerik. Patent Nr. 459610 vom 15. Sept. 1891.

Wir wollen aber je zwei Stäbe, welche sich in axialer Richtung decken, mit nur einer Nummer bezeichnen, d. h. von 1 bis 32, wie in Fig. 127 angegeben, wobei jede Nummer einen vordern und einen dahinter liegenden Stab bezeichnet.

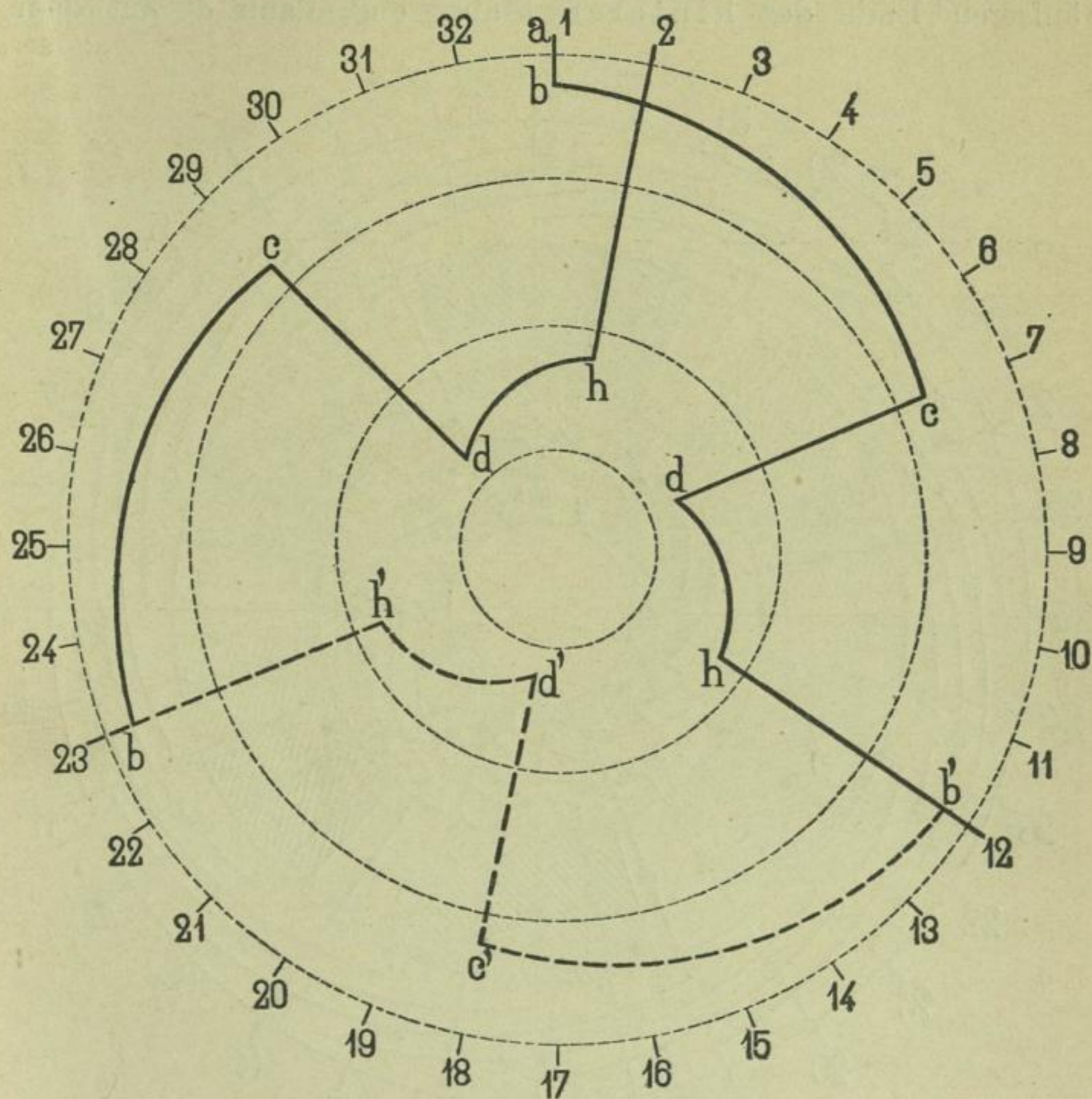


Fig. 127.

Der totale Wicklungsschritt, auf diese Numerierung bezogen, wird statt  $y_1 + y_2 = 22$  nun  $\frac{22}{2} = 11$  und  $y_1 = 6$ ,  $y_2 = 5$  oder allgemein

$$y_1 + y_2 = \frac{\frac{s}{2} \pm 1}{p},$$

wenn  $s$  die Stabzahl beider Armatrhälften.

Wir verbinden nun in Fig. 127 das äußere Ende des hintern Stabes 1 durch  $bc$  mit dem äußeren Ende des vorderen Stabes  $dc$ , dann das innere Ende von  $dc$  mit dem inneren Ende des vorderen Stabes  $hb'$ , nun das äußere Ende von  $hb'$  mit dem äußeren Ende des hinteren Stabes  $c'd'$ , dann  $d'$  mit dem

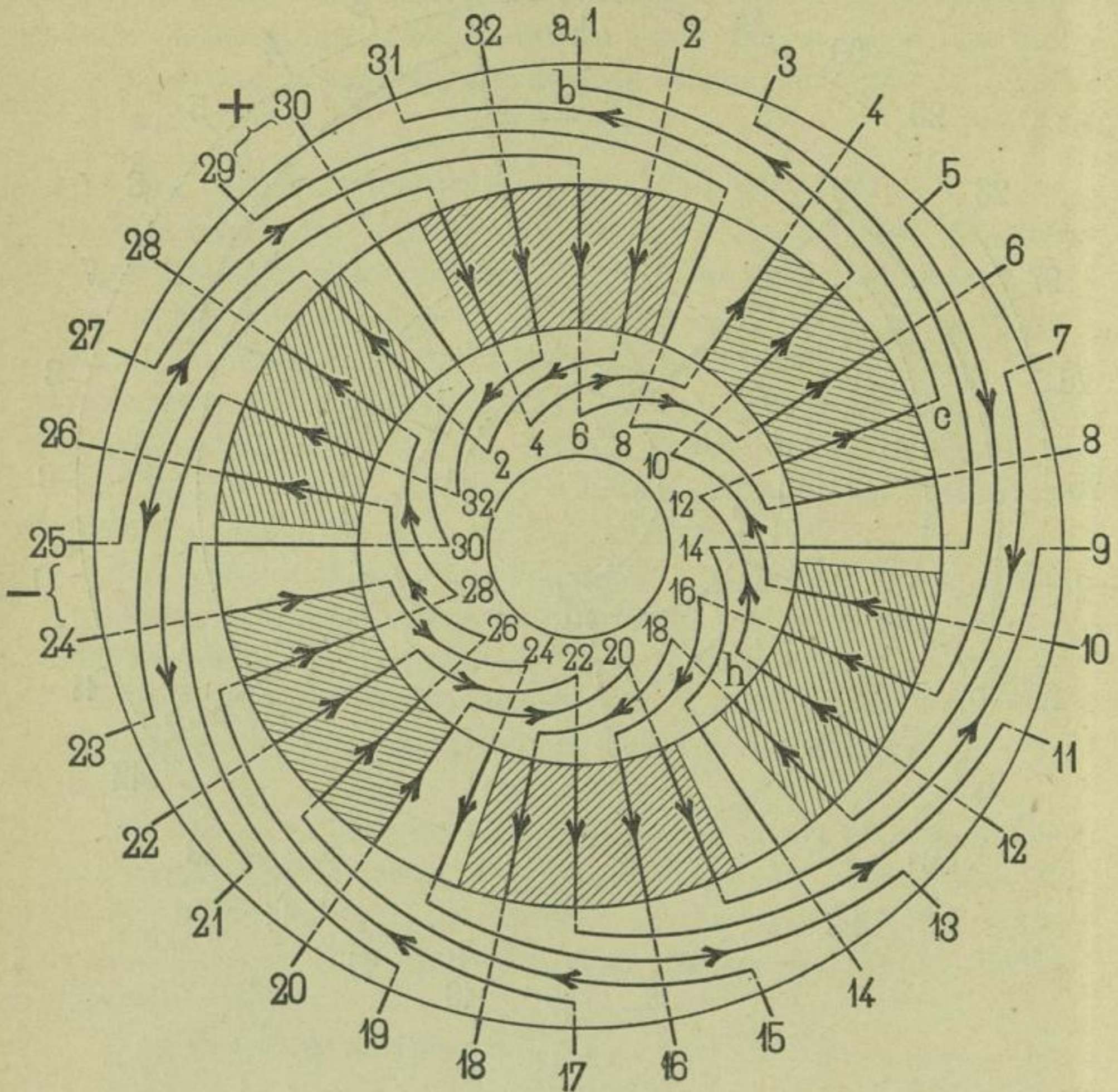


Fig. 128.

hinten liegenden Stabe  $h'b$  u. s. f., es folgen stets zwei in der vordern und zwei in der hintern Armaturhälfte liegende Stäbe (oder bei Drahtwicklung eine Spule der vorderen und eine Spule der hinteren Armaturhälfte) abwechselnd aufeinander, bis sämtliche 64 Stäbe (32 Spulen) durchlaufen sind. — Die Verbindungsstücke  $bc$ ,  $dh$ ,  $b'c'$  und  $d'h'$  werden nach Kreisevolventen geführt.



In den Figuren 128 und 129 sind die Verbindungen der Stäbe beider Armaturhälften gesondert gezeichnet. Denken wir uns Fig. 128 auf Fig. 129 gelegt, und von den Stabenden 1 mit 1', 2 mit 2', 3 mit 3' u. s. f. verbunden, so entsteht eine einfach geschlossene Reihenschaltung der 64 Ankerstäbe.

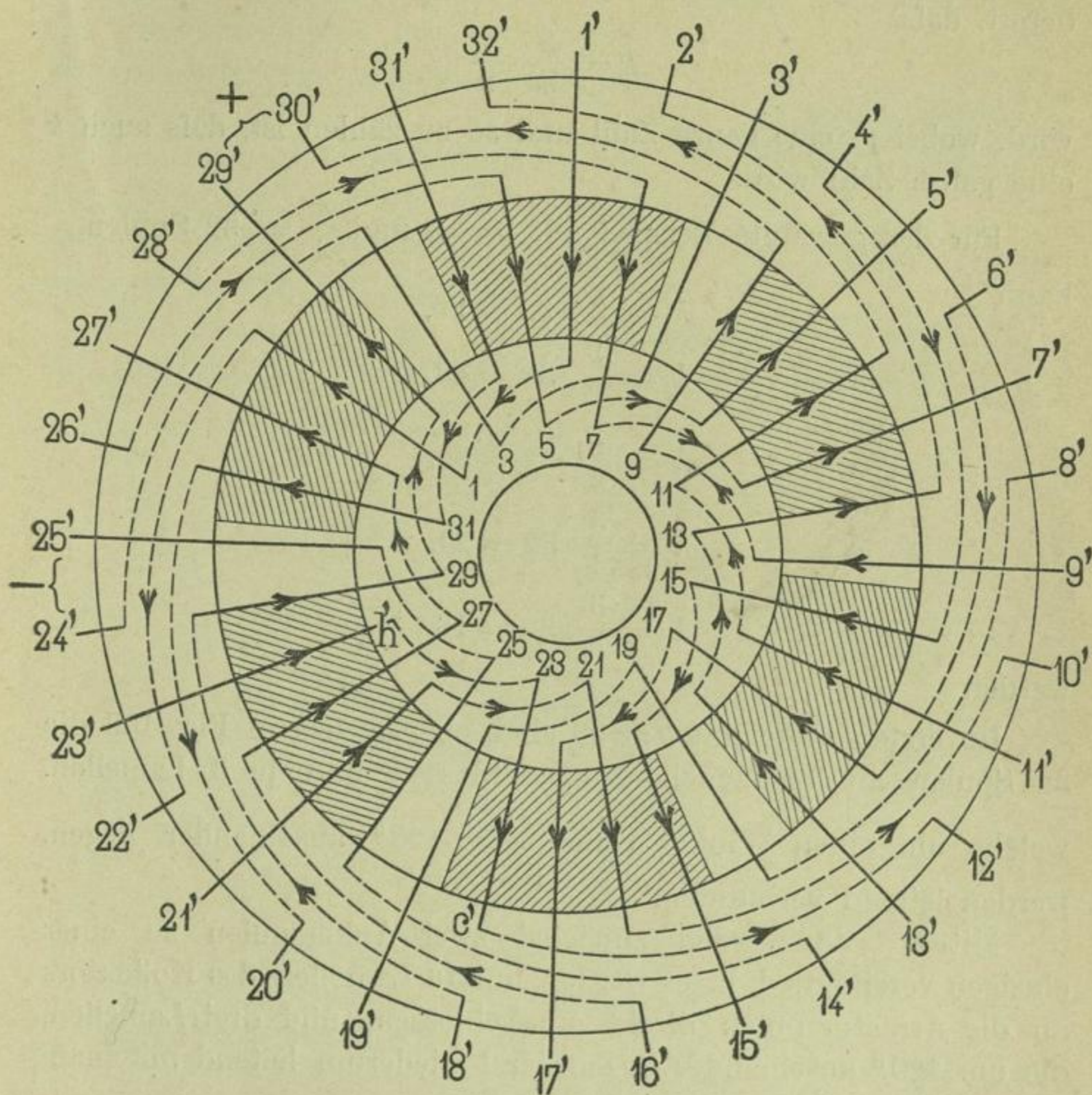


Fig. 129.

Die Verbindungsstellen von zwei Ankerstäben am inneren oder äußeren Umfange der Armatur können nun direkt an den Kollektor angeschlossen werden. In diesem Falle müsste die Lamellenzahl  $= \frac{s}{2}$  sein, also in unserem Falle  $= 32$ . An die Lamellen mit geraden Nummern sind die Stäbe der einen Armatur-

hälfte (Fig. 128) und an die Lamellen mit ungeraden Nummern die Stäbe der andern Armaturhälfte (Fig. 129) anzuschließen.

Für Anker mit Drahtwicklung, bei denen es aus Fabrikationsrücksichten darauf ankommt, eine möglichst geringe Spulenzahl zu erhalten, vermehrt E. Desroziers die Kollektorlamellenzahl ( $k$ ) derart, daß

$$k = \frac{p}{m} \cdot \frac{s}{2}$$

wird, wobei  $m$  eine ganze Zahl und so zu zählen ist, daß auch  $k$  eine ganze Zahl wird.

Für das gewählte Beispiel mit  $p = 3$  und  $\frac{s}{2} = 32$  Spulen, kann

$$k = 3 \cdot 32 = 96,$$

$$k = \frac{3}{2} \cdot 32 = 48,$$

$$k = \frac{3}{3} \cdot 32 = 32,$$

$$k = \frac{3}{4} \cdot 32 = 24,$$

$$k = \frac{3}{6} \cdot 32 = 16$$

werden.

Im ersten Falle mit  $k = 96$  sind ebenso wie in Fig. 106 die 32 Spulen an 32 Lamellen angeschlossen und je 3 Lamellen, welche um einen Winkel von  $\frac{360}{p} = 120^\circ$  auseinander liegen, werden leitend verbunden.

Mit  $k = 48$  werden zunächst zwei Ankerspulen zu einer einzigen vereinigt, d. h. es werden nur 16 Lamellen des Kollektors an die Armaturspulen direkt angeschlossen, und drei Lamellen, die um  $120^\circ$  auseinander liegen, sind wiederum leitend miteinander verbunden.

Für  $k = 32$  ist jede Spule mit einem Kollektorsegmente und für  $k = 16$  sind je zwei Spulen mit einem Segmente verbunden.

Um mit  $k = 24$  eine symmetrische Anordnung zu erhalten, werden je drei Spulen vereinigt, so daß man zunächst nur 8 Kollektorlamellen erhält, diese Zahl wird dann wie oben verdreifacht.

Die Art und Weise, wie die Wicklung von Desroziers ausgeführt wird, ist im II. Teile beschrieben.

Scheibenanker von F. Fanta<sup>1)</sup>.

Die Konstruktion von Fanta bezweckt, diejenigen Teile der Armatur, welche induziert werden sollen, so dünn als möglich aufzubauen. Durch die geringe Entfernung, welche infolgedessen die einander gegenüberstehenden Pole erhalten, wird es möglich, mit verhältnismäßig wenig Amperewindungen kräftige magnetische Felder zu erzeugen.

Die Armatur besteht zunächst aus einer Stützscheibe *R* (Fig. 130), welche mit der Nabe fest verbunden ist, und aus zwei isolierenden Seitenplatten.

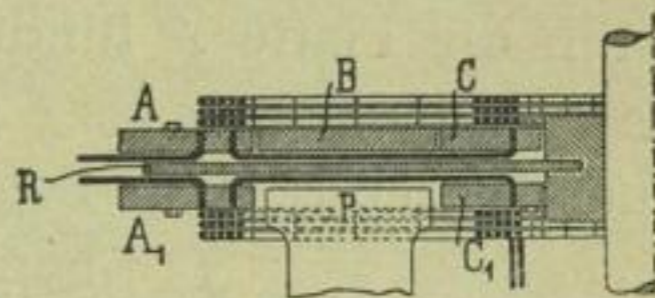


Fig. 130.

Jede Seitenplatte ist in drei konzentrische Ringe *A*, *B*, *C*, Fig. 131, geteilt, der mittlere *B* kann nach Fertigstellung der

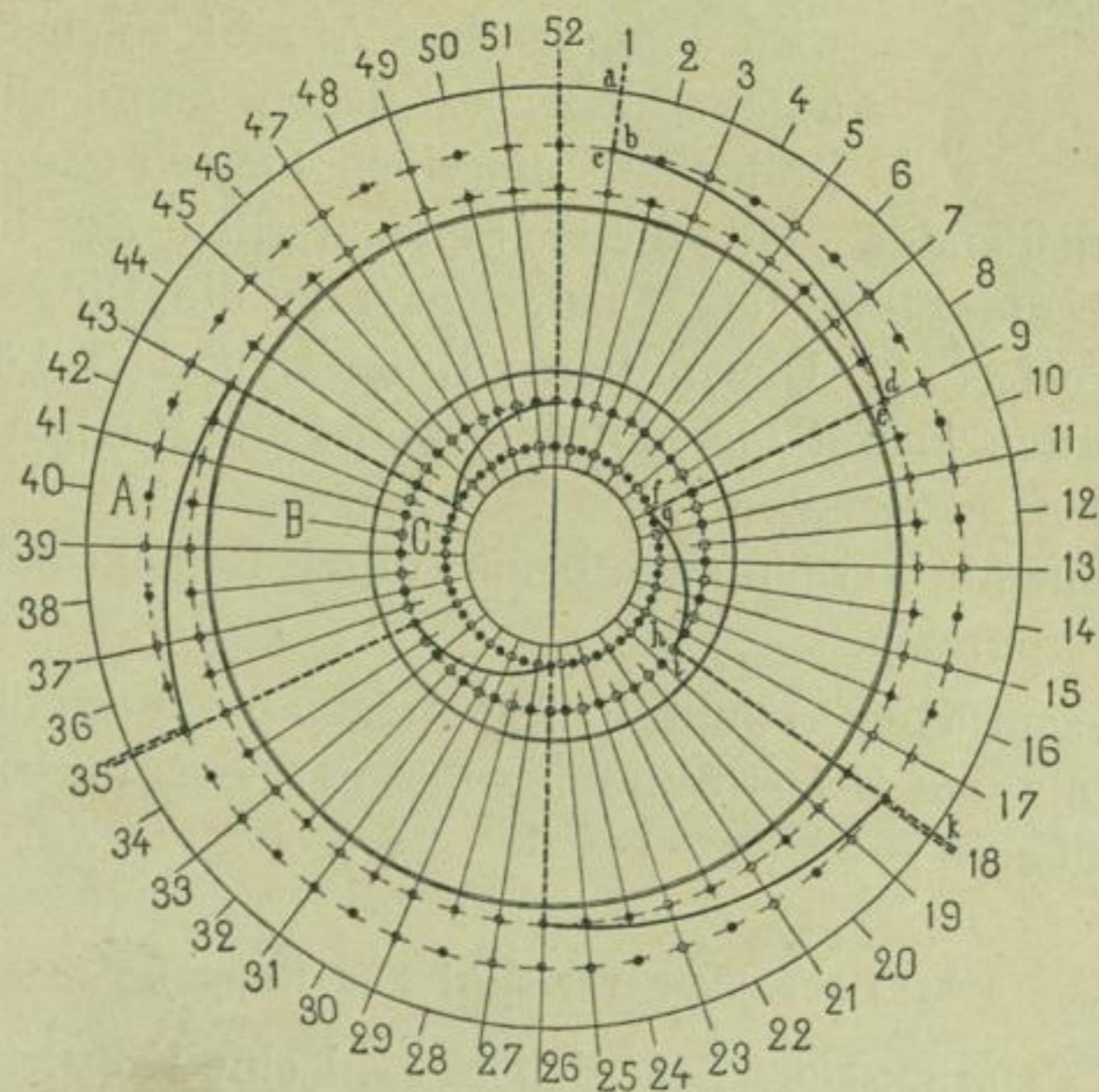


Fig. 131.

Armatur herausgenommen werden, während *A* und *C* fest mit der Stützscheibe *R* verbunden sind.

Vor der Befestigung auf die Stützscheibe werden die Seitenplatten mit Draht bewickelt. Der Verlauf der Wicklung ist mit

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 46240 v. 25. März 1888.

derjenigen von Desroziere übereinstimmend und aus den Fig. 131 und 132 ersichtlich.

Von *a* ausgehend wird der Draht an der Innenseite (uns abgekehrten Seite) der Platte bis zum Loche *b* geführt, durch dieses Loch hindurchgezogen, von *c* aus in einem exzentrischen Bogen an der vordern Seite der Platte entlang bis *d* gebracht, wieder durch die Platte *A* hindurchgezogen, dann an der Innenseite der Platte radial von *e* bis *f* geführt, bei *f* durch den Ring *C* gesteckt, einem exzentrischen Bogen *gh* an der Vorderseite der Platte entlang gelegt, bei *h* wieder durch ein Loch nach *i* und dann auf der Innenseite in radialer Richtung nach außen bis *k* geleitet.

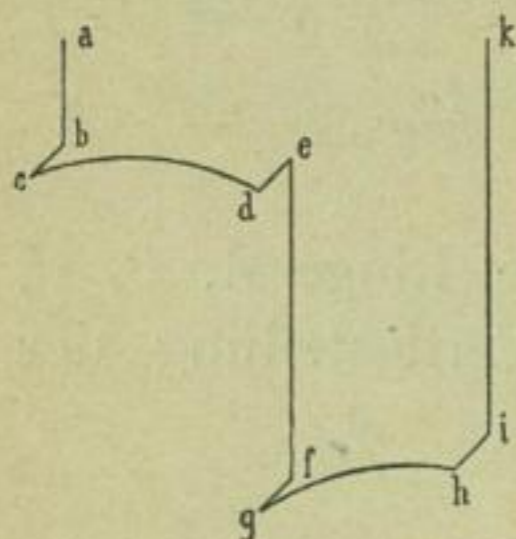


Fig. 132.

Dieser in Fig. 132 noch besonders dargestellte Drahtzug bildet ein Element.

Auf jeder Seitenplatte *ABC* und *A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>* wird eine gewisse Anzahl solcher Elemente aufgewickelt; es liegen dann alle radialen Drähte auf derselben Plattenseite, und zwar flach nebeneinander. Mit dieser Seite werden die bewickelten Platten auf die Stützscheibe aufgelegt und die Ringe *A A<sub>1</sub>* und *C C<sub>1</sub>* damit befestigt. Die mittleren Ringe *B* und *B<sub>1</sub>* können nun entfernt werden, damit die induzierenden Pole *P* einen möglichst geringen Abstand erhalten.

Die Elemente werden nach Bedarf durch Reihen- oder Parallelschaltung verbunden.

Im wesentlichen stimmt diese Wicklung, sowohl was die Schaltung als die Konstruktion, anbelangt mit derjenigen von Desroziere überein.

#### Scheibenanker von Jehl und Rupp<sup>1)</sup>.

Am 4. Februar 1887 liefs sich F. Jehl eine Konstruktion von Scheibenankern patentieren, welche einen der wesentlichsten Fortschritte im Aufbaue solcher Anker bedeutet.

Wir wissen, daß sich die Verbindungen auf den Stirnflächen der Trommelanker so anordnen lassen, daß keine Kreuzungen entstehen. In den Scheibenankern von Desroziere und Fanta ist

<sup>1)</sup> F. Jehl, Paris. D. R. P. Nr. 43 298 vom 4. Febr. 1887.

die Wicklung ebenfalls, um Kreuzungen zu vermeiden, in zwei Ebenen ausgeführt.

In dem Scheibenanker von Jehl und Rupp liegen die beiden Armaturhälften ebenfalls in verschiedenen, zu einander parallelen Ebenen. Der Anker erhält aber seine Festigkeit nicht durch eine Stützscheibe, sondern die induzierten Leiter sind so dimensioniert und geformt, daß dieselben in sich selbst genügende Steifigkeit besitzen.

Zur Herstellung einer Wicklung mit Parallelschaltung dienen der Länge nach gespaltene Kupferstreifen, von der in Fig. 133

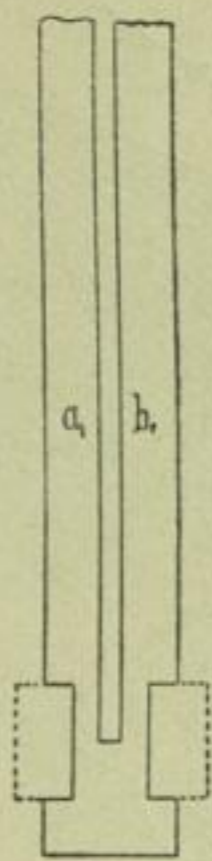


Fig. 133.

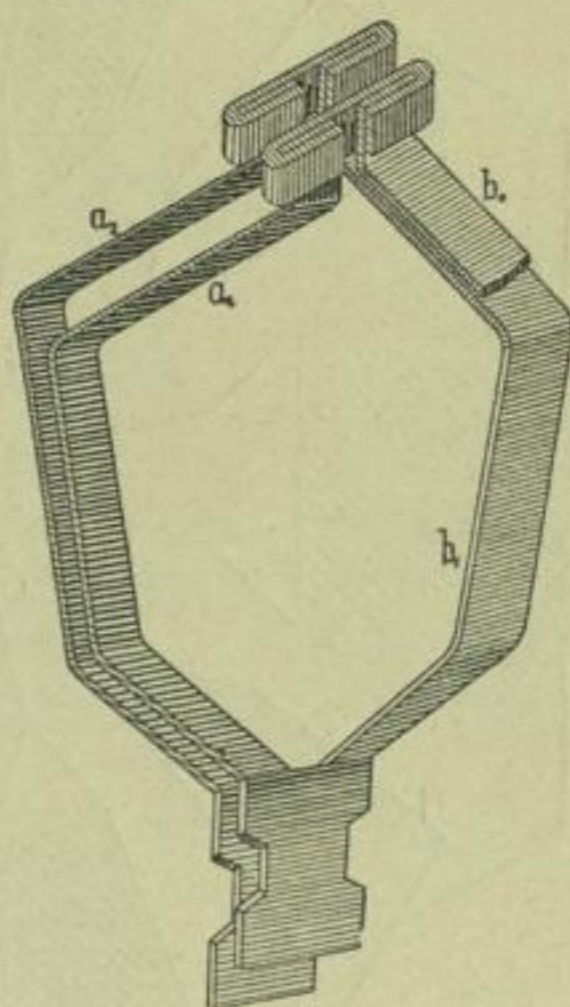


Fig. 134.

dargestellten Form. Jeder Streifen wird in eine der Fig. 134 ähnliche Gestalt gebracht; die Leiterelemente  $a_1$  und  $b_1$  liegen nun in verschiedenen Ebenen.

Das linke Ende  $a_1$  wird mit dem rechten Ende  $b_0$  der vorhergehenden, und das rechte Ende  $b_1$  mit dem linken Ende  $a_2$  der nächstfolgenden Spule verbunden. Sind sämtliche Spulen auf diese Weise miteinander verlötet, so erhält man einen geschlossenen Stromkreis, dessen eine Hälfte auf der linken und dessen zweite Hälfte auf der rechten Armaturhälfte liegt.

Fig. 135 veranschaulicht das so entstandene Schema, welches eine Schleifenwicklung darstellt.

Der Einfachheit halber sind nur wenig Spulen angenommen. Die Leiterteile  $a_0 b_0$ ,  $a_1 b_1$ ,  $a_2 b_2$  u. s. f. gehören je einem Streifen

an; die auf der vordern Armaturseite liegenden Leiter sind durch starke Linien markiert.

Um möglichst viele Spulen zu einer Armatur vereinigen zu können, kann man die innern Teile einer jeden Spule durch dünneres Metallband ersetzen, das jedoch, behufs Erzielung desselben Querschnittes, entsprechend breiter zu machen ist. Die Spulen können hierdurch dichter aneinander gereiht werden.

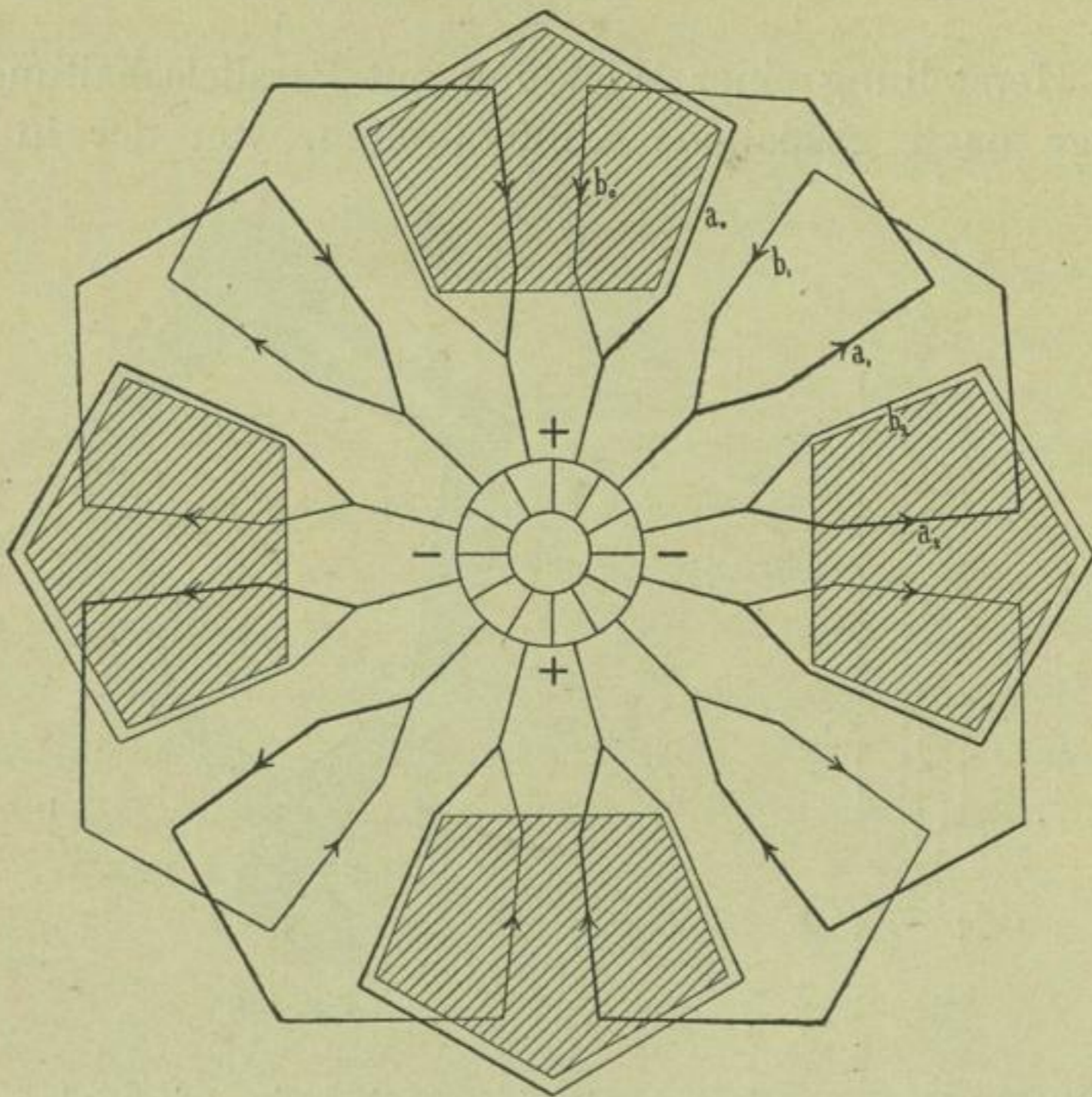


Fig. 135.

Die Zahl der Kollektorsegmente kann gleich der halben Stabzahl sein, oder man fasst mehrere Stäbe zu einer Gruppe zusammen und verbindet nur das Ende jeder Gruppe mit dem Kollektor.

Wählen wir die Stabzahl

$$s = c (p \cdot y \pm 1)$$

und verbinden dieselben nach der allgemeinen Schaltungsregel, so entsteht eine Wellenwicklung.

In Fig. 136 ist für  $s = 14$ ,  $y = 3$ ,  $p = 2$  die Verbindung der Stäbe veranschaulicht, die Zahl der Elemente ist  $= 7$ .

Jehl und Rupp verbinden die Stäbe auch nach dem Schema Fig. 137. Hier ist  $c = 4$

$$s = 4(p \cdot y \pm 1)$$

oder  $s = 4(2 \cdot 3 - 1) = 20, y = 3.$

Jedes Element besteht aus vier radialen Stäben, die Anfänge der Elemente sind mit 1, 2, 3 . . . , die Enden mit 1', 2', 3' . . . bezeichnet. 1' ist mit  $1 + y = 4$  zu verbinden.

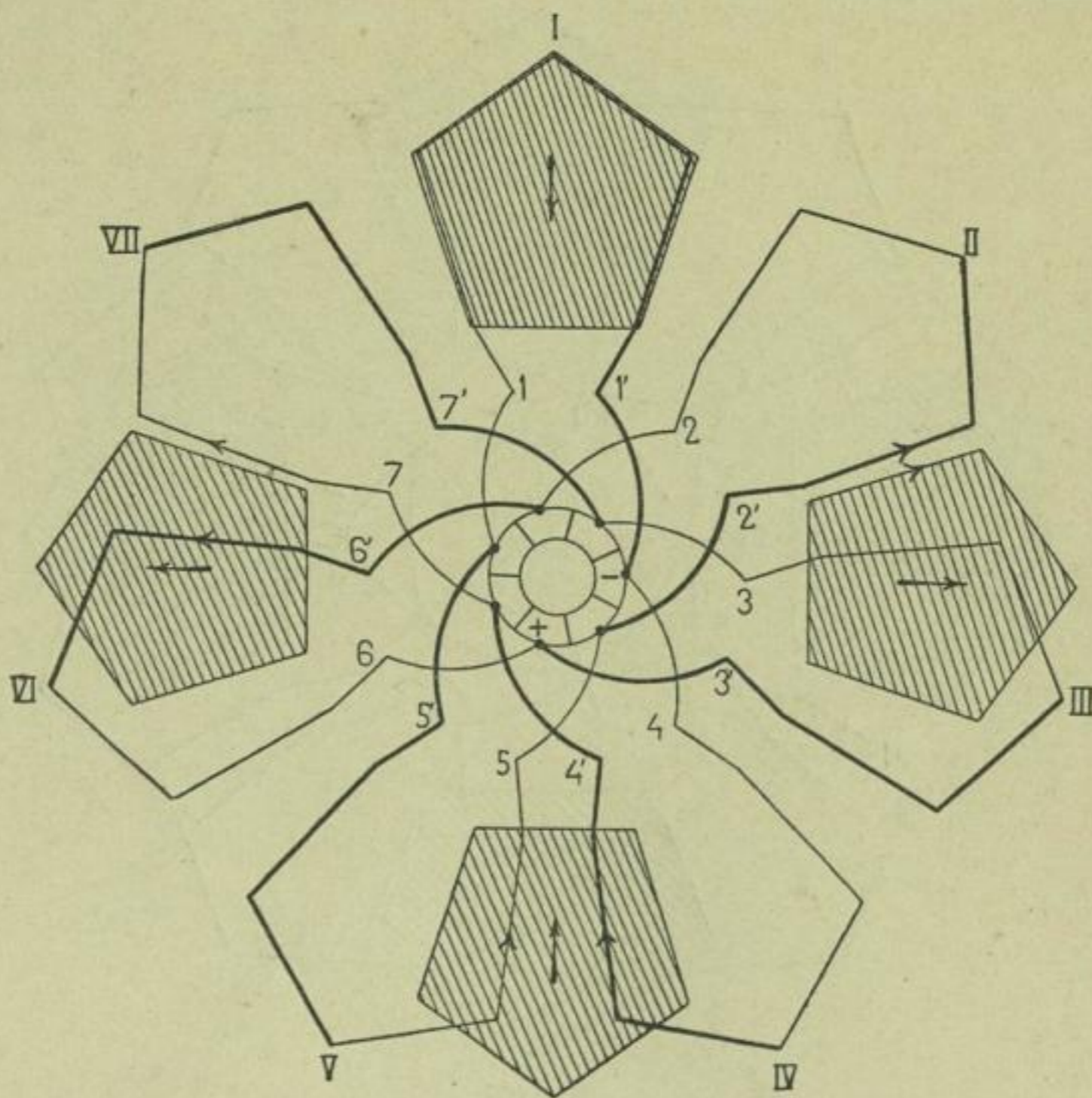


Fig. 136.

Entsprechend der in Fig. 57 für Ringanker angegebenen Wicklung wird die Zahl der Kollektorsegmente dadurch auf die Hälfte reduziert, indem wir aber diametral zu jedem derselben ein neues Segment einschalten (Fig. 137), erhalten wir wieder  $\frac{s}{2}$  Segmente.

Ein Unterschied zwischen den Scheibenankern von Desroziers und Fanta und demjenigen von Jehl und Rupp besteht noch darin, daß bei den erstern die zu einer Spule gehörigen radialen Leiter in verschiedenen magnetischen Feldern liegen und gleichzeitig induziert werden, während bei dem letztern sich stets nur

eine Seite der Spule im magnetischen Felde bewegt. Die Öffnung jeder Spule ist hier um etwas größer als die Polfläche. Würde sich die Öffnung genau mit der Begrenzung der Feldmagnete decken, so wäre der neutrale Raum gleich Null, es ist daher geboten, die Spulen zu erweitern.

Die Herstellung der Spulen aus Metallstreifen, welche in zwei verschiedenen Ebenen liegen, kann mit Vorteil auch für andere Wicklungen angewendet werden.

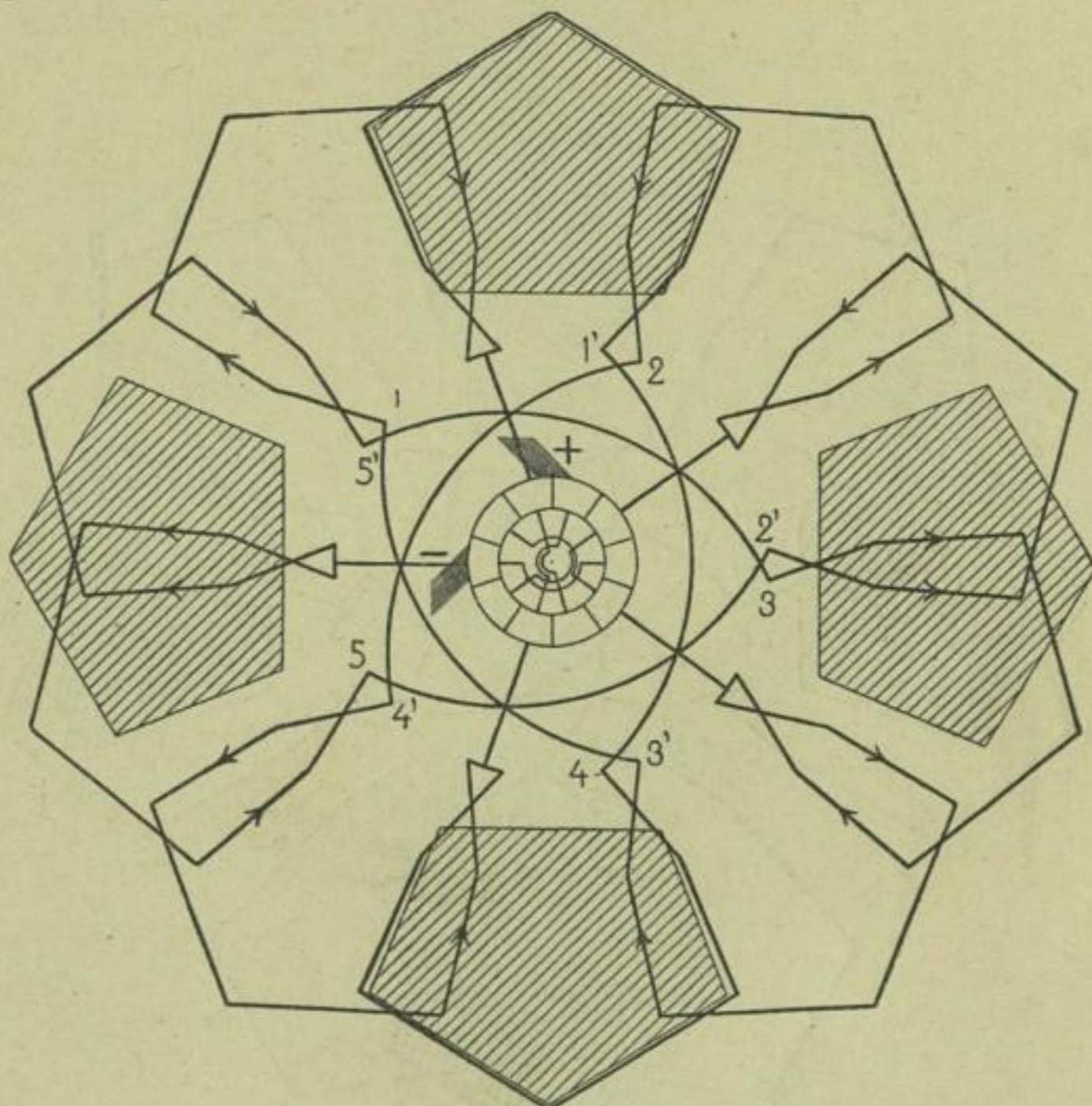


Fig. 137.

#### Scheibenanker von W. Fritsche<sup>1)</sup>.

Zu den bekanntesten Scheibenankern gehört derjenige von W. Fritsche. Die Schaltung der Ankerstäbe stimmt im Prinzip mit der Schaltung von Perry und Desroziers überein, aber W. Fritsche hat das Verdienst, einen Scheibenanker von möglichst einfacher Bauart erdacht zu haben.

Der Unterschied der ersten, nun verlassenen Konstruktion von Fritsche gegenüber denjenigen von Desroziers und Jehl & Rupp besteht darin, daß die Ankerwicklung aus lauter geraden Stäben

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 45 808 vom 19. Juni 1887.



hergestellt ist, welche in zwei zueinander parallelen Ebenen untergebracht sind. Die Verbindungsweise der Stäbe entspricht der allgemeinen Schaltungsregel der Trommelanker.

In Fig. 138 ist für

$$p = 4, \quad s = 42, \quad k = 21$$

$$y_1 + y_2 = \frac{42 - 2}{4} = 10$$

$$y_1 = y_2 = 5$$

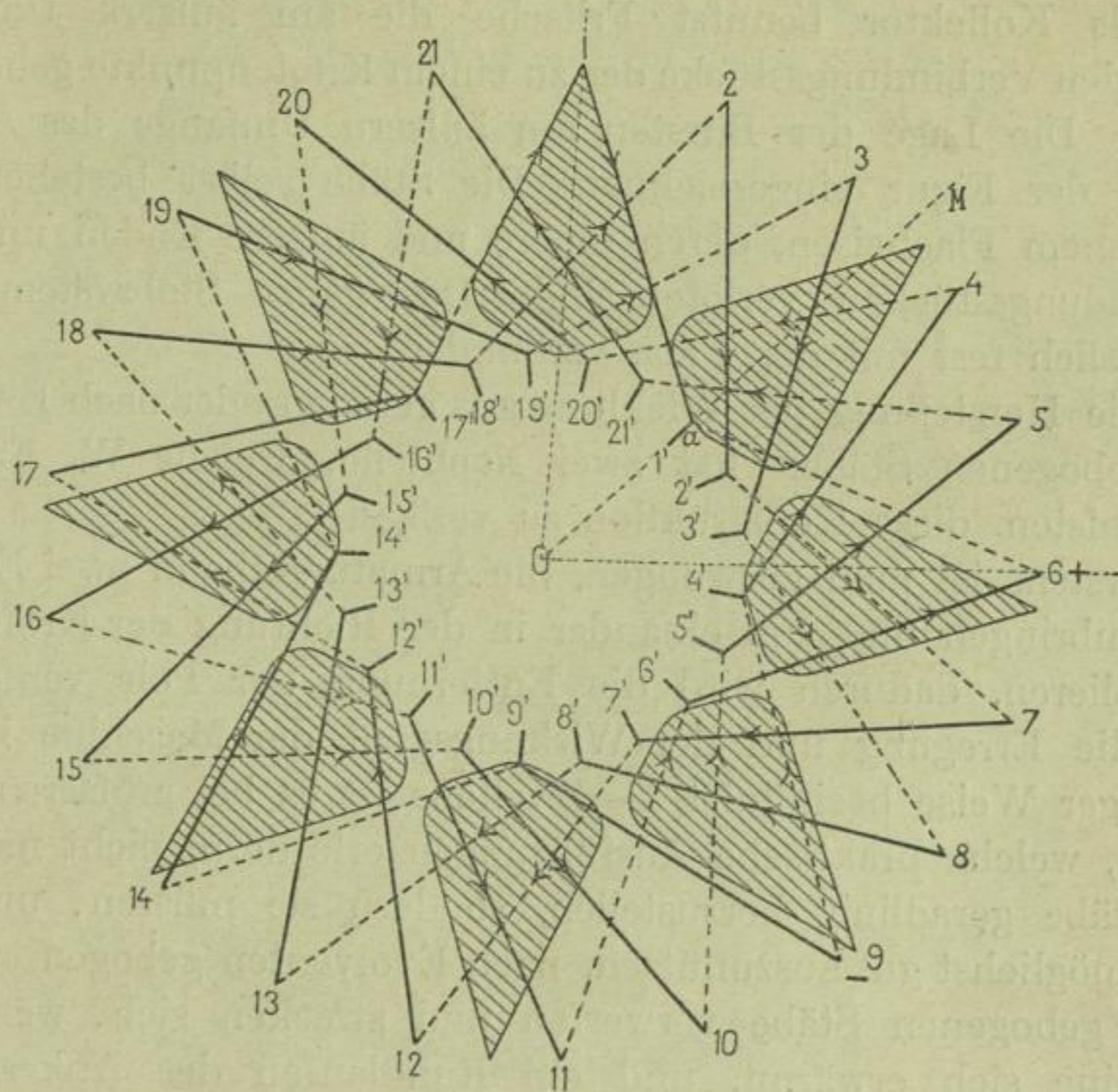


Fig. 138.

die Ankerwicklung von Fritsche dargestellt. Der Stab 1 ist mit dem Stabe  $1 + y = 6$  zu verbinden. Wir halbieren den Winkel zwischen 1 und 6 durch die Linie  $OM$ , dieselbe schneidet den innern Begrenzungskreis der Armatur in  $a$ ;  $1a$  und  $6a$  geben jetzt die Lage der Stäbe.

Aus dem Schema Fig. 126 kann man sich die Wicklung von Fritsche entstanden denken, indem man die Polygonform der Spulen durch die Dreieckform ersetzt und die Polschuhe so gestaltet, dafs keine einander entgegenwirkenden elektromotorischen

Kräfte induziert werden. Dieselbe Wicklung entsteht, wenn wir das Schema Fig. 99 hochkant zur Kreisform aufrollen.

Ein Vergleich des Scheibenankers von Fritsche mit dem Ringanker von Perry, Fig. 52, ergibt, daß, wenn wir in der letztern Figur 1 mit 1', 2 mit 2' u. s. f. in einen Punkt zusammenfallen lassen, uns die Querverbindungen der Spulen für sich allein das richtige Schema eines Scheibenankers nach Fritsche für  $n = 6$ ,  $z = 32$ ,  $y = 5$  darstellen.

Als Kollektor benutzt Fritsche die am äußern Umfange liegenden Verbindungsstücke der zu einem Knotenpunkte gehörigen Stäbe. Die Lage der Bürsten am äußern Umfange des Ankers ist in der Figur eingezeichnet. Die Stäbe selbst bestehen aus gebogenem Flacheisen, deren innere und äußere Enden mit den Verbindungsstücken verlötet sind. Das ganze Stabsystem wird schließlichs fest mit der Nabe verbunden.

Die Herstellung der Wicklung aus geraden oder nach Evolventen gebogenen Stäben hat zwei Nachteile, welche W. Fritsche veranlaßten, diese Konstruktion zu verlassen.

Erstens ist man gezwungen, die Armaturstäbe in zwei Ebenen unterzubringen und von einander in der Richtung der Kraftlinien zu isolieren, dadurch wird die Entfernung der Pole vergrößert und die Erregung und der Wirkungsgrad der Maschine in ungünstiger Weise beeinflusst. — Zweitens ist es bei größeren Stabzahlen, welche praktische Ausführungen erfordern, nicht möglich, die Stäbe geradlinig herzustellen, sondern sie müssen, um den Platz möglichst gut auszunützen, nach Evolventen gebogen werden. Diese gebogenen Stäbe verwerfen und strecken sich, wenn die Maschine sich erwärmt, und ein Rundlaufen des Ankers und Kollektors geht verloren.

W. Fritsche verwendet daher bei seinen Radankern seit einigen Jahren gerade, radiale Stäbe, die sich in einer Ebene befinden, und welche durch seitliche, am äußern und innern Umfange liegende, nach Evolventen gekrümmte Kupferstreifen nach dem Schaltungsschema Fig. 139 verbunden sind.

In Fig. 139 ist

$$p = 2, \quad s = 34,$$

$$y_1 + y_2 = \frac{34-2}{2} = 16$$

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 9.$$

Die halbe Zahl der Stäbe (in der Figur sind diese mit ungeraden Nummern bezeichnet) ist an die Kollektorlamellen angeschlossen.

Die Querverbindungen liegen entweder vor oder hinter der Ebene der radialen Stäbe, oder, wenn der Raum, den diese Verbindungen in radialer Richtung einnehmen, vermindert werden soll,

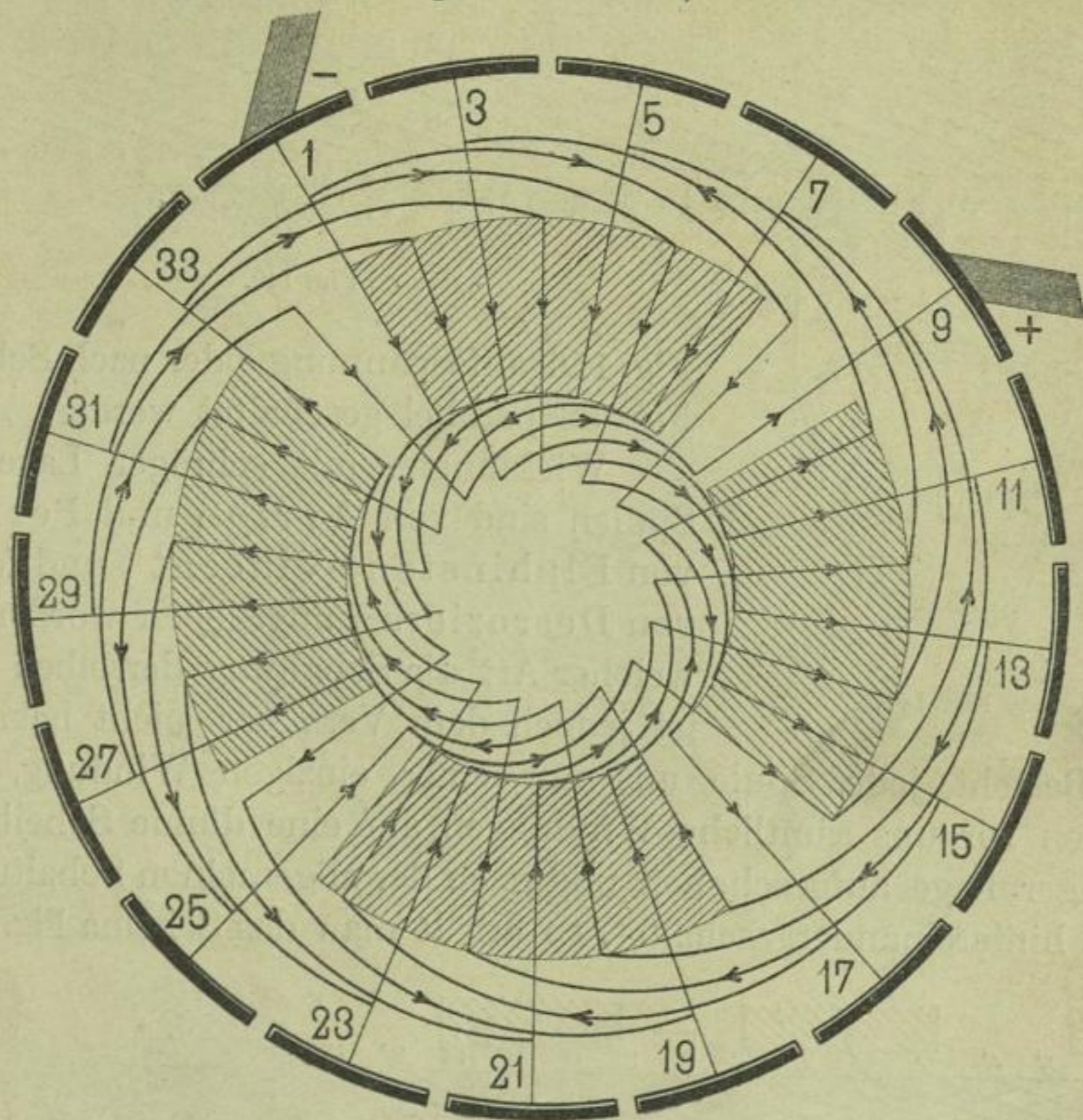


Fig. 139.

abwechselnd zu beiden Seiten derselben. Auf diese Weise wird eine Kreuzung der radialen Stäbe mit den Verbindern vermieden und eine gute Isolation ermöglicht.

#### Scheibenanker und Ringanker mit schräger Wicklung.

Die übereinandergreifenden Spulen sind bei dieser Wicklung schräg zur Rotationsebene gestellt. Die Winkelweite jeder Spule ist derart bemessen, dass wenn sich die eine Seite derselben in dem einen magnetischen Felde befindet, sich die andere Seite in einem Felde entgegengesetzter Polarität bewegt.

Fig. 140 stellt die Lage der Spulen in Bezug auf die magnetischen Felder dar; die Ansicht auf den Umfang des Ankers ist dabei in die Papierebene abgewickelt gedacht. Die Vorderansicht einer einzelnen Spule, acht magnetische Felder vorausgesetzt, zeigt Fig. 141. Die Enden der Spulen können nach dem Schema

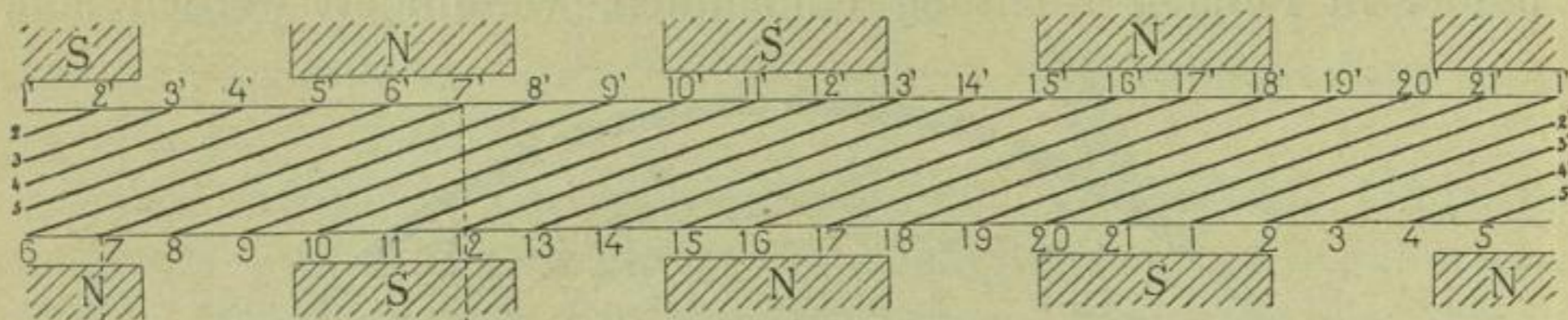


Fig. 140.

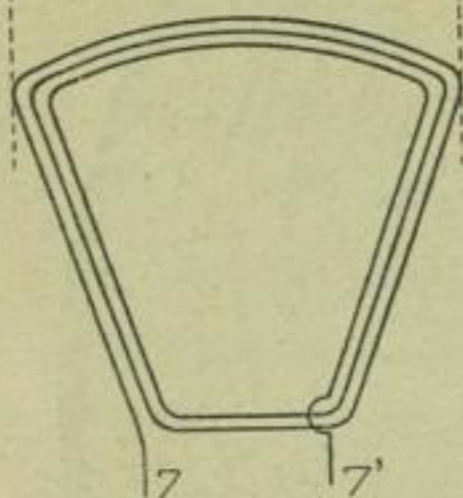


Fig. 141.

Fig. 126 auf Spannung oder nach Schema Fig. 88 parallel geschaltet werden.

Wicklungen mit schräger Lage der Spulen sind von Ayrton und Perry<sup>1)</sup>, von Elphinstone-Vincent<sup>1)</sup> und ferner von Desroziers<sup>2)</sup> angegeben worden; in welcher Art die Schaltung derselben war, ist jedoch dem Verfasser nicht bekannt.

Besteht jede Spule aus nur einer einzigen Windung, und denken wir uns sämtliche Windungen auf eine dünne Scheibe in schräger Lage aufgeschoben und nach der allgemeinen Schaltungsregel hintereinandergeschaltet, so erhält man das Schema Fig. 142.

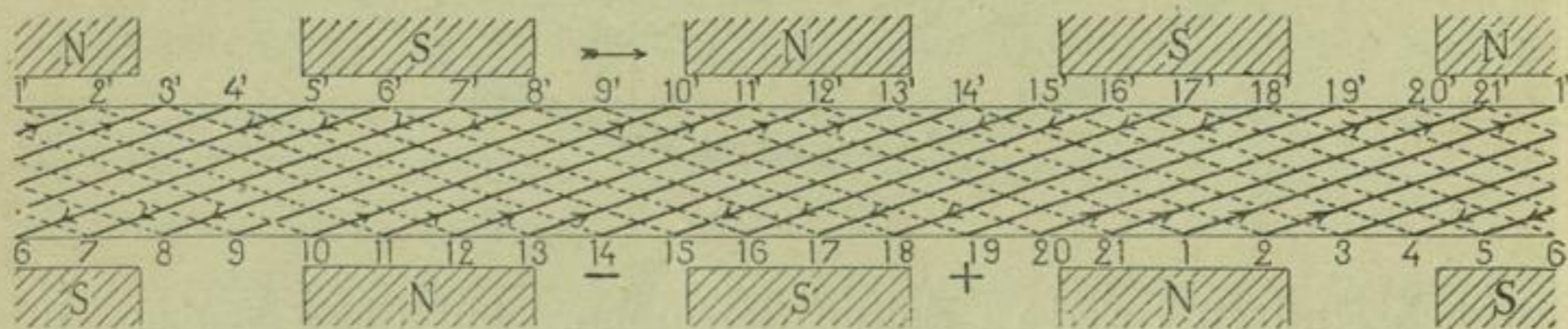


Fig. 142.

Dasselbe stellt ebenso wie Fig. 140 die Ansicht des Ankerumfangs in abgewickelter Form dar. Die induzierten radialen Leiter erscheinen als Punkte, die Querverbindungen am äußeren Umfange sind als volle, diejenigen am inneren Umfange als

<sup>1)</sup> S. P. Thompson, Dyn. Masch. III. Aufl. S. 206.

<sup>2)</sup> La Lum élect. t. 24 (1887) p. 293.

punktierte Linien markiert. Die Schaltung bewegt sich somit, von 1' ausgehend, am innern Umfange nach 11, dann radial nach außen, von 11 schräg am äußern Umfange nach 11', dann radial nach innen, von 11' am innern Umfange wieder schräg nach 21, dann folgt 21', 10, 10', 20, 20', 9 u. s. f., bis man schliesslich zu 1' zurückgelangt. Irgend eine Kreuzung findet nicht statt. Die Lage der Bürsten ist in der Figur durch + und - angedeutet.

Denken wir uns nun das Schema um eine in der Richtung *NS* liegende Axe zur Kreisform zusammengebogen, so erhalten wir eine Anordnung, welche den Flachringmaschinen von Schuckert

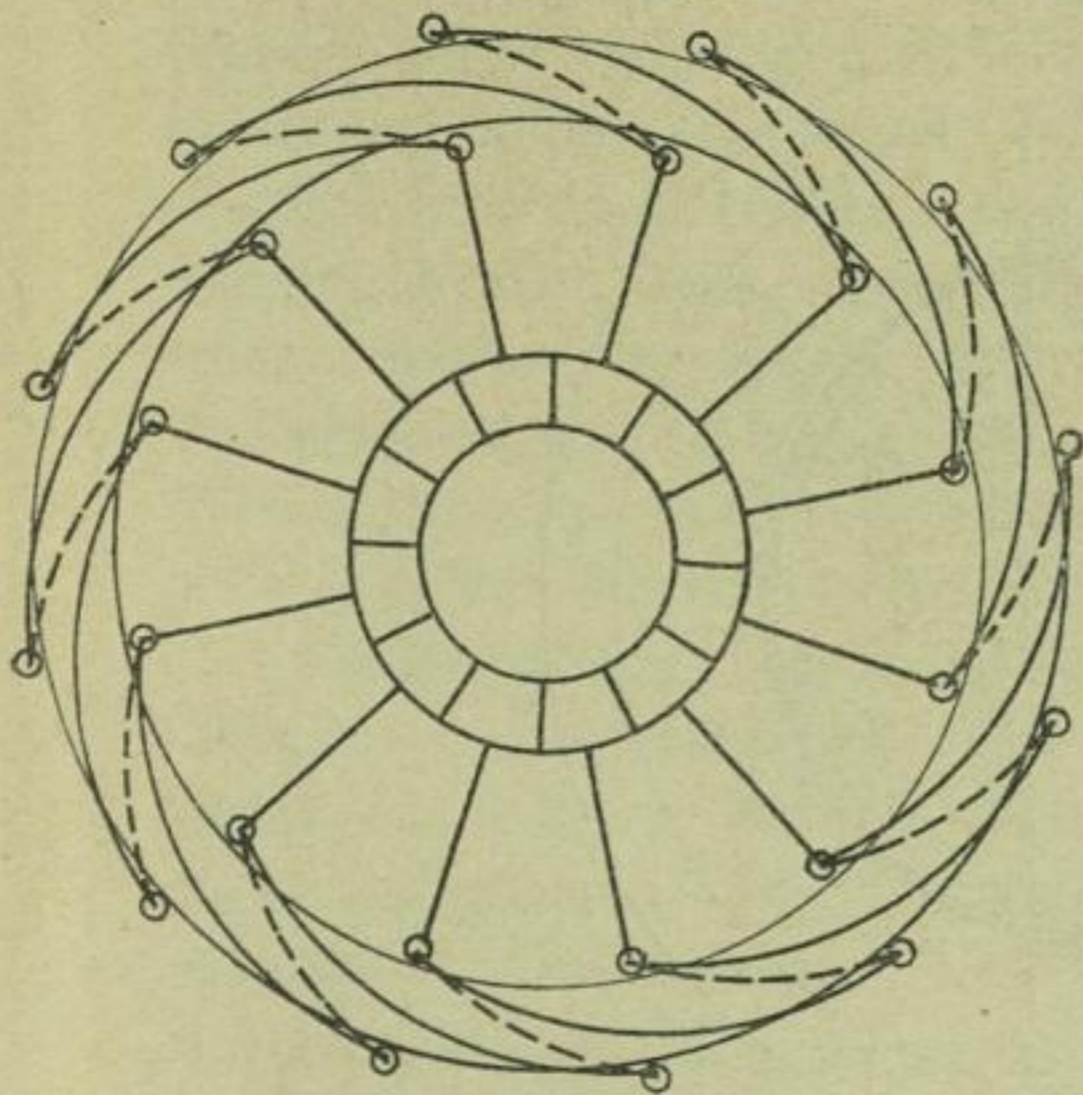


Fig. 143.

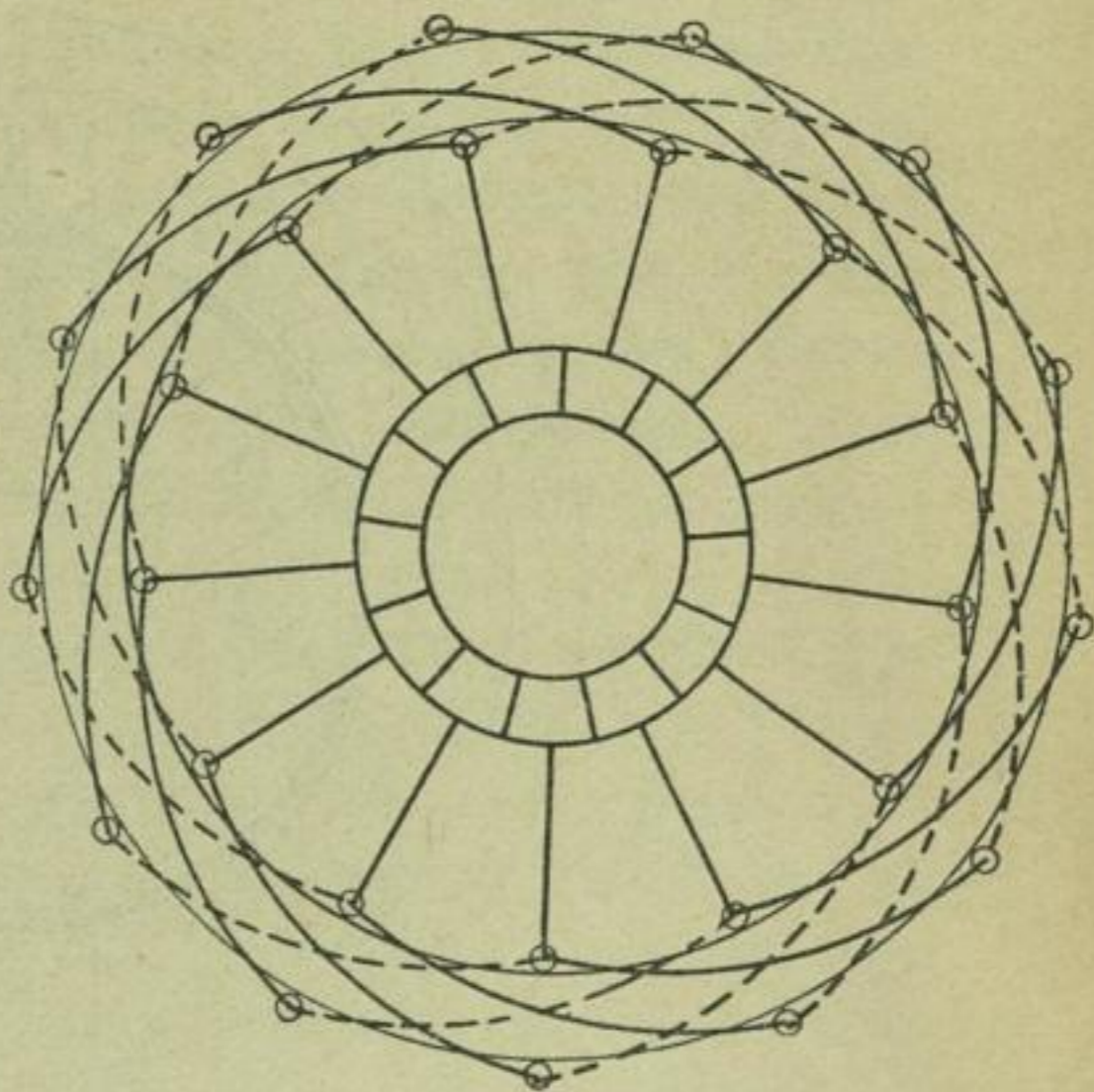


Fig. 144.

entspricht, jedoch mit dem Unterschiede, dass hier Pole entgegengesetzter Polarität einander gegenüberstehen, und dass daher bei der Wahl der Eisenstärke des Ringes nur auf die mechanische Festigkeit desselben Rücksicht zu nehmen ist.

Die Fig. 142 hat der Verfasser auch in der ersten Auflage dieses Buches besprochen; der Firma Guénod-Sautter & Cie. ist nun seither eine Ankerkonstruktion patentiert worden<sup>1)</sup>, welche mit obiger Anordnung identisch ist.

In der Fig. 143 ist die der Patentschrift entnommene Anordnung für Parallelschaltung und in Fig. 144 für Reihenschaltung dargestellt. Denken wir uns Fig. 142 um eine zur Papierebene

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 61436 v. 26. Juni 1891.

senkrecht stehende Axe zur Kreisform zusammengebogen, so entsteht die Anordnung Fig. 144. Wir haben nun einen dünnen, mit Draht bewickelten Ring, der zwischen innen- und aussenliegenden Polen rotiert.

**Flache Cylinderanker von Frick, von Siemens & Halske und von W. Fritsche.**

Während bei den Scheibenankern die Armaturstäbe zwischen Polen rotieren, deren magnetische Axe parallel zur Richtung der Drehaxe liegt, kann die Anordnung auch so getroffen werden,

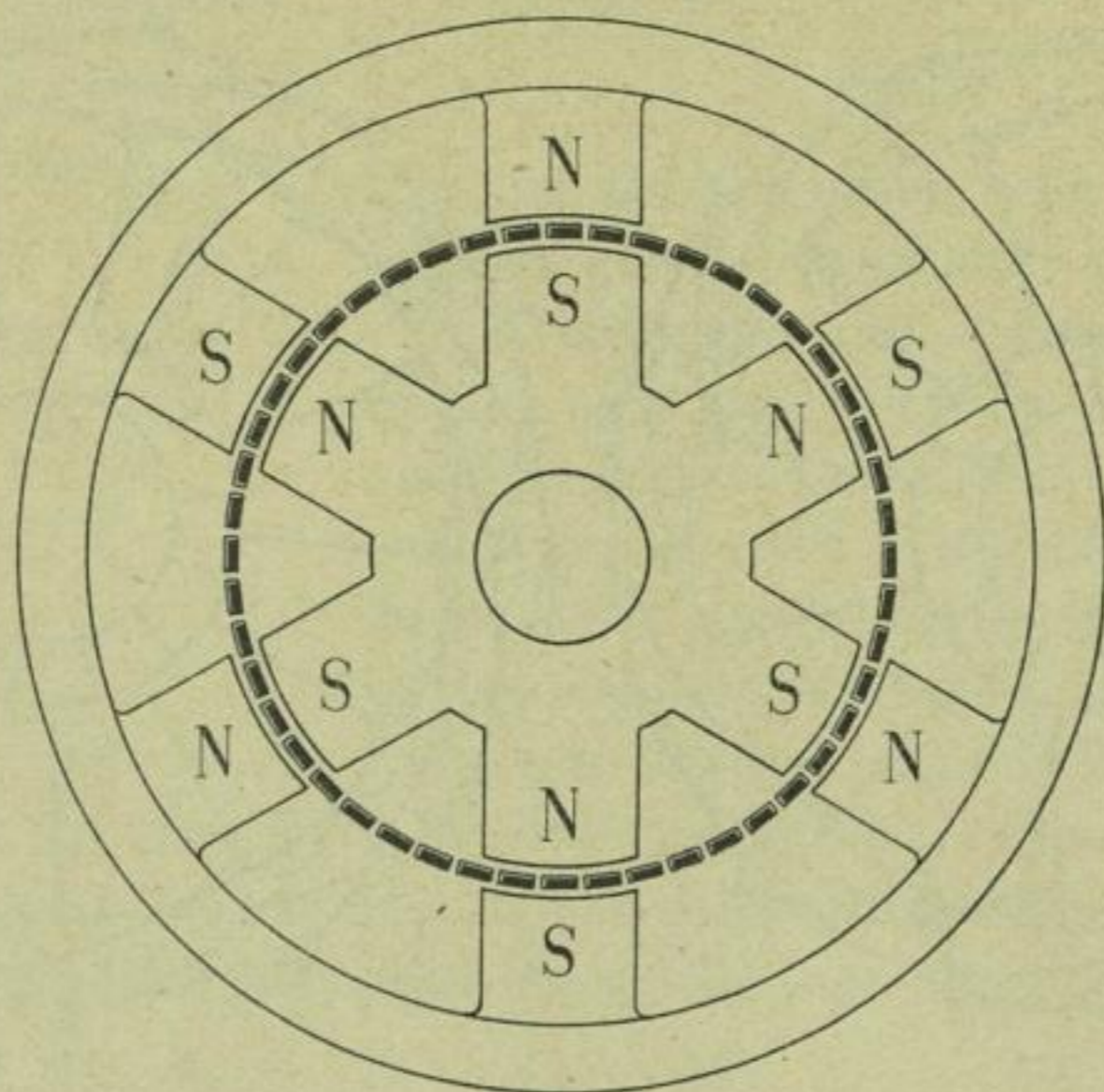


Fig. 145.

dafs die magnetische Strömung im Luftraume senkrecht zur Drehaxe erfolgt.

Wir denken uns zu dem Zwecke die Armaturstäbe mit den Querverbindungen, ohne letztere zu ändern, zu einem Cylinder zusammengerollt und zwischen zwei Polkränzen mit radialen Polen, wie Fig. 145 darstellt, rotierend.

In dem Patente von Frick<sup>1)</sup> ist dessen früher besprochene Schaltung auf scheiben-, cylinder- und kegelförmige Anker ausgedehnt. Die obige Anordnung, aber mit einer Schaltung, welche den älteren Patenten von Perry und W. Fritsche entspricht,

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 3147 v. 6. Dez. 1877.

finden wir in dem Patente von Siemens & Halske<sup>1)</sup> wieder. W. Fritsche<sup>2)</sup> hat die konstruktiven Schwierigkeiten, welche diese Anordnung bietet, mit grossem Geschicke überwunden. Auf diese Konstruktion werden wir später (Fig. 331 und 332) ausführlicher zurückkommen, es ist die einzige ihrer Art, welche praktische Verwendung gefunden hat. Fritsche bezeichnet diese Konstruktion als »Glockenanker«.

### Scheibenanker von Siemens und Halske<sup>3)</sup>.

(v. Hefner-Alteneck.)

In sehr sinnreicher Weise ist es v. Hefner-Alteneck gelungen, einen vielpoligen Scheibenanker zu bauen. Obwohl diese Schaltung keine praktische Verwendung gefunden hat, so soll dieselbe hier doch erwähnt werden, und zwar deshalb, weil diese Schaltung aus einer eigentümlichen Kombination von 8 Polen und 6 Spulen hervorgeht und weil, wie später bei den offenen Ankerwicklungen gezeigt wird, noch andere Schaltungen, deren Wirkungsweise auf einem bestimmten Zahlenverhältnis der Magnetpole und der Armaturspulen beruht, möglich sind.

Die Schaltung von v. Hefner ist in Fig. 146 schematisch dargestellt. Die schraffierten Pole hat man sich hinter der Papierebene zu denken, vor der Papierebene stehen dann ebensoviele Pole entgegengesetzter Polarität. Die als einfache Schleifen gezeichneten Armaturspulen sind in Serie geschaltet, und die Zahl der Kollektorlamellen ist derart gewählt, dafs ebenso wie bei einer zweipoligen Maschine von jeder Bürste gleichzeitig nur eine Spule kurz geschlossen wird.

In der Gesamtanordnung weist die Maschine zwei Magnetkränze auf, welche ihre Pole einander derart zukehren, dafs die magnetischen Felder mit abwechselnder Polarität einander folgen. Die Zahl der Armaturspulen ist kleiner als die Zahl der Felder und zwar ist

$$s = 2(p - 1).$$

In Fig. 146 sind sechs Spulen angenommen, welche zwischen acht magnetischen Feldern entgegengesetzter Polarität rotieren. Von den sechs Spulen kommen immer nur zwei gegenüberliegende

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 54 083 v. 9. Juni 1889.

<sup>2)</sup> D. R. P. Nr. 78 075 v. 20. Mai 1893.

<sup>3)</sup> D. R. P. Nr. 15 389 v. J. 1881.

gleichzeitig gänzlich in die betreffenden magnetischen Felder zu liegen, während die übrigen Spulen noch einen größern oder kleinern Abstand von den andern magnetischen Feldern haben. Bei der Drehung der Armatur werden daher die induzierten Stromimpulse nicht gleichzeitig in sämtlichen Spulen ein Maximum, sondern in aufeinanderfolgenden Spulen in nacheinanderfolgenden Zeiten.

Man mag nun die augenblickliche Stellung der Spulen zu den magnetischen Feldern denken wie man will, so wird man stets

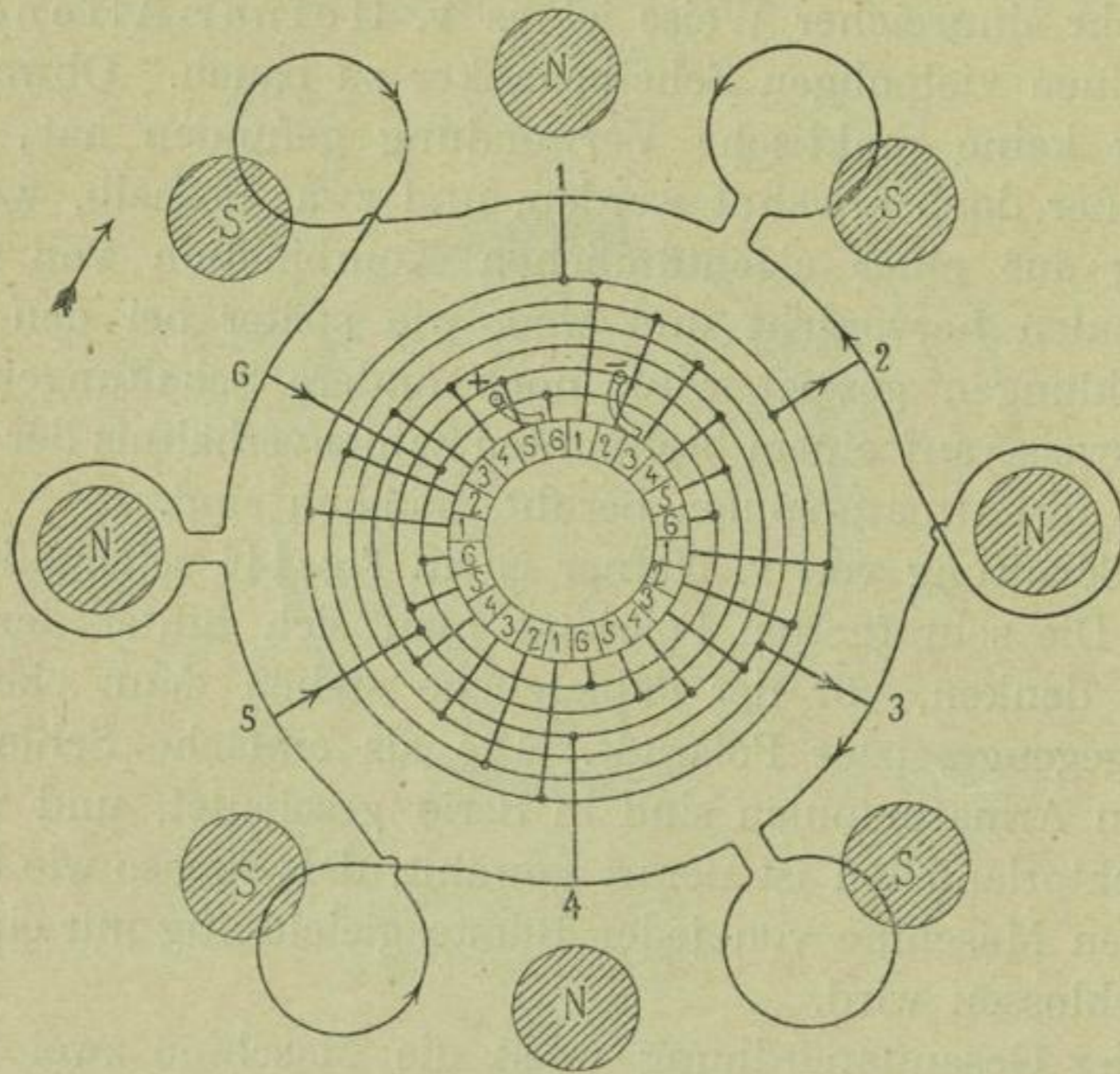


Fig. 146.

die Armatur durch eine die Axe schneidende Linie in zwei Hälften zerlegen können, die in entgegengesetztem Sinne vom Strom durchflossen werden, während die Stromimpulse sich addieren.

Die erwähnte Halbierungslinie ändert dabei fortwährend in sehr raschem Umlauf ihre Stellung und schneidet dabei stets diejenigen Punkte des durch die Spulen gebildeten Leitungskreises, welche mit den Kommutatorsegmenten, auf denen im gleichen Momente die Bürsten schleifen, in Verbindung stehen.



Der Kommutator besteht aus  $k = p \cdot s$  Segmenten, und je  $p$  Segmente, die um einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad von einander abstehen, sind leitend untereinander verbunden und an einen der Verbindungsdrähte zweier benachbarten Spulen angeschlossen. In unserer Figur besitzt der Kommutator 24 Teile, und  $p = 4$  Segmente gehören zu einer Gruppe. Die Verbindung der zu Gruppen (1, 1, 1, 1 bzw. 2, 2, 2, 2 u. s. f.) vereinigten Segmente unter sich und

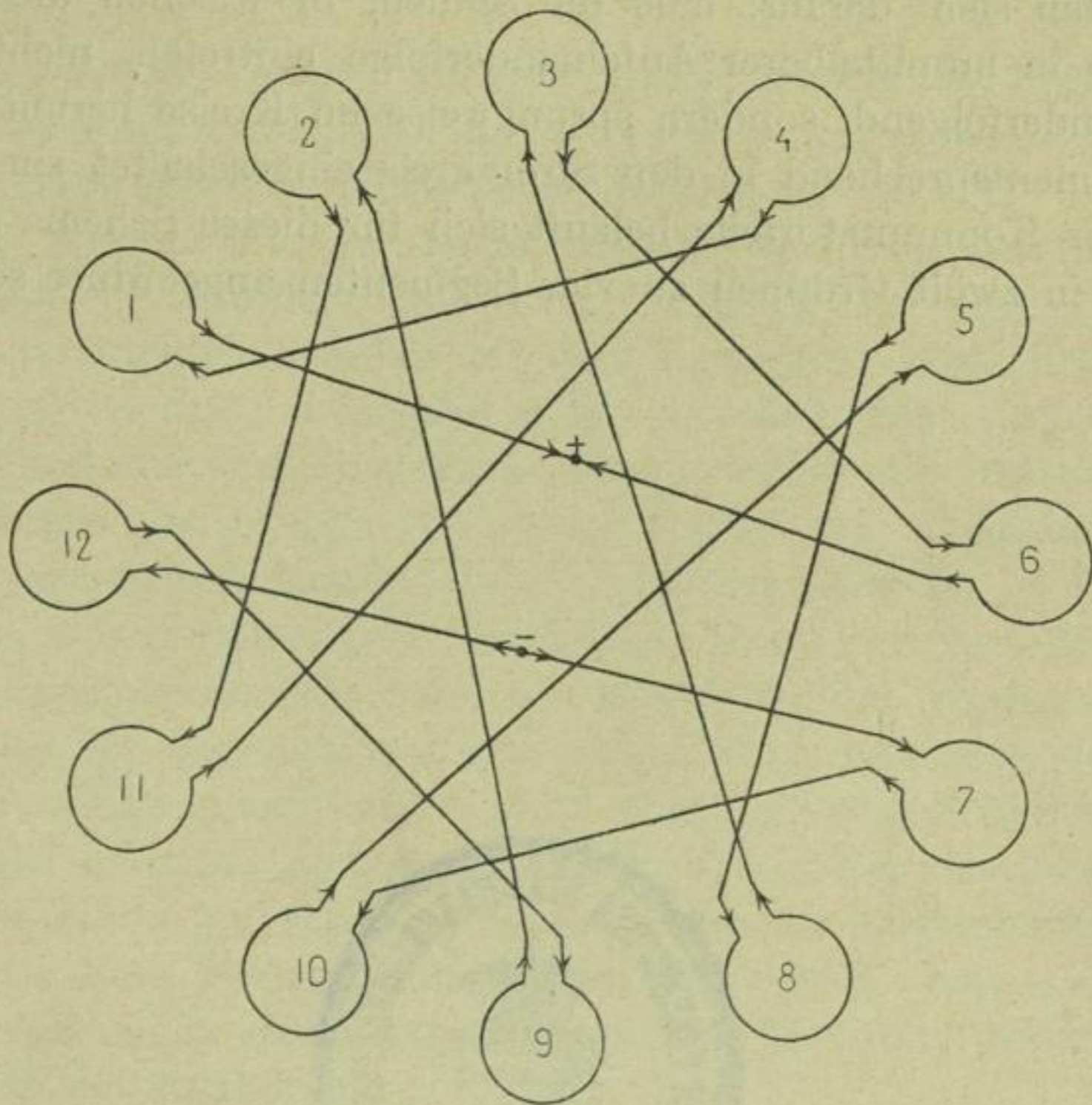


Fig. 147.

mit den Armaturspulen geschieht mittels isoliert auf die Axe aufgesetzten Ringen.

Bezeichnen wir die aufeinander folgenden Segmente der sechs Gruppen mit 1 bis 6 und die zugehörigen Verbindungsdrähte der Spulen ebenfalls mit 1 bis 6, so werden durch die Bürsten immer diejenigen Spulen kurz geschlossen, welche zwischen den Zahlen liegen, die mit den Nummern der von den Bürsten berührten Kommutatorsegmente übereinstimmen. Liegt z. B. die eine Bürste auf den Segmenten 5 und 6, die andere auf 2 und 3, so sind die

zwischen den Verbindungsdrähten 5 und 6, bzw. 2 und 3 liegenden Spulen kurz geschlossen.

Anstatt mehr magnetischer Felder als Spulen können auch deren weniger sein und die Differenz braucht nicht gerade zwei zu sein. Es kann auch die Zahl der Spulen vervielfacht, beispielsweise verdoppelt werden.

In Fig. 147 ist für eine Maschine mit acht Feldern und zwölf Spulen die Verbindung der Spulen untereinander aufgezeichnet. Man sieht daraus, daß die Spulen, in welchen die Stromimpulse in unmittelbarer Aufeinanderfolge eintreten, nicht mehr aufeinanderfolgend, sondern sprungweise im Kreise herum liegen und dementsprechend in den Stromkreis eingeschaltet sind. Die Zahl der Kommutatorteile beläuft sich für dieses Schema auf 48, welche in zwölf Gruppen zu vier Segmenten angeordnet sind.



## B. Offene Ankerwicklungen.

---

Die offenen Ankerwicklungen haben durch die Bogenlichtmaschinen von Brush, Thomson-Houston und der Westinghouse Electric Co.<sup>1)</sup> praktische Bedeutung erlangt.

Die Windungen der Anker dieser Maschinen bilden keine geschlossene Wicklung, sondern sie bestehen aus einer geringen Anzahl von Spulen, welche mit den Segmenten eines Kollektors so verbunden sind, daß jede Spule während eines Teiles jeder Umdrehung aus dem Stromkreise ausgeschaltet und unterbrochen ist; während des übrigen Teiles der Umdrehung durchläuft eine Spule verschiedene Kombinationen mit den übrigen.

Die geringe Spulenzahl macht diese Maschinen zur Erzeugung von hochgespannten Strömen, wie solche für die Serienschaltung vieler (bis 60) Bogenlampen erforderlich sind, besonders geeignet.

Diese Maschinen liefern zwar einen gleichgerichteten, aber wegen der geringen Spulenzahl keinen konstanten, sondern einen in seiner Stärke pulsierenden Strom. Für die Bogenlichtbeleuchtung sind diese leichten Pulsationen von Vorteil, denn sie halten den Mechanismus der Lampe in leichter Vibration und machen denselben empfindlicher.

Einen einfachen Anker mit offener Wicklung besitzen wir in dem bekannten Doppel-T-Induktor von Siemens, dessen Spule mit ihren Enden an zwei halbkreisförmige Kollektorsegmente angeschlossen ist.

Ein weiteres einfaches Beispiel einer offenen Ankerwicklung ist in Fig. 148 dargestellt. Der Ring trägt zwei Spulenpaare 1, 1 und 2, 2. Die Einzelspulen sind so hintereinander geschaltet, daß die induzierten Ströme sich unterstützen, und die Enden sind an zwei gegenüberstehende Kollektorsegmente angeschlossen. Die

---

<sup>1)</sup> Elektrotechn. Zeitschr. 1894. S. 515.

Spulenpaare und Kollektorsegmentpaare stehen unter einem Winkel von  $90^\circ$ . — In der gezeichneten Lage der Armatur ist die Spule 1 der größten Induktionswirkung ausgesetzt, und deren Enden stehen mit den Bürsten  $P_1$  und  $Q_1$  in Verbindung; die Spule 2 dagegen liegt in der neutralen Zone und ist aus dem Stromkreise ausgeschaltet. Dreht sich die Armatur weiter, so nimmt die Induktion in 1 ab, dagegen in 2 zu; da sich nun die Kollektorsegmente überdecken, so berühren die Bürsten eine Zeit

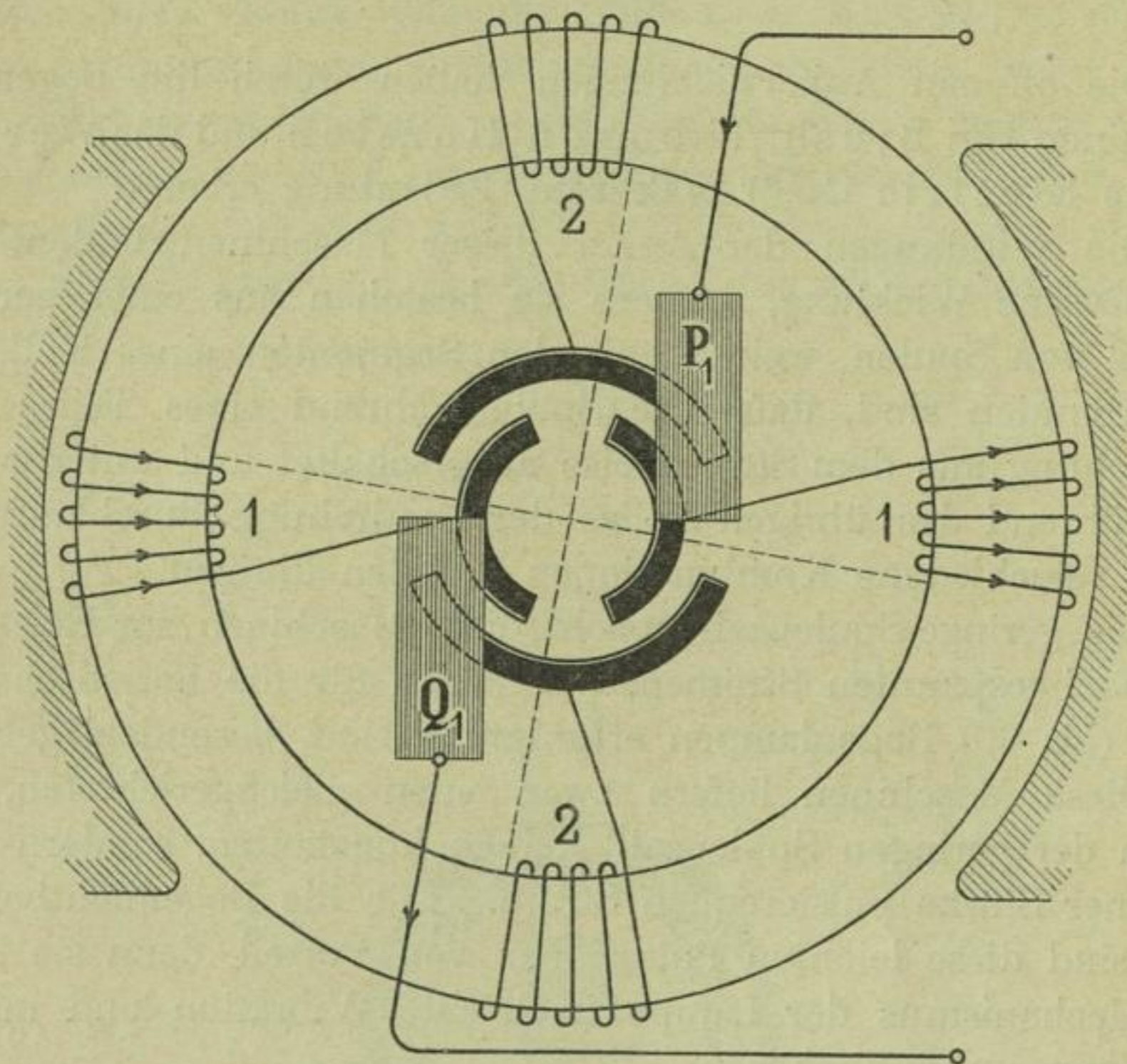


Fig. 148.

lang, d. h. während die Induktion eine mittlere Stärke besitzt, zwei Kollektorsegmente, und die Spulen 1 und 2 sind parallel geschaltet. Alsdann gelangt die Spule 1 in die neutrale Zone und wird ausgeschaltet, während Spule 2 die gezeichnete Lage der Spule 1 annimmt.

Der Strom wird auf diese Weise im äußeren Stromkreise nie unterbrochen oder gleich Null, aber seine Intensität wird doch stark schwanken. Wir könnten diese Schwankungen dadurch vermindern, daß wir zwei solche Anker mit um  $45^\circ$  gegeneinander verdrehten Spulen auf derselben Axe befestigen und in Serie schalten.

Noch einfacher wird die Anordnung, wenn wir die Spulen auf den bereits vorhandenen Ring wickeln, im übrigen aber die Serienschaltung beibehalten. Wir gelangen so zu dem Ringanker von Brush.

#### Die Wicklung von Brush. (Fig. 149.)

Es sind im ganzen acht Spulen vorhanden, welche sämtlich in gleichem Sinne gewickelt sind. Die hintern Enden zweier diametral gegenüberliegenden Spulen, also 1—1, 2—2, 3—3, 4—4

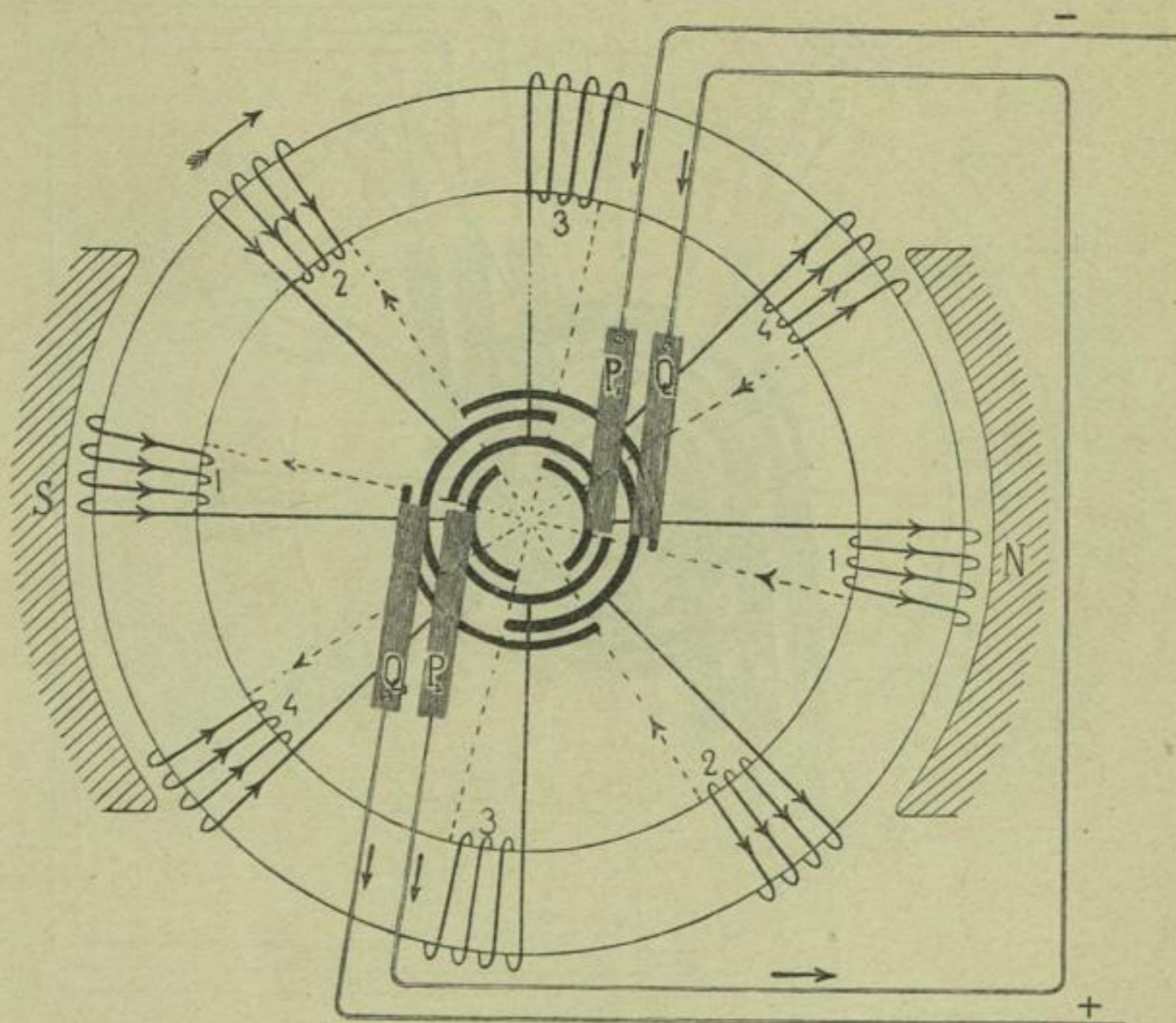


Fig. 149.

sind miteinander verbunden; in der Figur sind diese Verbindungen durch punktierte Linien markiert. Die beiden vordern Enden eines jeden Spulenpaares sind nach dem Kommutator geführt.

Der Kommutator besteht aus vier, auf der Achse nebeneinander gelagerten Ringen und jeder Ring aus zwei Segmenten, von denen jedes  $\frac{3}{8}$  des Kreisumfanges einnimmt. In der Figur sind alle Ringe in die Papierebene gelegt und daher mit verschiedenen Durchmessern gezeichnet. Die zwei innern Ringe, mit den gemeinschaftlichen Bürsten  $P_1$  und  $P_2$ , sind um  $90^\circ$  gegeneinander versetzt und stehen mit den Spulenpaaren 1—1 und 3—3 in

Verbindung, welche ebenfalls einen Winkel von  $90^\circ$  miteinander einschließen. Die zwei äußeren Ringe mit den Bürsten  $Q_1$  und  $Q_2$  sind an die übrigen Spulen 2—2, 4—4 angeschlossen und um  $45^\circ$  gegenüber dem ersten Ringpaare verdreht.

Bei der angenommenen Lage und Drehungsrichtung der Spulen hat die elektromotorische Kraft in 1—1 ihr Maximum erreicht, in 4—4 nimmt dieselbe zu und in 2—2 ab, während sich 3—3 in der neutralen Lage befindet. Der Strom tritt bei  $P_1$  in

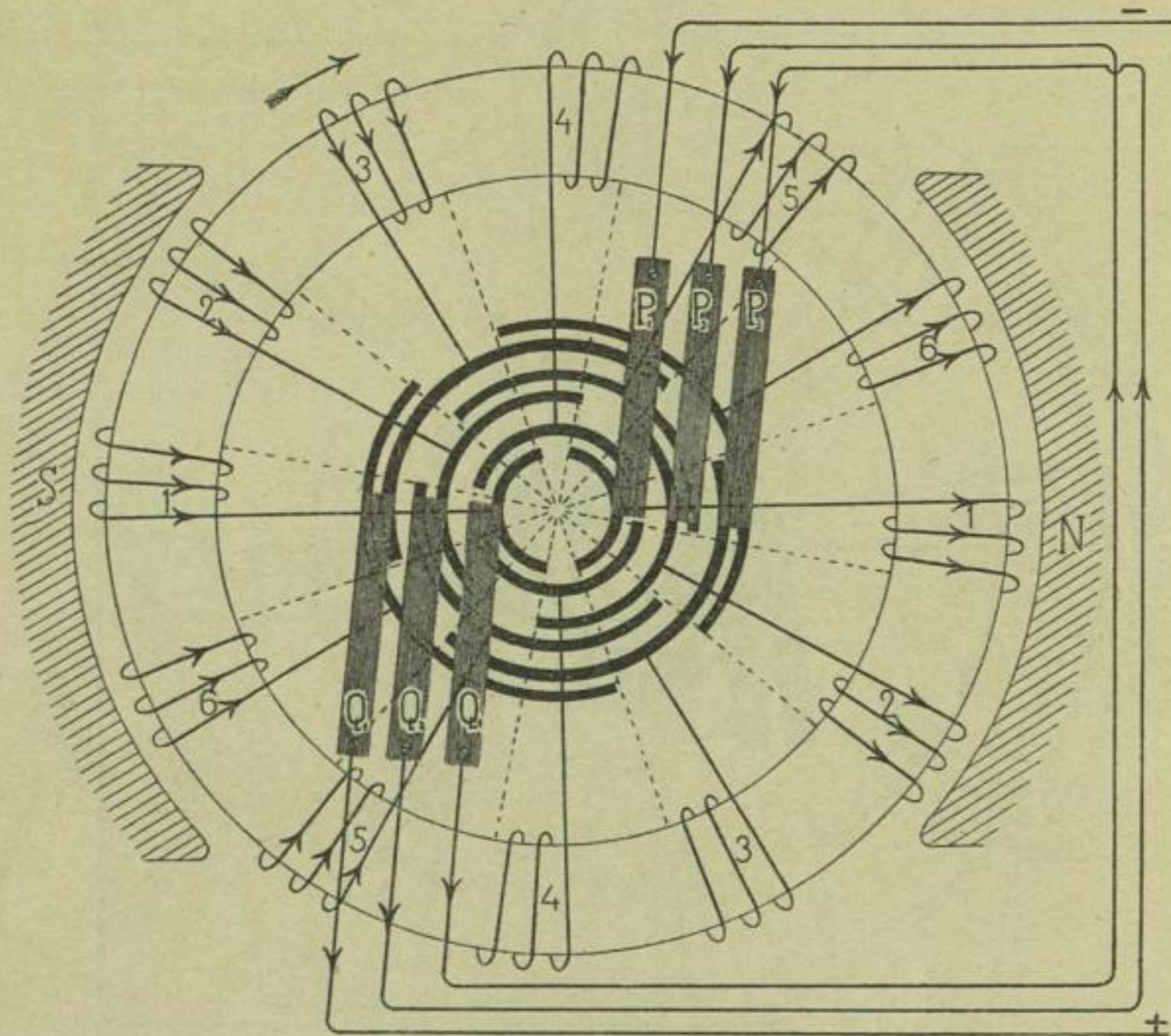


Fig. 150.

die Armatur ein, durchläuft das Spulenpaar 1—1, gelangt zur Bürste  $P_2$ , von da zur Bürste  $Q_1$  und dann durch die parallel verbundenen Spulen 2—2, 4—4 nach  $Q_2$  und schließlich durch den äußeren Stromkreis zurück nach  $P_1$ . — Das Spulenpaar 3—3 ist ganz ausgeschaltet. — Wechseln die Spulen ihre Lage, so ändert sich dementsprechend auch ihre Reihenfolge in der Stromrichtung. Jede Spule wird pro Umdrehung zweimal auf  $\frac{1}{8}$  des Weges ausgeschaltet und zwar dann, wenn sich ihre elektromotorische Kraft der Null nähert oder davon entfernt. Diejenigen Spulenpaare, welche sich vor und nach der Lage der maximalen Induktion befinden, sind stets parallel geschaltet.

Die Zahl der Spulen oder die Zahl der in Serie geschalteten Einheiten läßt sich für die Brushschaltung beliebig vermehren; je zwei Spulen entspricht ein Kommutatorring, und je vier um  $90^\circ$  gegeneinander versetzten Spulen ein gemeinschaftliches Bürstenpaar. Die letztern werden hintereinander verbunden.

Der Anker des größten Modells der Brush-Maschinen enthält jedoch nur zwölf Spulen; das zugehörige Schema zeigt Fig. 150.

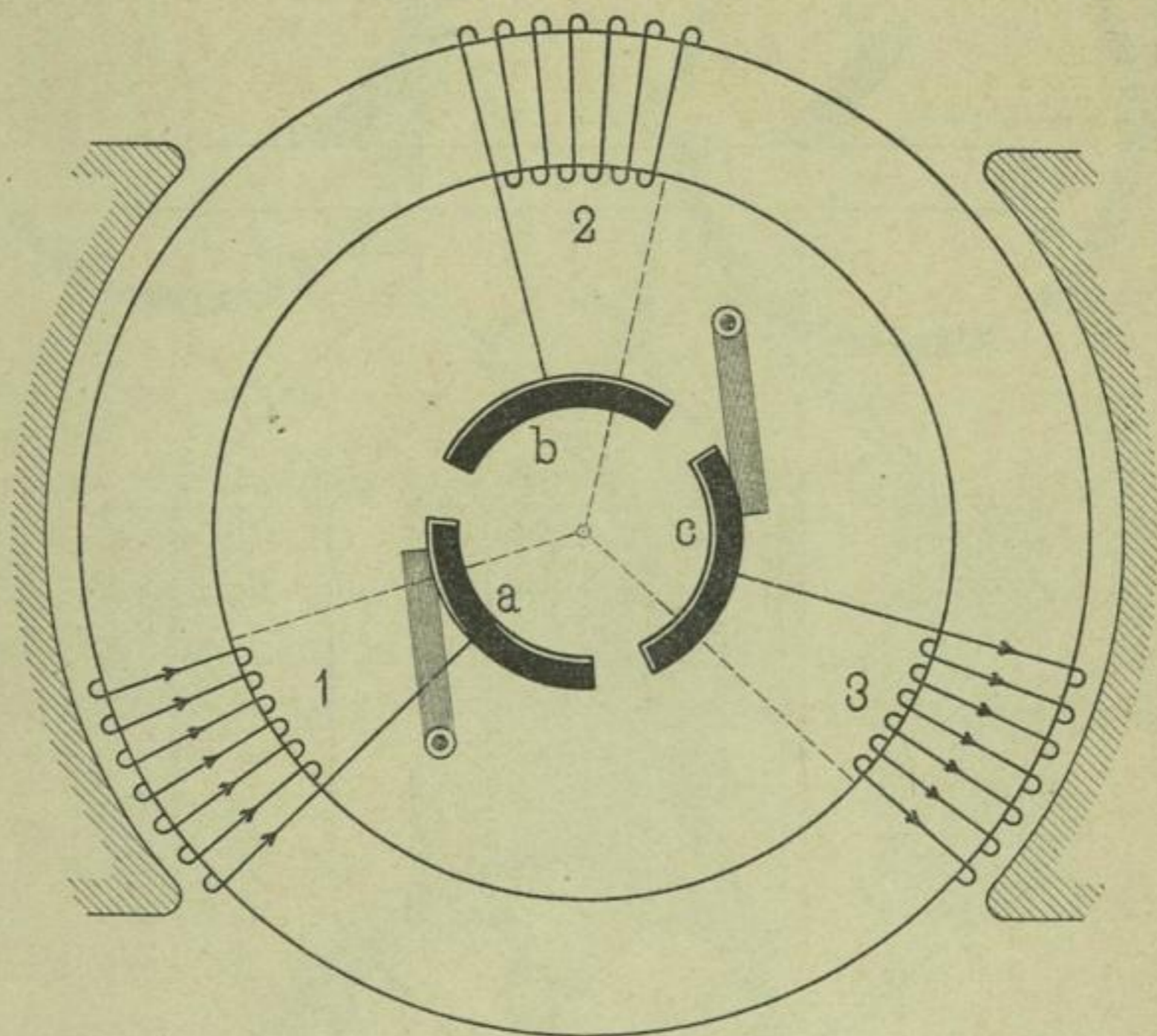


Fig. 151.

In dem dargestellten Momente bewegen sich die Spulen 4—4 durch die neutrale Zone und sind aus dem Stromkreise ausgeschlossen. Der Strom verfolgt die Richtung

$$- P_1 - 1 - Q_1 - P_2 \left\langle \begin{matrix} 5 \\ 2 \end{matrix} \right\rangle Q_2 - P_3 \left\langle \begin{matrix} 6 \\ 3 \end{matrix} \right\rangle Q_3 +$$

äußerer Stromkreis und zurück nach  $P_1$ .

#### Die Wicklung von Thomson-Houston.

Von den Bogenlichtmaschinen der Thomson-Houston Co. besitzen die größeren Modelle Ringanker, die kleineren Trommelanker. Das Schema für Ringankerwicklung ist in Fig. 151, das

abgewickelte Schema der Trommelankerwicklung in Fig. 152 dargestellt. Der Anker erhält drei Spulen, welche unter einem Winkel von  $120^\circ$  stehen. Drei gleich gelegene Enden der Spulen werden miteinander und die drei andern Enden mit den Segmenten  $a, b, c$  des Kollektors verbunden.

Bei den Trommelankern werden die drei Spulen auf einen eisernen Kern, von der Form einer kleinen Riemenscheibe mit

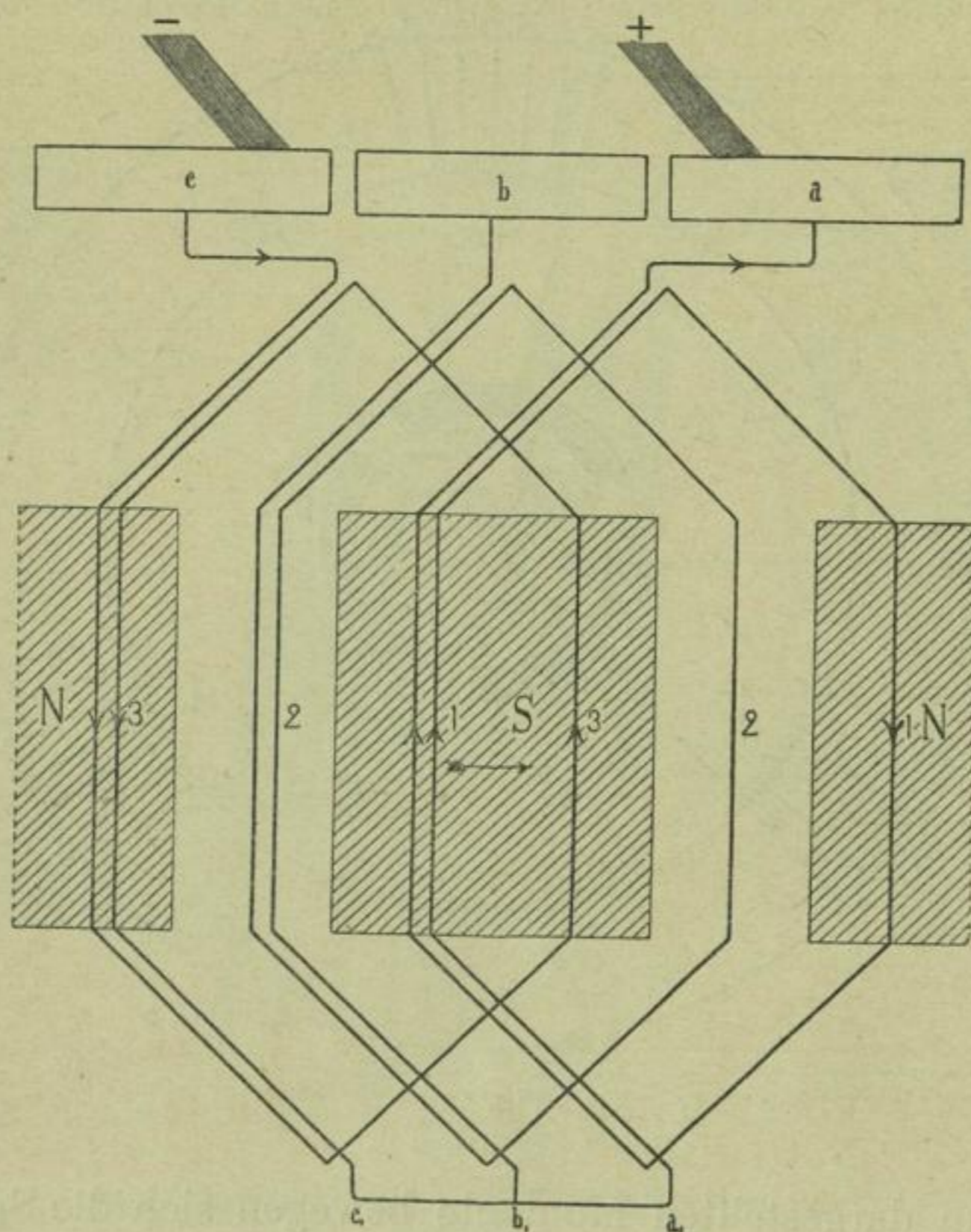


Fig. 152.

kugeligem Kranz und ebenen Seitenflächen, so aufgewunden, daß sich dieselben unter einem Winkel von  $120^\circ$  kreuzen. Damit die Spulen gleiche Drahtlänge und gleichen mittlern Abstand von den hohlkugelig gestalteten Polflächen erhalten, wickelt man zunächst die Hälfte der ersten Spule, dann die Hälfte der zweiten, nunmehr die dritte Spule vollständig und endlich die zweite Hälfte der zweiten und ersten Spule. Die Anfänge der drei Spulen werden miteinander verbunden und die Enden zu den Segmenten eines drei-



teiligen Kommutators geführt. Der fertige Anker besitzt eine kugelige Gestalt.

In Fig. 152 ist das in die Ebene ausgebreitete Schema einer solchen Wicklung dargestellt. Die Anfänge  $a_1, b_1, c_1$  der Spulen

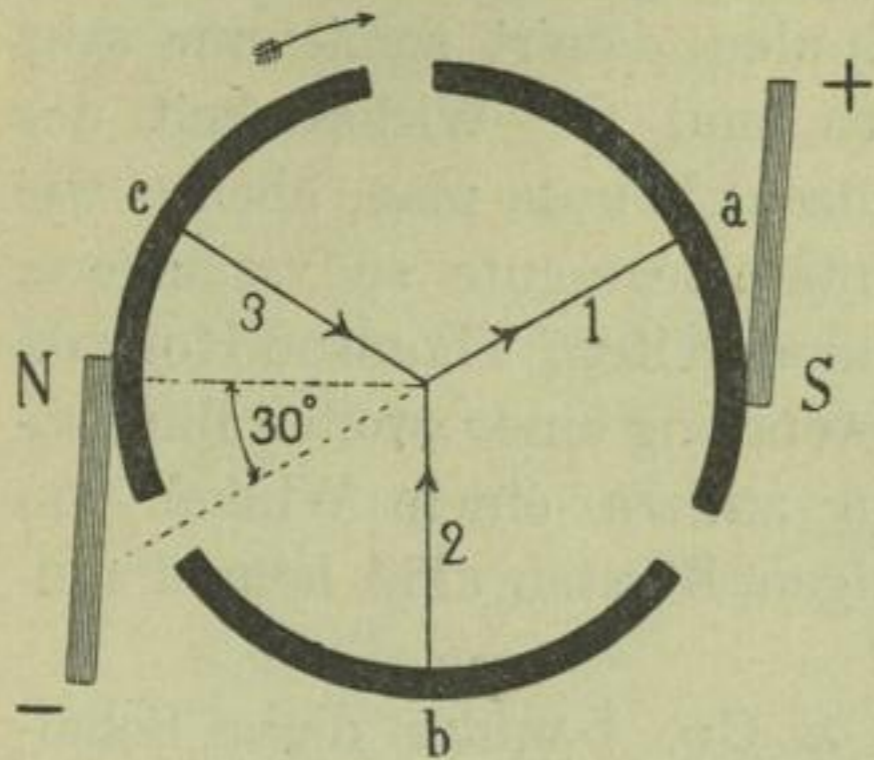


Fig. 153.

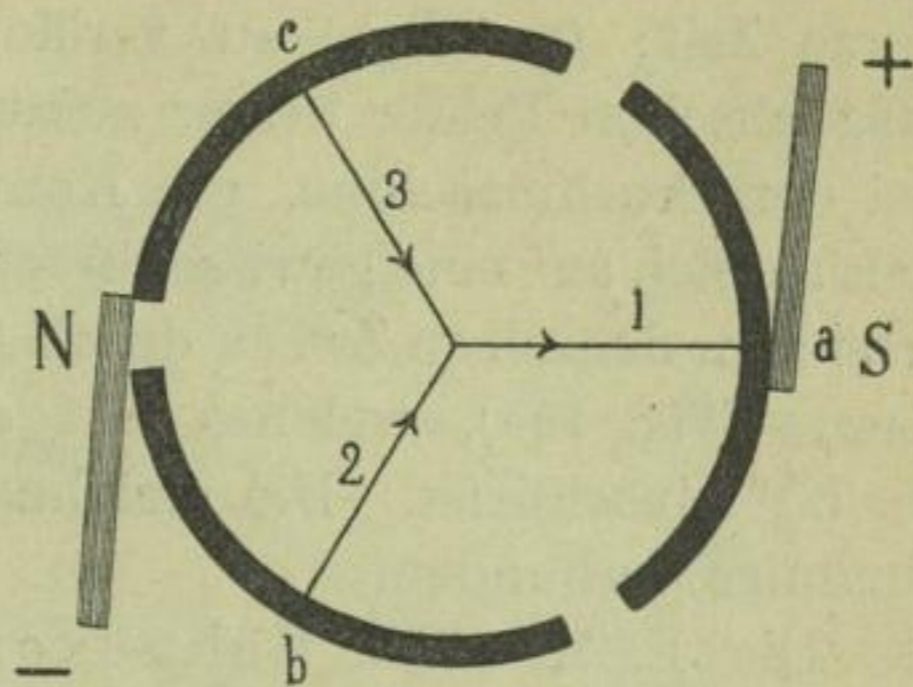


Fig. 154.

1, 2, 3 sind miteinander verbunden und die Enden zu den Segmenten  $a, b, c$  geführt. Die Spule 2 befindet sich gerade in der neutralen Lage und ist aus dem Stromkreise ausgeschlossen.

Die Lage der Spulen zum Kommutator und zu den Bürsten in dem auf den Ankerkern aufgewickelten Schema wird durch

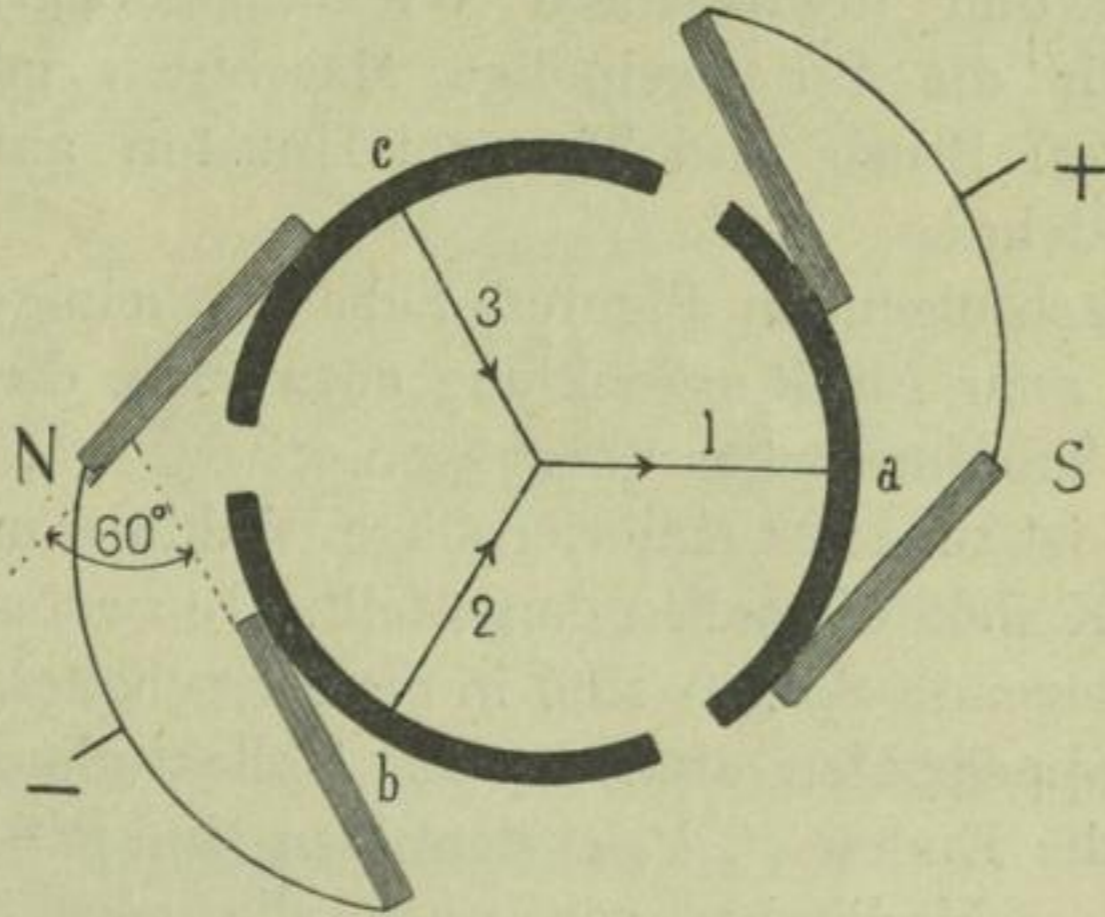


Fig. 155.

Fig. 153 veranschaulicht. Die Spulen 1, 2, 3 sind durch Radien angedeutet, welche von den Kommutatorsegmenten  $a, b, c$  zum Mittelpunkte gehen.  $NS$  gibt die Lage der Pollinie.

Nach einer Drehung von  $30^\circ$  (Fig. 154) gelangt 1 zur größten Wirksamkeit, 2 nähert sich dieser Lage und 3 der neutralen Linie.

Durch die auf  $b$  und  $c$  gleichzeitig aufliegende Bürste sind die Spulen 2 und 3 parallel verbunden. Nach einer weitem kleinen Drehung wird 3 aus dem Stromkreise ausgeschaltet und durch Spule 2 ersetzt.

Die Parallelschaltung zweier Spulen dauert somit nur sehr kurze Zeit; um diese zu verlängern und die Wirksamkeit der magnetischen Felder besser auszunützen, könnte man, ebenso wie bei der Brushmaschine, die Kommutatorsegmente so verlängern, daß sie sich auf eine gewisse Strecke übergreifen. Thomson-Houston erreichen denselben Zweck durch Anwendung eines zweiten Bürstenpaares (Fig. 155), welches mit dem andern einen Winkel von ca.  $60^\circ$  einschließt. Die gleichnamigen Bürsten sind leitend miteinander verbunden.

Die E. A. vorm. Schuckert & Co. benützt diese Schaltung für kleine zweipolige Gleichstrommotoren. Der Anker ist als dreifacher T-Anker (wie Fig. 162 aber mit 3 Polen) ausgeführt, derselbe besitzt somit drei Spulen und der Kollektor drei Lamellen.

#### Mehrpolige Ringanker mit offener Wicklung.

Zu neuen und interessanten Wicklungsschemata gelangen wir, wenn wir die für zweipolige Maschinen gebräuchlichen Schaltungen von Brush und Thomson-Houston auf mehrpolige Maschinen ausdehnen.

In den nachfolgenden Figuren habe ich einige mehrpolige Schemata und zwar für Ringwicklung entworfen, dieselben lassen sich auch auf Trommelanker übertragen.

In Fig. 156 ist zunächst eine vierpolige Wicklung mit 6 Armaturspulen und 6 Kollektorlamellen dargestellt. Je zwei auf demselben Durchmesser liegende Spulen sind in Serie geschaltet, die Anfänge  $a$ ,  $b$ ,  $c$  der Doppelspulen sind an die Kollektorlamellen 1, 2, 3 befestigt und die Enden  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  derselben sind leitend miteinander verbunden. Verbinden wir noch die gegenüberliegenden Kollektorlamellen leitend miteinander, also 1 mit 1', 2 mit 2', 3 mit 3', so ist die Wirkungsweise dieser Anordnung mit der zweipoligen Wicklung von Thomson-Houston identisch, die Zahl der in Serie geschalteten Spulen ist hier aber doppelt so groß. In der gezeichneten Lage erfahren die Spulen 2, 2' die maximale Induktion; die Spulen mittlerer Wirkung 3, 3' und 1, 1' sind

parallel und mit 2, 2' in Serie geschaltet. Der Stromlauf ist demnach

$$+ 2 - 2' - b' \left\langle \begin{array}{l} a' - 1' - 1 \\ c' - 3' - 3 \end{array} \right\rangle -$$

Dreht sich der Anker nach rechts, so wird 1, 1' ausgeschaltet, und der Stromlauf ist nun

$$+ 2 - 2' - b' - c' - 3' - 3 -$$

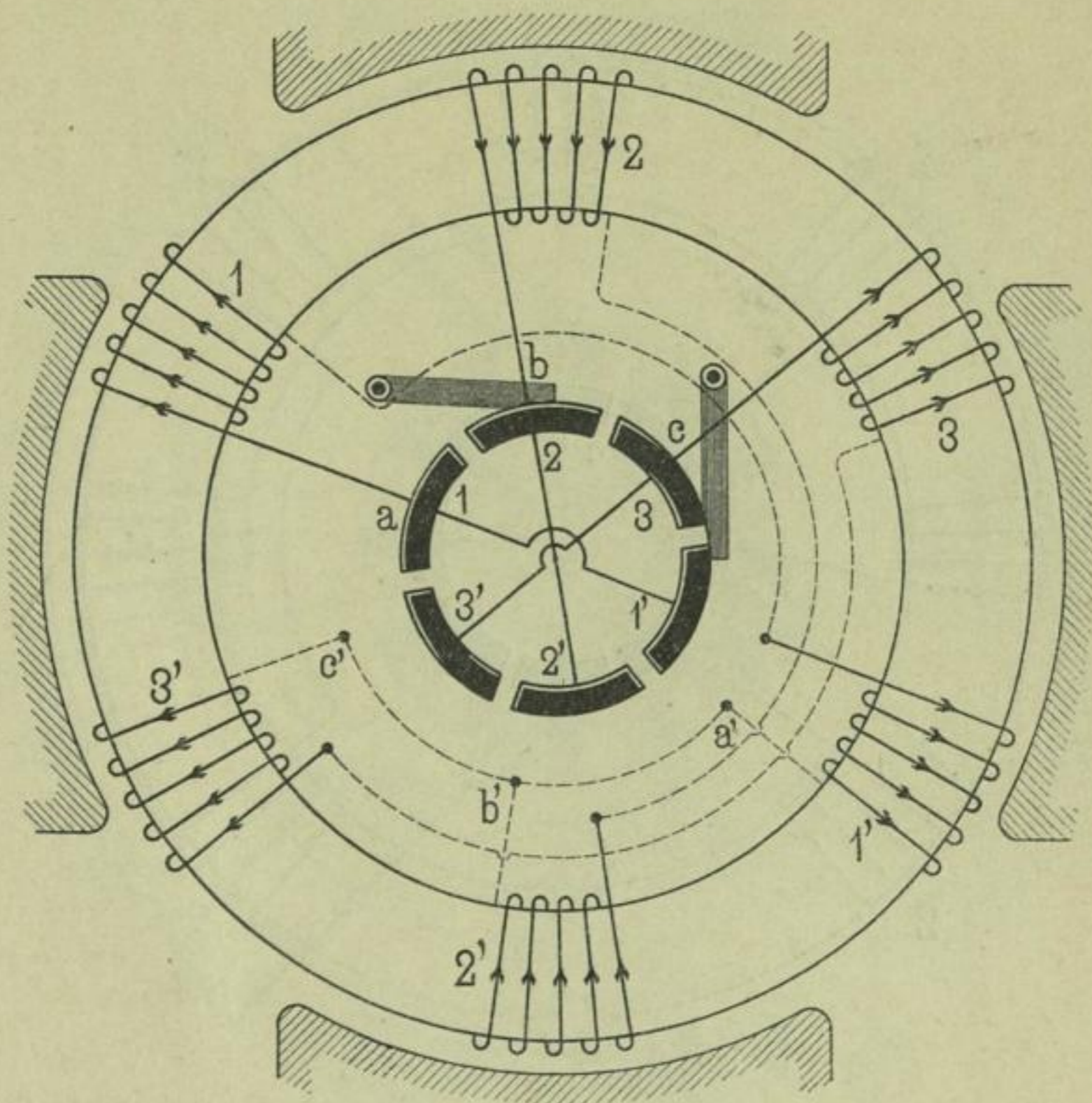


Fig. 156.

alsdann gelangt 3, 3' in die Stellung maximaler Induktion, und 2, 2' ist mit 1, 1' parallel geschaltet u. s. f.

Ohne die Wirkungsweise der Maschine zu ändern, könnten 3 Spulen, z. B. 1', 2' und 3' fortgelassen werden. — Anstatt gleichgelegene Spulen in Serie zu schalten, könnten dieselben auch parallel verbunden werden. In diesem Falle werden die Enden von 1, 2 und 3 miteinander verbunden, und die Anfänge von 1', 2', 3' an die Segmente 1', 2', 3' angeschlossen und 4 Bürsten angeordnet.

Will man Anfang und Ende der in Serie geschalteten Spulen mit dem Kollektor verbinden, wie das bei der Brushwicklung der Fall ist, so gelangt man zu der Anordnung Fig. 157.

Es sind 4 Pole und 8 Spulen vorhanden, je 4 gleichgelegene Spulen sind in Serie geschaltet und deren Enden mit zwei unter einem Winkel von  $90^\circ$  stehenden Lamellen des Kollektors ver-

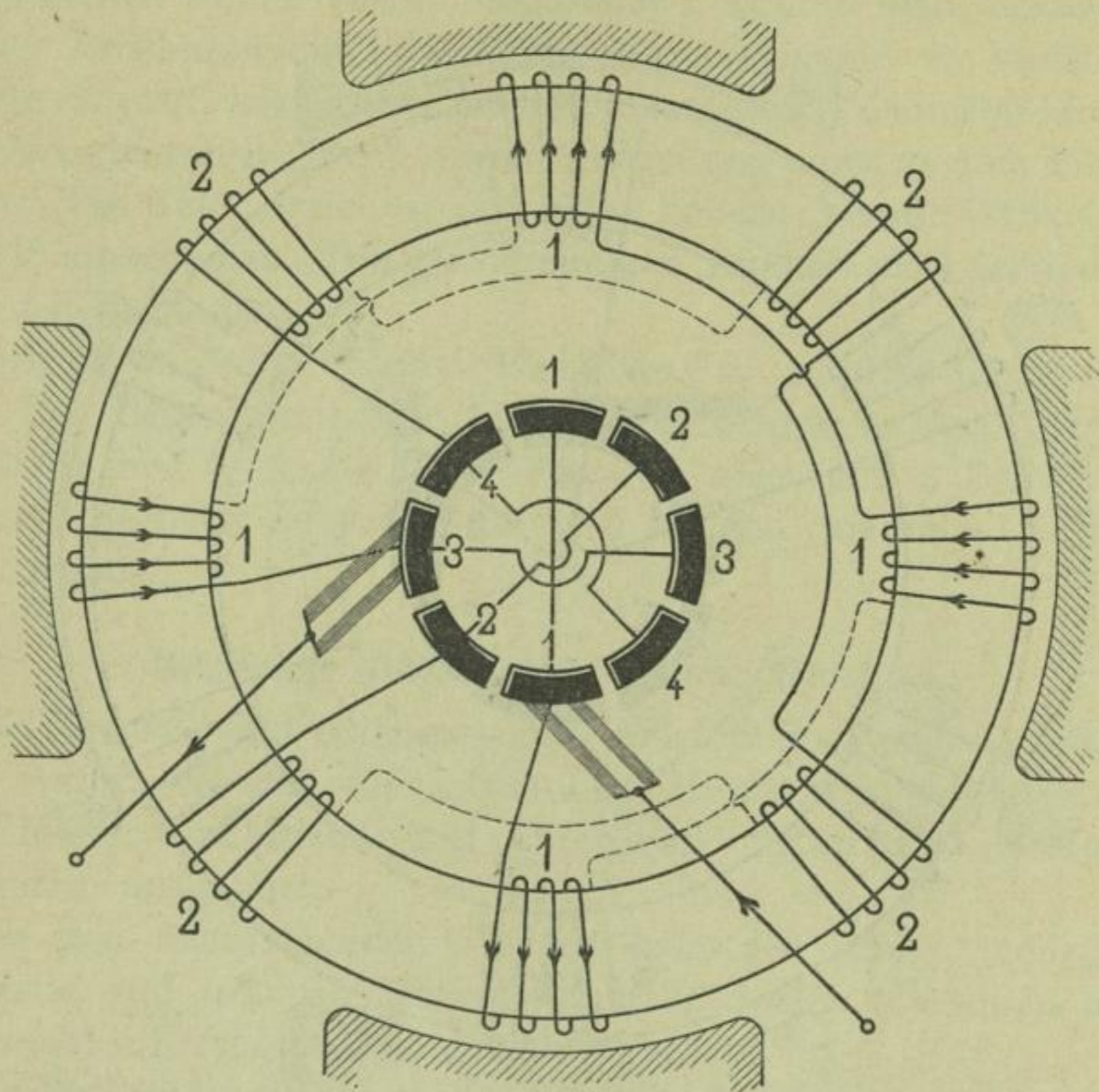


Fig. 157.

bunden. Der Kollektor hat 8 Lamellen und die gegenüberliegenden Lamellen sind leitend verbunden. Auf dem Kollektor schleifen zwei Doppelbürsten, deren Breite so gewählt ist, daß die Spulen 1 mit den Spulen 2 zeitweise parallel geschaltet sind. In der angenommenen Lage der Armatur haben die Spulen 1 die maximale Wirkung, die Spulen 2 liegen in der neutralen Zone und sind ausgeschaltet.

Dieses Schema kann ebenso wie das zweipolige Schema Fig. 148 als ein einfaches System angesehen werden, und wir

können um die Stromschwankungen zu verkleinern, zwei solche Systeme, die um  $22\frac{1}{2}^\circ$  gegeneinander verdreht sind, in Serie schalten. Fügen wir z. B. ein zweites System, dessen Spulen zwischen den Spulen 1 und 2 liegen, hinzu, so erhalten wir eine Armatur mit 16 Spulen und zwei Kollektoren mit 4 Doppelbürsten, von denen zwei direkt mit einander verbunden sind.

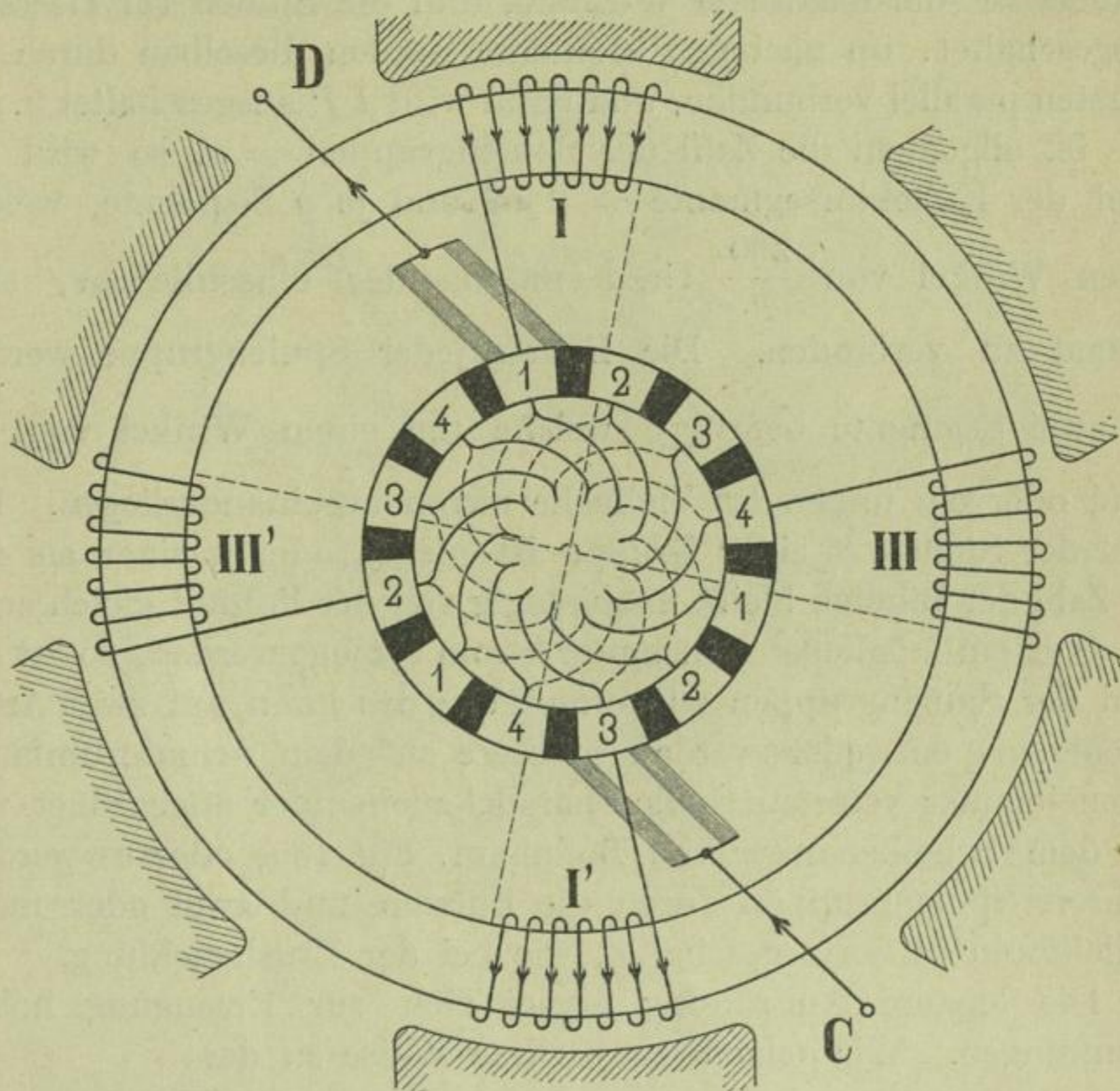


Fig. 158.

In jeder aus 4 Spulen bestehenden Spulengruppe können, ohne die Wirkungsweise der Maschine zu stören, einzelne Spulen weggelassen werden, z. B. je zwei gegenüberliegende Spulen einer Gruppe. In unserem Falle mit 4 Polen ( $p = 2$ ) würde aber eine unsymmetrische Anordnung der Spulen entstehen.

Ist dagegen  $p$  ungerade, so kann auch bei reduzierter Spulenzahl eine symmetrische Anordnung erreicht werden.

Ein Beispiel hierzu gibt das Schema Fig. 158 mit 6 Polen und mit zwei Spulengruppen von nur 2 anstatt 6 in Serie

geschalteten Spulen. Es sind hier nur die auf zwei senkrechten Durchmessern liegenden Spulen beibehalten worden. Der Kollektor hat 12 Lamellen, und je drei, mit gleichen Nummern bezeichnete Lamellen sind leitend verbunden. Die Doppelbürsten besitzen die Breite von etwa  $1\frac{1}{2}$  Kollektorsegmenten, die schwarzen Flächen bedeuten die Isolation. In der angenommenen Lage haben die Spulen  $II'$  die maximale Wirkung, und die Spulen  $III III'$  sind ausgeschaltet, im nächsten Momente werden dieselben durch die Bürsten parallel verbunden, und dann wird  $II'$  ausgeschaltet u. s. f.

Ist allgemein die Zahl der Spulengruppen =  $S$ , so wird die Zahl der Kollektorsegmente =  $2pS$  und je  $p$  Segmente, welche einen Winkel von  $\frac{360}{p}$  Grad miteinander einschliessen, sind leitend zu verbinden. Die Enden jeder Spulengruppe werden an zwei Segmente befestigt, welche um einen Winkel von  $\frac{180}{p}$  Grad oder ein ungerades Vielfache davon auseinanderliegen. Die Zahl der Spulen  $S$  einer Gruppe ist gleich oder kleiner als  $2p$ , die Zahl der Bürsten bleibt unabhängig von der Polzahl gleich zwei.

Soll ein möglichst konstanter Strom erzeugt werden, so ist die Zahl der Spulengruppen zu vermehren; das kann auf zwei Arten geschehen, entweder werden mehrere auf dem Armaturumfang gegeneinander versetzte Spulen parallel zueinander angeordnet, wie bei dem Scheibenanker von Bollmann, Fig. 165, oder es werden mehrere Spulengruppen durch die Bürsten und zwei oder mehr Kollektoren in Serie geschaltet, wie bei der Brushwicklung.

Die letztere Anordnung eignet sich zur Erzeugung hoher Spannungen. Wir gelangen auf diese Weise zu der

#### Wicklung der Westinghouse Electric Co.

Über die neue Bogenlichtmaschine der Westinghouse Electric Co., Pittsburg, ist bis jetzt nur wenig<sup>1)</sup> und über die Wicklung derselben meines Wissens nichts veröffentlicht worden.

Die Maschine besitzt die in Fig. 159 dargestellte Anordnung. Es sind 6 Magnetpole  $P$  vorhanden, welche durch eine besondere kleine Dynamo mit niedrig gespanntem Strome erregt werden.

Die Armatur besitzt, ähnlich den Wechselstrommaschinen derselben Firma, 8 Zacken mit aufgedrückt, stark isolierten

<sup>1)</sup> Elektrotechn. Zeitschrift 1894, S. 515.

Spulen, und zwei Kollektoren mit je 12 Segmenten, die durch eine 16 mm breite Isolierschicht getrennt sind. Die Kollektoren sind um ungefähr ein halbes Segment gegeneinander verschoben und durch eine 38 mm breite Isolierschicht geschieden.

Die Stromabnehmer bestehen aus 4 Bürstenpaaren, von denen immer die eine Bürste das nächste Segment schon berührt, bevor die andere Bürste desselben Bürstenpaares ihr Segment verlassen hat.

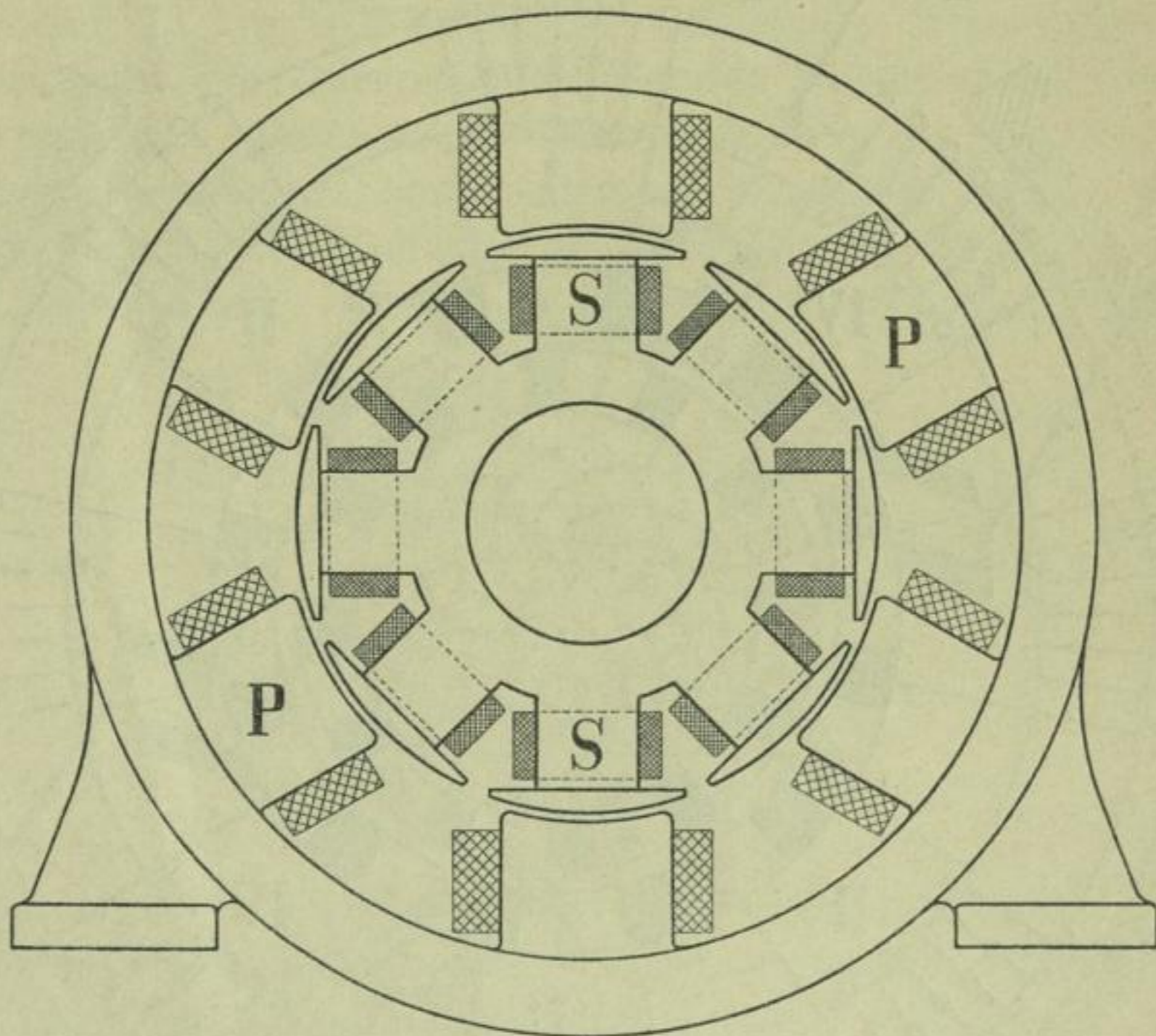


Fig. 159.

Die länglichen Armaturspulen des Ankers sind besonders gewickelt und auf die Armaturzähne geprefst, wo sie durch keilförmige Holzstücke befestigt sind.

Die Zähne tragen, wie aus der Fig. 159 sichtbar, große, die Armaturspulen weit überragende Vorsprünge, durch die im Verein mit der großen Windungszahl eine starke Armaturreaktion auf das Feld ausgeübt wird.

Infolge dieser Einwirkung genügt schon eine geringe Erhöhung des Armaturstromes, um die E.M.K. bedeutend zu vermindern, und umgekehrt bewirkt ein ganz minimales Abfallen des Stromes ein starkes Anwachsen der E.M.K.

Auf diese Weise ist eine Selbstregulierung im weitesten Sinne erreicht, so daß, selbst bei plötzlichem Ausschalten aller Lampen bis auf eine, die Stromstärke sich nur sehr wenig ändert.

Die Schaltung der Armaturspulen will ich, der Deutlichkeit wegen, für Ringwicklung aufzeichnen.

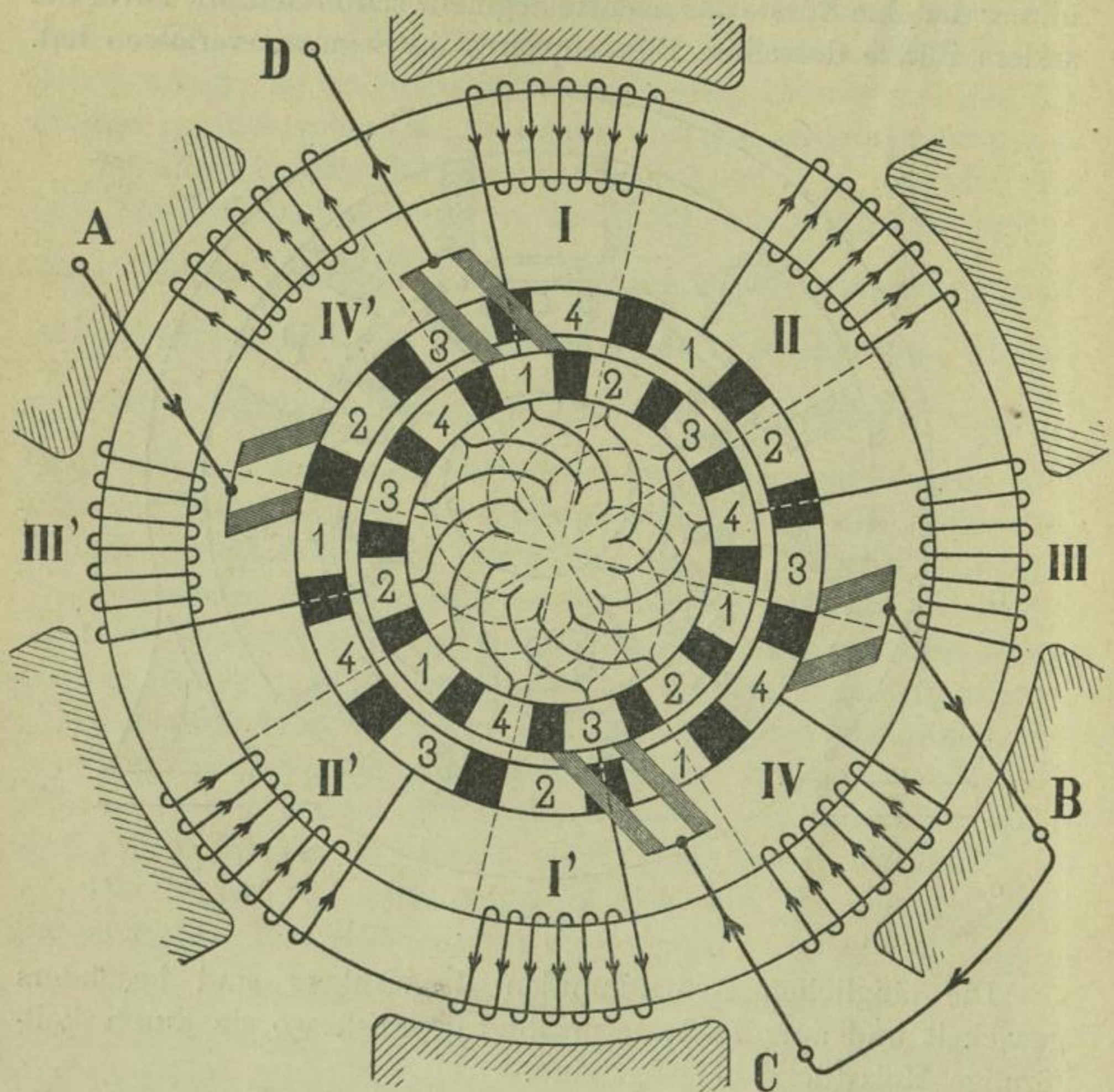


Fig. 160.

Nach den oben gegebenen Details dieser Maschine erhalten wir das Wicklungsschema offenbar durch Serienschaltung von zwei Systemen nach Fig. 158, wobei das eine System um 45 Grad gegen das andere versetzt ist, so daß die neuen Spulen *II II'* und *IV IV'* zwischen die Spulen *I I'* und *III III'* zu liegen kommen. In Fig. 160 ist das vollständige Schema dargestellt.



Dieses Schema, das zunächst etwas schwer verständlich ist, können wir am einfachsten herstellen, wenn wir Fig. 158 auf ein Stück Pauspapier zeichnen, jedoch ohne die Bürsten. Wir verdrehen nun die Pause um  $45^\circ$  gegen das Original, die Bürsten sowie die Pole bleiben stehen. Bei dieser Drehung kommen die Kollektorsegmente 3 und 4 des gedrehten Schema unter die Bürsten *D*, und 1 und 2 unter die Bürsten *C* zu stehen. Der Deutlichkeit halber sind in Fig. 160 die beiden Kollektoren konzentrisch gezeichnet, und die Querverbindungen der Lamellen des äußeren Kollektors sind fortgelassen. Man muß sich die mit gleichen Nummern versehenen Lamellen leitend verbunden denken.

Für den äußeren Kollektor sind die Bürsten, welche, wie wir oben gesehen, die Lamellen 1 und 2 bzw. 3 und 4 berühren

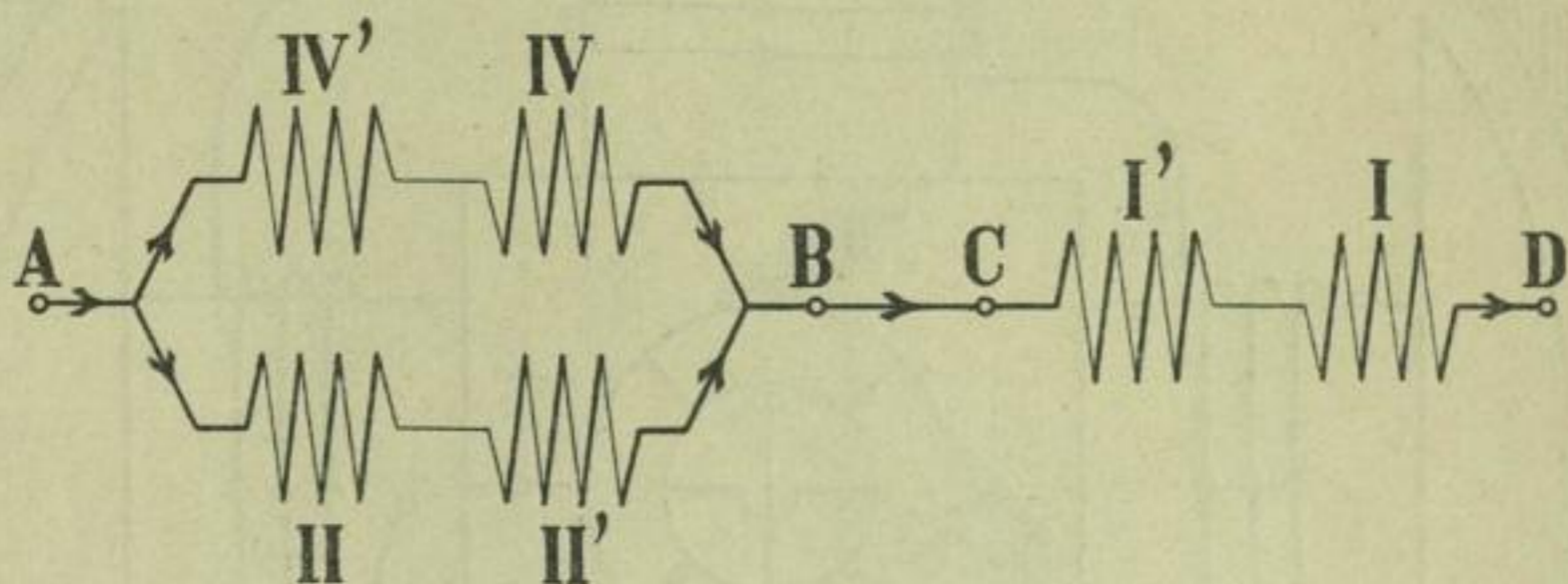


Fig. 161.

müssen, an einer Stelle angebracht, in welcher sie sich mit *D* und *C* nicht mehr decken. Die Serienschaltung beider Wicklungen erfolgt nun durch Verbindung der Bürsten *B* und *C*.

Der Stromlauf ist für die angenommene Lage der Spulen in Fig. 161 dargestellt. Der Strom tritt bei *A* ein, verteilt sich in die Spulenpaare *II II'* und *IV IV'*, um sich bei der Bürste *B* wieder zu vereinigen, fließt nun von Bürste *B* nach *C* und durch die Spulen *I I'*, welche sich in der Lage der maximalen Induktion befinden, nach der Bürste *D*. Zwischen *A* und *D* liegt der äußere Stromkreis. — Die Spulen *III III'*, welche sich in der neutralen Zone befinden, sind aus dem Stromkreise ausgeschaltet.

Während der Rotation des Ankers ändert sich diese Gruppierung der Spulen beständig, aber dieselbe ist immer derart, daß die zwei Spulenpaare, in denen die Induktion zu- oder abnimmt, parallel verbunden und mit dem Spulenpaare, welches sich im

Maximum der Induktion befindet, in Serie geschaltet sind. Das vierte Spulenpaar liegt in der neutralen Zone und ist aus dem Stromkreise ausgeschaltet.

#### Polanker von Gérard.

Zu den mehrpoligen Ankern mit offener Wicklung gehört auch der in Fig. 162 abgebildete Anker von Gérard.

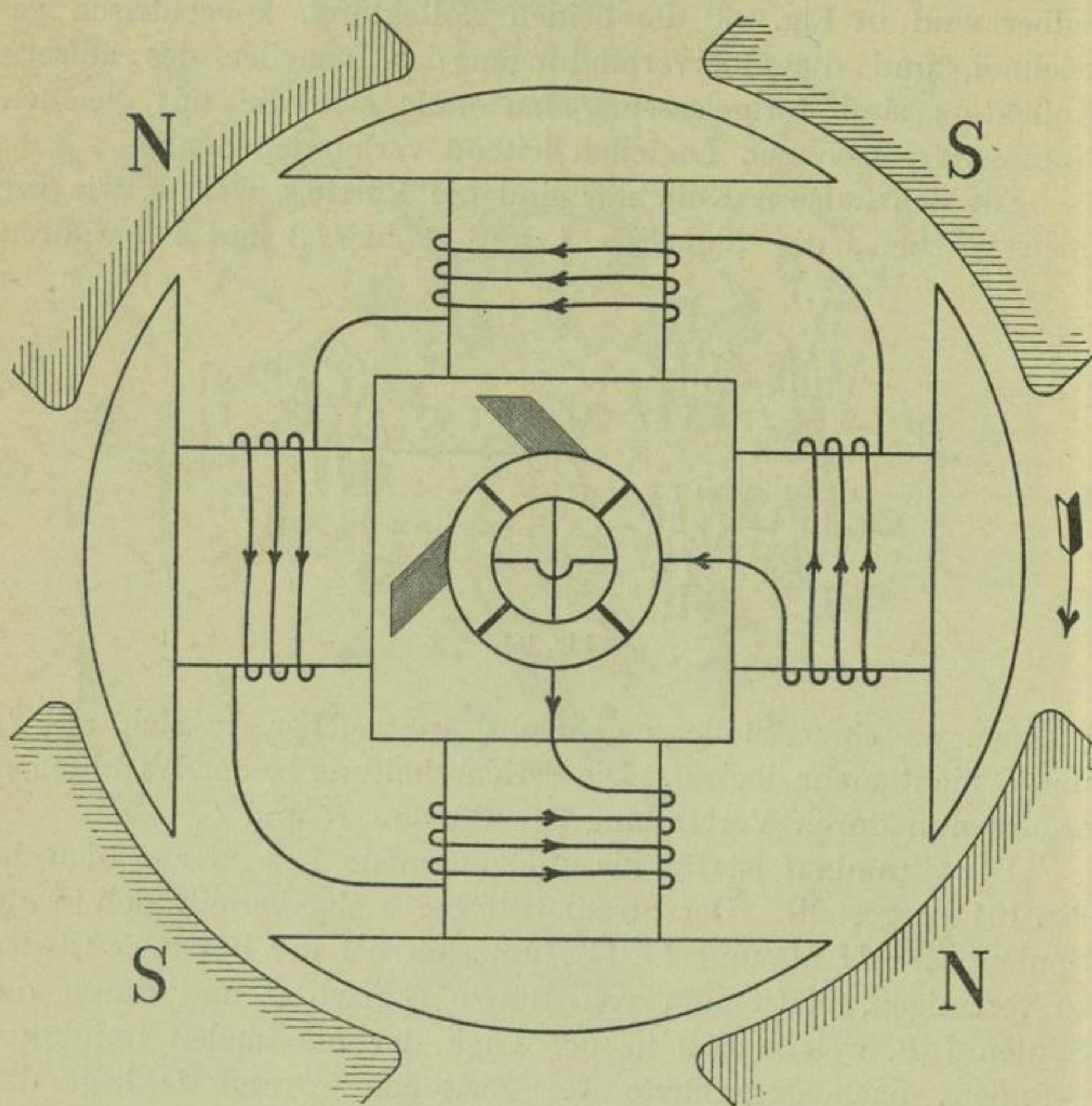


Fig. 162.

Es sind 4 Pole vorhanden, die Zahl  $S$  der Spulengruppen ist  $= 1$ , die Zahl der Kollektorsegmente  $k = 2pS = 4$ , und die gegenüberliegenden Segmente sind leitend verbunden.

Die Wirkungsweise erklärt sich aus der Figur; der Pfeil entspricht der Drehrichtung als Motor.

## Scheibenanker von Wilde.

H. Wilde liefs sich im Jahre 1867 eine Wechselstrommaschine patentieren, deren Anker so eingerichtet ist, dafs ein Teil des Wechselstromes mittels eines Kommutators gleichgerichtet und zur Erregung der Feldmagnete verwendet werden kann.

In Fig. 163 ist eine solche Anordnung dargestellt. Durch acht magnetische Felder, welche mit abwechselnder Polarität aufeinanderfolgen (über jedem Nordpol hat man sich einen Südpol und über jedem Südpol einen Nordpol zu denken), rotieren ebensoviele

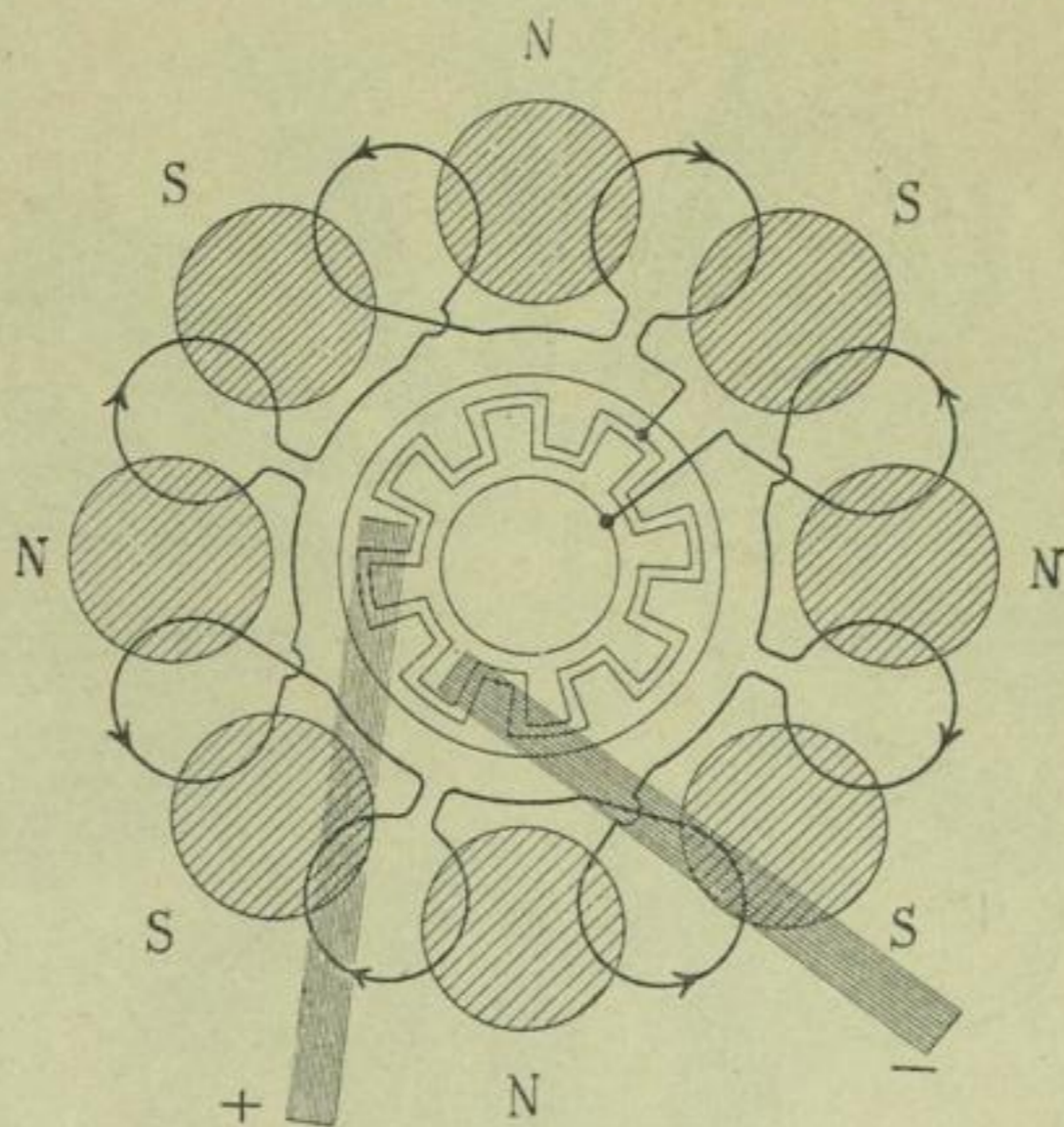


Fig. 163.

Spulen, welche ihre offene Fläche den Polen zukehren. Sämtliche Spulen sind hintereinander geschaltet und so angeordnet, dafs der Stromwechsel in allen gleichzeitig eintritt.

Der Stromwender, der hier der Deutlichkeit wegen in der Ebene der Spulen gezeichnet ist, besteht aus zwei von einander isolierten, zahnartig ineinandergreifenden Metallringen. Jeder Teil besitzt ebensoviele Zähne, als magnetische Felder vorhanden sind; der eine derselben ist mit dem Anfange, der andere mit dem Ende der Wicklung verbunden. Läßt man zwei Bürsten so auf den ineinandergreifenden Zähnen schleifen, dafs beide Ringe abwechselnd mit jeder Bürste in Berührung treten, so erhält man im äußern Stromkreise einen gleichgerichteten Strom.

Anstatt die Spulen in Reihe zu schalten, können dieselben, indem man Anfang und Ende jeder Spule mit den Kommutator-  
teilen verbindet, auch parallel geschaltet werden.

#### Scheibenanker von Ferranti-Thomson.

Ebenso wie bei der Maschine von Wilde, bilden auch hier die Elektromagnete zwei Kränze, welche einander so gegenübergestellt sind, daß die magnetischen Felder mit wechselnder Polarität aufeinanderfolgen. Die Armatur besteht, ähnlich wie bei dem

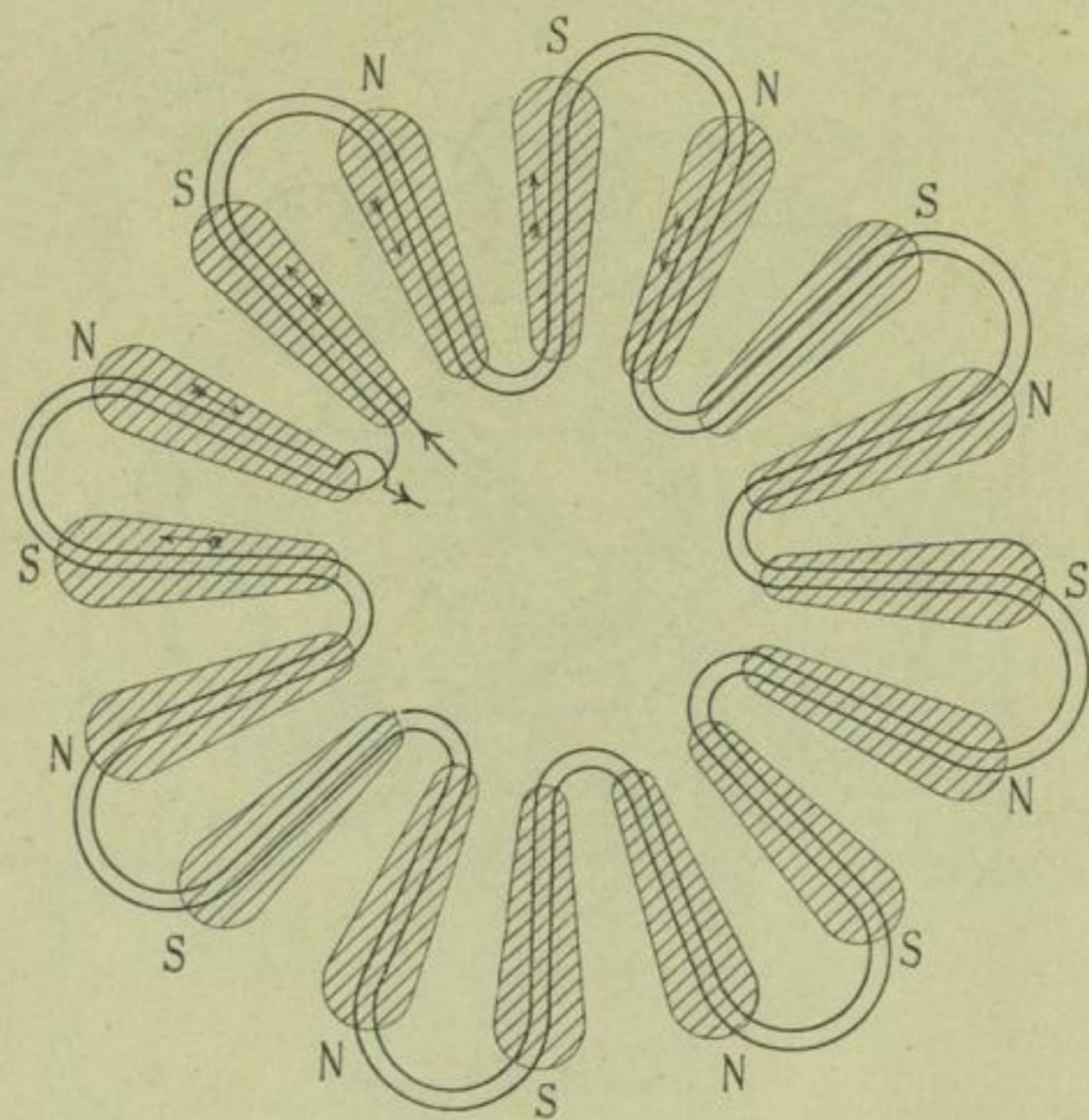


Fig. 164.

Scheibenanker von Frick, aus einem wellenförmig gebogenen, in mehreren isolierten Lagen übereinander gewundenen Kupferband (in Fig. 164 sind nur zwei Lagen angenommen).

Die radialen Teile desselben haben gleichen Abstand wie die Magnetpole. Die in entgegengesetzter Richtung induzierten elektromotorischen Kräfte addieren sich im Kupferbande zu einer gesamten elektromotorischen Kraft. In der gezeichneten Stellung befindet sich die Armatur in der Lage maximaler Induktion. Um im äußern Stromkreise einen Gleichstrom zu erhalten, sind Anfang und Ende des Kupferbandes ebenso wie in Fig. 163 mit einem Stromwender zu verbinden.

Scheibenanker von Bollmann<sup>1)</sup>.

Die Ankerwicklung von Bollmann hat am meisten Ähnlichkeit mit derjenigen von Ferranti-Thomson. Der Unterschied besteht darin, daß in dem Anker von Bollmann mehrere Stromkreise vorhanden sind, und daß die Spulen der einzelnen Stromkreise sich übergreifen. Löst man einen einzelnen Stromkreis von dem Schema los, so erhält man eine Wicklung, deren Wirkungsweise genau mit derjenigen des Ankers von Ferranti-Thomson übereinstimmt.

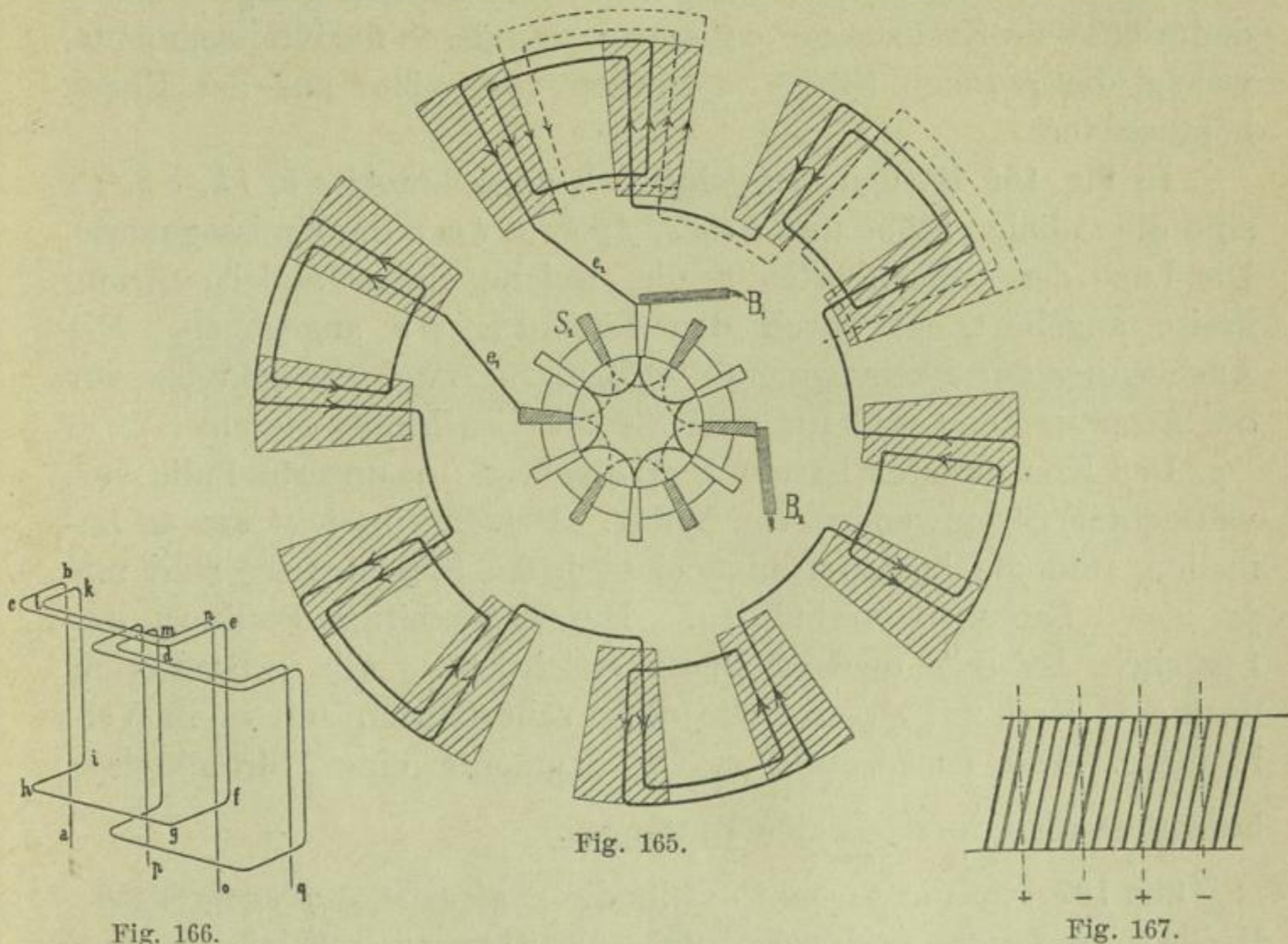


Fig. 166.

Fig. 165.

Fig. 167.

Die schematische Darstellung der Bollmannmaschine gibt Fig. 165. Zwei Magnetkränze, welche die ungleichnamigen Pole einander zukehren, bilden zwölf magnetische Felder, die im Kreise mit abwechselnder Polarität einander folgen. Im ganzen sind 24 Armaturspulen vorhanden, welche in vier Stromkreise zu sechs Spulen geteilt sind. Die Spulen sind aus Kupferstreifen zusammengesetzt, und die Armatur enthält kein Eisen.

Jede Spule besteht aus mehreren Windungen (in der Figur sind zwei Windungen angenommen), die aus radialen Stäben und

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 35 186 v. 18. Nov. 1884.

Kreissegmenten so zusammengesetzt sind, daß die Luft überall frei zirkulieren kann und der Strom alle Windungen hintereinander durchläuft. Die Winkelweite der Spulen ist gleich dem Winkel zwischen zwei Magnetpolen; es wird daher jede Spule von zwei Feldern gleichzeitig induziert. In unserer Figur ist nur ein Stromkreis vollständig gezeichnet und ein zweiter zum Teil angedeutet.

Damit der Abstand der Pole möglichst klein ausfällt, sind die radialen Stäbe sämtlicher Spulen in eine Ebene gelegt. Sollen dadurch keine Kreuzungen entstehen, so müssen die Kreissegmente, welche die radialen Stäbe zu Spulen verbinden, aus der Ebene heraustreten.

In Fig. 166 ist das perspektivisch angedeutet:  $ab, ik, on, fe$  sind die radialen Stäbe und  $bcde, fghi, klmn$  die Kreissegmente. Die Lage der benachbarten Spule, welche einem andern Stromkreise angehört, ist durch den Linienzug  $pq$  angegeben. Die Ausbiegung der Kreissegmente erfolgt für zwei Stromkreise vor die Armaturebene und für zwei Stromkreise hinter dieselbe.

Der Kommutator ist ein vervielfachter (in unserm Falle vierfachter) Stromwender von Wilde. Derselbe besteht aus 48 Lamellen, und die beiden Enden eines jeden Stromkreises sind mit je  $p = 6$  Lamellen verbunden. Die gegenseitige Stellung der Lamellen ist aus unserer Figur ersichtlich. Alle schraffierten Segmente sind mit  $e_1$ , und alle nicht schraffierten mit  $e_2$  in Verbindung. Die Entfernung zweier Segmente eines Stromkreises beträgt somit  $\frac{1}{2p} = \frac{1}{12}$  des Umfanges.

Fig. 167 gibt die Ansicht des in die Papierebene ausgebreiteten Kollektorumfanges und zeigt, daß die Segmente schief zur Axe stehen, was bezweckt, daß die Bürsten gleichzeitig auf zwei und zeitweise auf drei Lamellen aufliegen können. Die in zwei bzw. drei Stromkreisen induzierten Ströme werden sich auf diese Weise addieren, während die vierte Spulenreihe ganz aus dem Stromkreise ausgeschlossen ist und zwar in dem Momente, in welchem ihre elektromotorische Kraft  $= 0$  ist und ein Stromrichtungswechsel sich vollzieht.

Die  $+$  und  $-$  Zeichen in Fig. 167 geben die Entfernungen an, innerhalb welchen am Kollektor die Stromrichtungen wechseln. Die Bürsten können daher 1, 3, 5, 7, 9 oder 11 Zwölftel des Umfanges von einander entfernt sein.

---

II. Teil.

Die Ankerkonstruktionen.

Die Anfertigungskosten





## Die Ankerkonstruktionen.

Der Aufbau des Ankerkörpers und die Herstellung der Wicklung und des Kollektors bilden den konstruktiv schwierigsten Teil einer Gleichstromdynamomaschine. Die praktische Ausführung einer Wicklung weicht namentlich bei den Trommel- und Scheibenankern in mancher Hinsicht von den dargestellten Schemata ab, und die Zahl der Ausführungsarten ist eine sehr große. — Jede Fabrik hat hierin besondere Erfahrungen gemacht und die Konstruktion und Fabrikation der Anker demgemäß ausgebildet.

Die wesentlichsten Punkte, welche bei der Konstruktion eines Ankers in Betracht kommen, sollen im Nachfolgenden besprochen und einige typische Beispiele angeführt werden. Die Abmessungen des Ankers und dessen Wicklung, soweit dieselben für die elektrischen und magnetischen Vorgänge in Betracht kommen, sollen aber nur insoweit gestreift werden, als dieselben auf die mechanische Festigkeit und die Haltbarkeit des Ankers von Einfluss sind.

### Die Konstruktion des Ankerkörpers.

Der Ankerkörper besteht aus der Welle, der Ankerbüchse oder dem Ankersterne und dem aus Eisenblech hergestellten Ankerkerne.

**Die Welle.** Die Welle wird aus bestem Stahle angefertigt, und die Zapfen sollen, insbesondere für hohe Tourenzahlen, gehärtet und geschliffen sein.

Der Wellendurchmesser wird, namentlich bei kleinen Dynamos, bezüglich Festigkeit reichlich dimensioniert; bei riemengetriebenen Dynamos muß die Beanspruchung auf Torsion und Biegung berücksichtigt werden.

Für die Berechnung der Zapfenlänge kommen der Zapfendruck, die Tourenzahl und die zulässige Erwärmung in Betracht. Bezeichnet

$Q$  den Zapfendruck in kg,

$l$  die Zapfenlänge in mm,

$n$  die Tourenzahl pro Minute,

so soll erfahrungsgemäß

$$\frac{Qn}{l} \leq 2000 \text{ bis } 3000 \text{ sein.}$$

Bei Riementrieb ist der Zapfendruck aus der Größe und Richtung des totalen Riemenzuges und dem Gewichte des Ankers zu ermitteln.

Bezeichnet

$\mu$  den Reibungskoeffizienten zwischen Riemen und Scheibe,

$\alpha$  den Centriwinkel, welchen der Riemen an der kleineren Scheibe umspannt (einem umspannten Bogen von  $180^\circ$  entspricht ein Centriwinkel  $= \pi = 3,14$ ),

$P$  die durch den Riemen übertragene Zugkraft,

$N$  die Zahl der übertragenen Pferdestärken,

$R$  den Radius der Riemenscheibe in mm,

so ist

$$P = 716200 \frac{N}{n \cdot R},$$

und für  $\mu = 0,25$  und  $\alpha = 2,8$  wird der totale Riemenzug, welcher auf die Achse übertragen wird,

$$= 3 \cdot P.$$

Aus diesem Drucke und dem Ankergewichte läßt sich der Zapfendruck  $Q$  ermitteln. Für die Zapfenlänge erhalten wir dann die Bedingung

$$l \geq \frac{Q \cdot n}{2000} \text{ bis } \frac{Q \cdot n}{3000}.$$

Setzt man für Dynamomas mit zwei Lagern und außen liegender Riemenscheibe als annähernd

$$Q = 4P,$$

so folgt

$$l \geq \frac{P \cdot n}{500} \text{ bis } \frac{P \cdot n}{750}.$$

Die Zapfenlänge wird gewöhnlich gleich dem 2,5 bis 3,6fachen Zapfendurchmesser gemacht.

In der beigefügten Tabelle sind die Zapfen und Wellendimensionen von Dynamomaschinen mit gebräuchlichen Touren-

Tabelle der Wellendimensionen von Dynamomaschinen mit zwei Lagern und aufsen liegender Riemenscheibe (Mittelwerte).

Nr.	KW	N	n	$716200 \frac{N}{n}$	D	P	L	P · L	d	l	$\frac{l}{d}$	$d_m$	$\frac{d_m}{d}$	$\frac{P \cdot n}{l}$	$S_b$	$S_t$	$c = \frac{d}{\sqrt[3]{\frac{E \cdot J}{n}}}$
1	2	3,3	1300	1720	200	17,2	100	1720	25	100	4	37	1,48	223	3,36	0,56	21,6
2	4	6,4	1200	3815	220	34,7	110	3825	30	120	4	42	1,40	347	4,32	0,72	20,1
3	6	9,2	1100	5978	250	47,8	120	5720	35	130	3,7	50	1,43	405	4,08	0,71	19,9
4	10	15,5	1000	11100	275	80,5	140	11260	40	150	3,75	55	1,38	537	5,37	0,87	18,6
5	12	18,4	950	13880	300	92,5	160	14800	45	160	3,55	60	1,34	550	4,98	0,78	19,4
6	15	22,8	930	17560	325	107,4	170	18220	50	180	3,6	60	1,20	555	4,44	0,71	19,8
7	18	27	900	21500	350	123,0	190	23400	55	190	3,45	65	1,18	582	4,32	0,66	20,3
8	20	30	850	25260	370	136,8	200	27500	60	200	3,33	70	1,16	584	3,87	0,60	21
9	30	45	800	40250	400	201,3	240	48180	70	230	3,3	75	1,07	700	4,32	0,60	20,8
10	40	60	700	61280	450	272,5	280	76350	80	260	3,25	80	1	732	4,56	0,61	20,8
11	50	74,5	600	88910	500	355	320	113500	90	280	3,1	90	1	761	4,77	0,62	20,7
12	60	88	500	125820	600	419,5	340	142200	100	300	3	100	1	700	4,35	0,64	20,4
13	70	103	400	184200	700	528	370	195000	120	340	2,84	120	1	621	3,48	0,52	21,4
14	80	116,5	350	238300	800	620	400	248000	135	360	2,65	135	1	600	3,12	0,50	22,1
15	100	146	300	347500	900	773	440	340000	155	380	2,45	155	1	610	2,79	0,48	22,4
16	100	136	500	195000	600	650	345	224000	90	320	3,55	125	1,39	1014	9,45	1,36	15,4
17	75	115	500	164800	700	470	330	155200	95	240	2,53	135	1,42	980	5,52	0,98	17,9
18	30	48	720	47700	400	239	200	47800	60	170	2,84	70	1,17	1015	6,75	1,12	17,3

Die Welle.

195

<sup>1)</sup> Für einen totalen Riemenzug = 3 P, wirkend am Hebelarme L, berechnet.

zahlen und bis 100 Kilowatt Leistung zusammengestellt. Es sind die Mittelwerte von ausgeführten Dynamos verschiedener Firmen, die wirklichen Werte zeigen nur unbedeutende Abweichungen von den angegebenen Mittelwerten.

Die Bedeutung der einzelnen Buchstaben ist aus Fig. 168 zu entnehmen. Ferner bezeichnet

- $d_m$  den Wellendurchmesser in der Mitte des Ankers in mm,
- $S_b$  die Beanspruchung des Zapfens auf Biegung in kg pro qmm,
- $S_t$  die Beanspruchung des Zapfens auf Torsion in kg pro qmm.

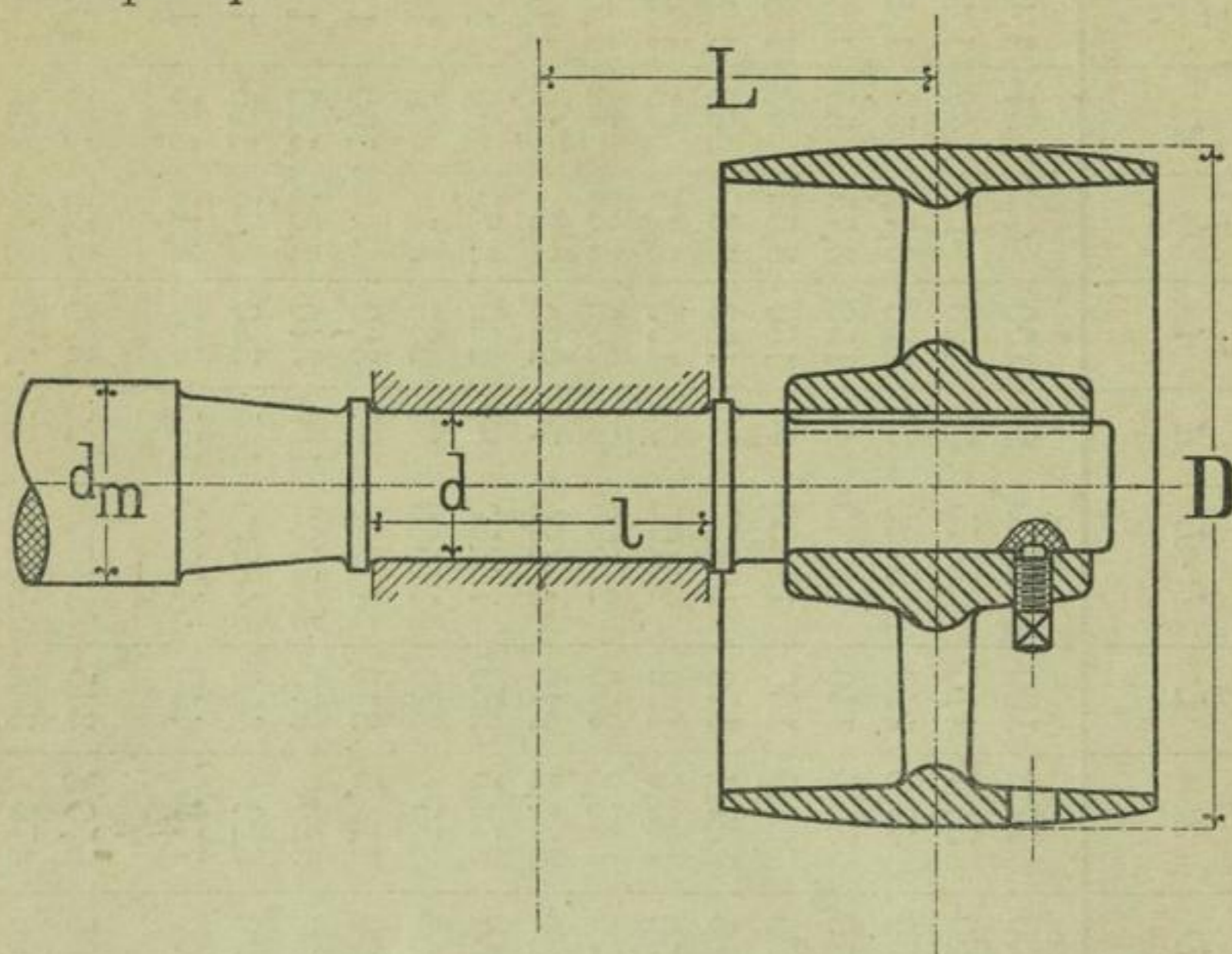


Fig. 168.

Die Beanspruchung der Zapfen auf Biegung ist unter der Annahme berechnet, daß der ganze vom Riemen auf die Welle ausgeübte Druck gleich der dreifachen Umfangskraft  $P$  bei vollbelasteter Maschine sei.

Diese Annahme wird mit der Wirklichkeit nicht immer übereinstimmen; denn der totale Riemenzug, welcher den Zapfen auf Biegung beansprucht, ist zwar ein Vielfaches von  $P$ , aber dieses Verhältnis des totalen Riemenzuges zur Umfangskraft  $P$  hängt von dem Reibungskoeffizienten  $\mu$ , dem umspannten Bogen  $\alpha$  und

auch von der Anspannung des Riemens ab und kann sich deshalb innerhalb weiter Grenzen ändern.

Setzen wir den Zapfendurchmesser nach der bekannten Torsionsformel

$$d = C \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$$

und führen für  $N$  die Leistung der Dynamo in Watt ein, so wird, wenn  $E$  die Klemmenspannung in Volt und  $J$  die Stromstärke in Amper bedeutet,

$$d = c \cdot \sqrt[3]{\frac{E \cdot J}{n}}$$

In der letzten Spalte der Tabelle ist der Wert der Konstanten  $c$  ermittelt; wir erhalten

$$d = 18 \text{ bis } 23 \sqrt[3]{\frac{E \cdot J}{n}}$$

und im Mittel

$$d = 20 \sqrt[3]{\frac{E \cdot J}{n}}$$

Abweichungen von dieser Formel zeigen die unter Nr. 16 bis 18 angeführten Beispiele der Tabelle; die Beanspruchung der Zapfen ist hier eine höhere. Nr. 16 entspricht einer Manchester-Type der Maschinenfabrik Oerlikon, und Nr. 17 und 18 sind ausgeführten Maschinen der E. G. Alioth, Münchenstein, entnommen.

Erwähnt mag noch werden, daß der Zapfendruck, welcher dem Ankergewichte entspricht, durch magnetischen Zug aufgehoben werden kann. Zu dem Zwecke wird der Anker exzentrisch gelagert und näher an die oben liegenden Pole gebracht. Für Reihenschaltung und Reihen-Parallelschaltung ist das zulässig, weil eine ungleiche Stärke der magnetischen Felder ohne Einfluß auf die in den einzelnen Ankerstromzweigen induzierte Spannung ist.

Für Wellen, deren Lagerentfernung im Verhältnisse zum Durchmesser groß wird, muß die Durchbiegung der Welle und der magnetische Zug berücksichtigt werden. Man kann überhaupt allgemein derart verfahren, daß man eine Welle für eine bestimmte Durchbiegung, die vom Ankerdurchmesser und einer additionellen Konstanten abhängig gemacht ist, berechnet; denn die zulässige Durchbiegung darf um so größer werden, je

größer der Ankerdurchmesser bzw. je größer der Abstand zwischen Pol und Ankereisen wird.

Man setzt die zulässige Durchbiegung

$$f = a + bD,$$

worin  $a$  und  $b$  Constante bedeuten, und berechnet den Wellendurchmesser  $d_m$  für diese Durchbiegung  $f$ . Als biegende Kräfte sind das Ankergewicht und der totale Riemenzug einzuführen.

**Der Ankerstern.** Der Ankerstern oder die Ankerbüchse dient zum Zusammenpressen der Ankerbleche und vermittelt die Verbindung derselben mit der Welle.

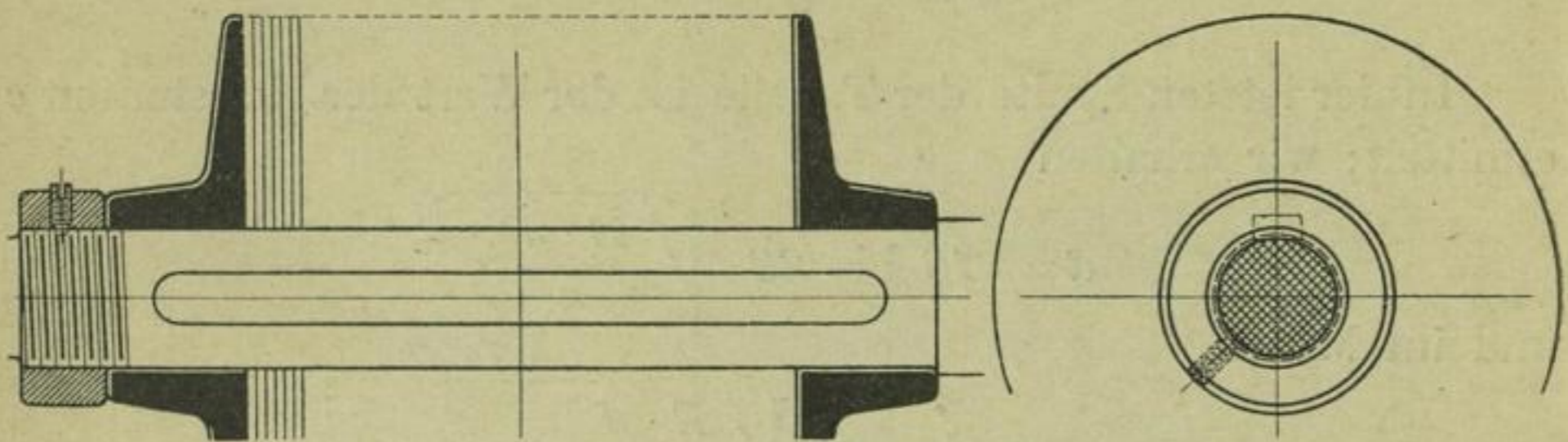


Fig. 169.

Bei kleinen Trommelankern ist es zweckmäßig, die Bohrung der Ankerbleche gleich dem Durchmesser der Welle zu machen, wie in Fig. 169 dargestellt ist; bei einem gegebenen Ankerdurchmesser wird so der größte Eisenquerschnitt erreicht. Der Anker-

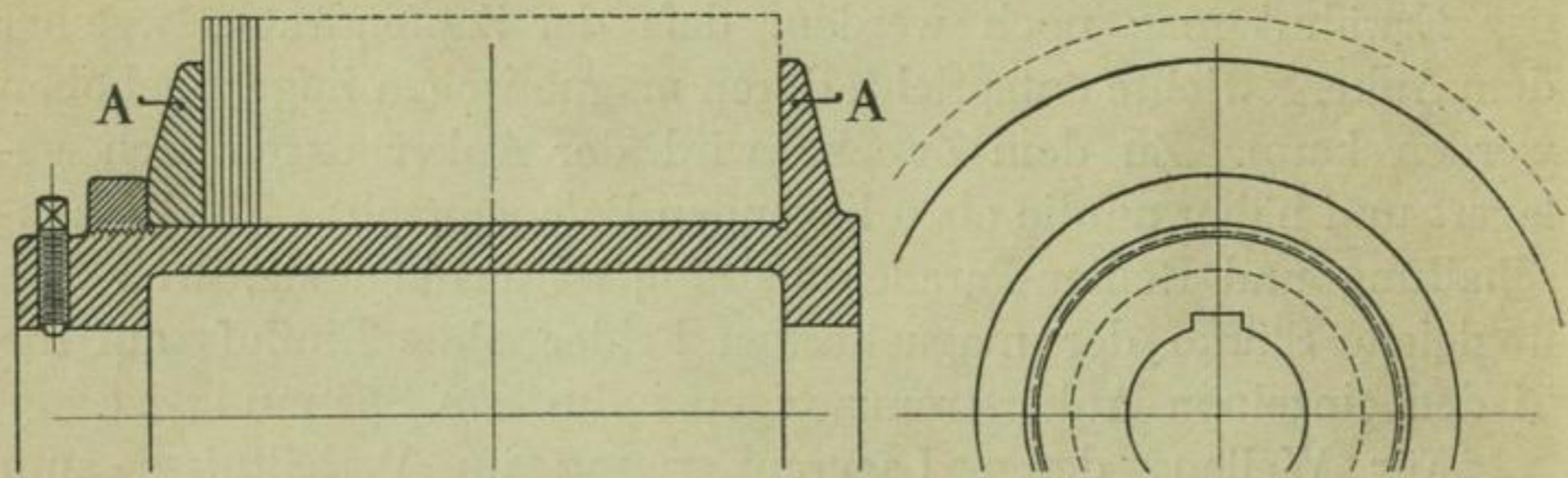


Fig. 170.

stern besteht in diesem Falle nur noch aus den beiden Endscheiben, welche aus Eisen oder Bronze hergestellt werden können.

Wird die Bohrung der Bleche größer als der Wellendurchmesser, so erhält man zunächst eine Ankerbüchse. In den Fig. 170

und 171 sind verschiedene Konstruktionen für Trommelanker dargestellt. Die Bleche werden durch Schraubenmutter, welche auf der gemeinsamen Ankerbüchse sitzen, zusammengepresst. In Fig. 171 ist auf jeder Rippe eine halbkreisförmige Nut ausgefräst, und in den Armaturblechen eine solche ausgestanzt. Die eingelegten Rundkeile aus Stahl oder Siliciumbronze dienen bei dem

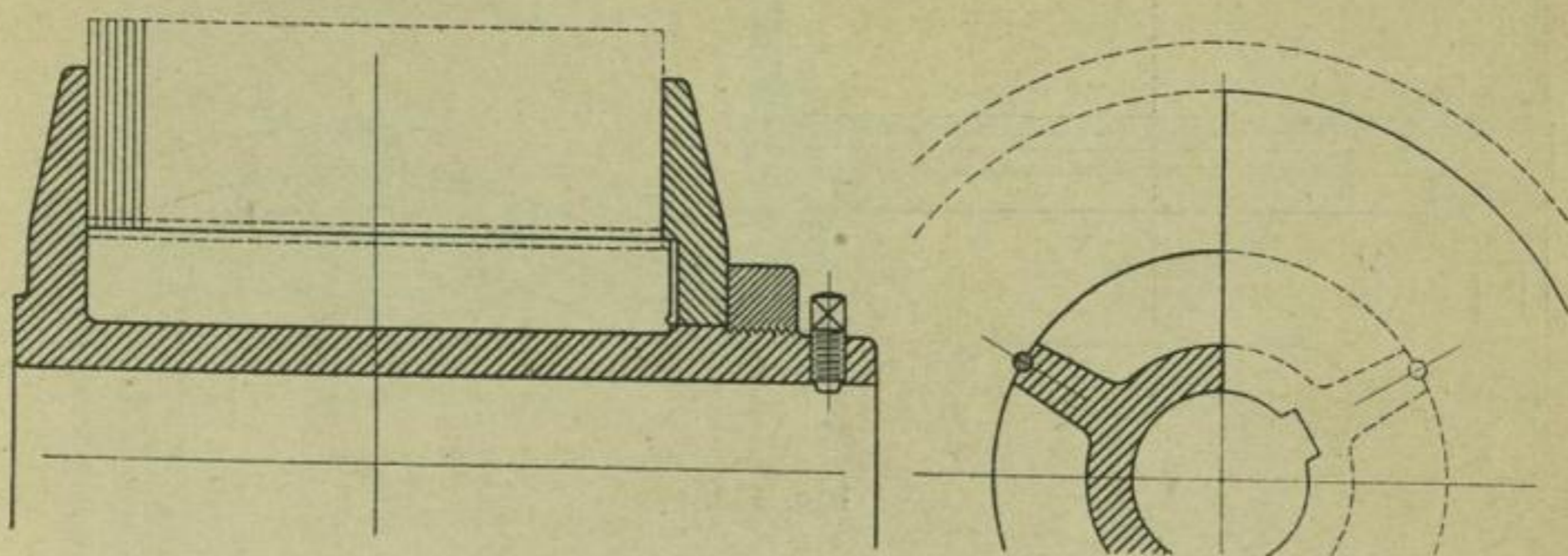


Fig. 171.

Zusammensetzen der Bleche als Führung und sichern dieselben gegen Drehung. Eine zweiteilige Ankerbüchse, deren Teile durch gegeneinander versetzte Zacken ineinandergreifen und durch eine auf der Welle sitzende Schraubenmutter zusammengepresst werden, ist dem in Fig. 256 dargestellten Anker zu entnehmen.

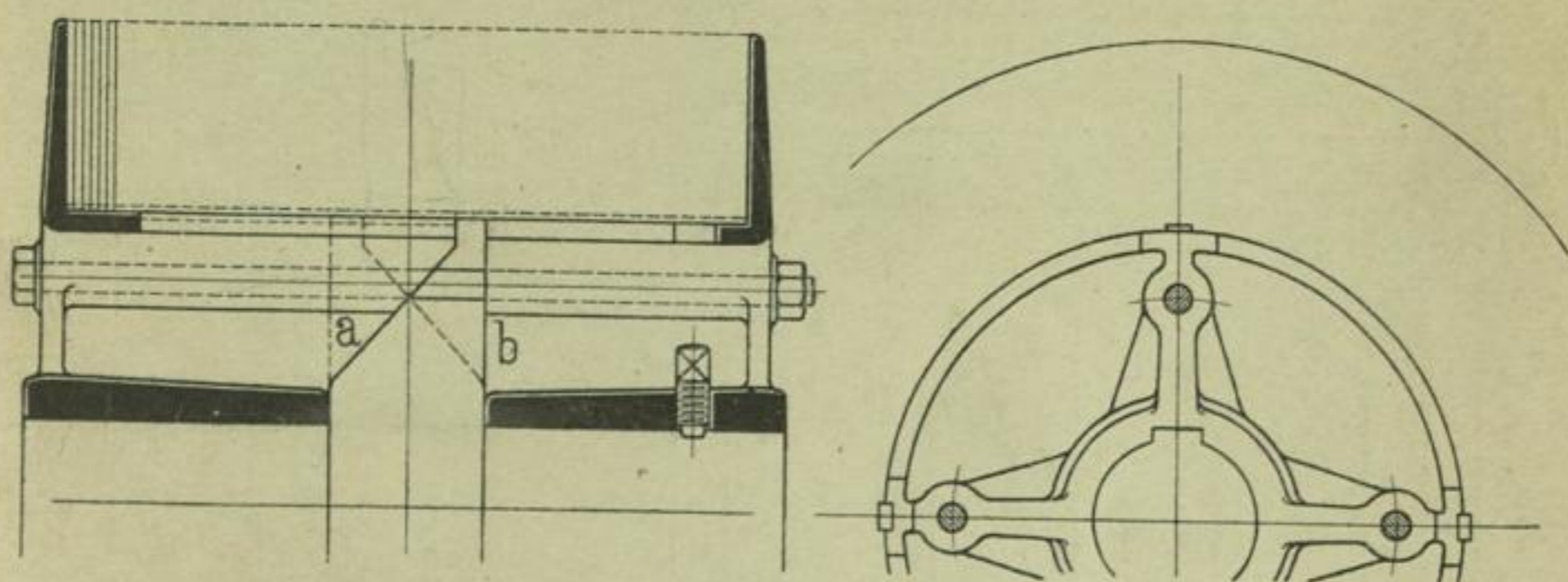


Fig. 172.

In Fig. 172 ist eine von der Maschinenfabrik Oerlikon vielfach angewandte Konstruktion dargestellt. Der Ankerstern besteht aus zwei gleichen, um eine Armteilung gegeneinander versetzten Teilen, mit abwechselnd kurzen und langen Armen oder Rippen *a* und *b*. Einem langen Arme *a* steht dann ein kurzer

Arm *b* gegenüber, und bei der nächsten Armteilung gehört zu einem kurzen Arme auf der *a*-Seite ein langer Arm auf der *b*-Seite; die letztere Stelle ist punktiert angedeutet. Auf diese Weise wird

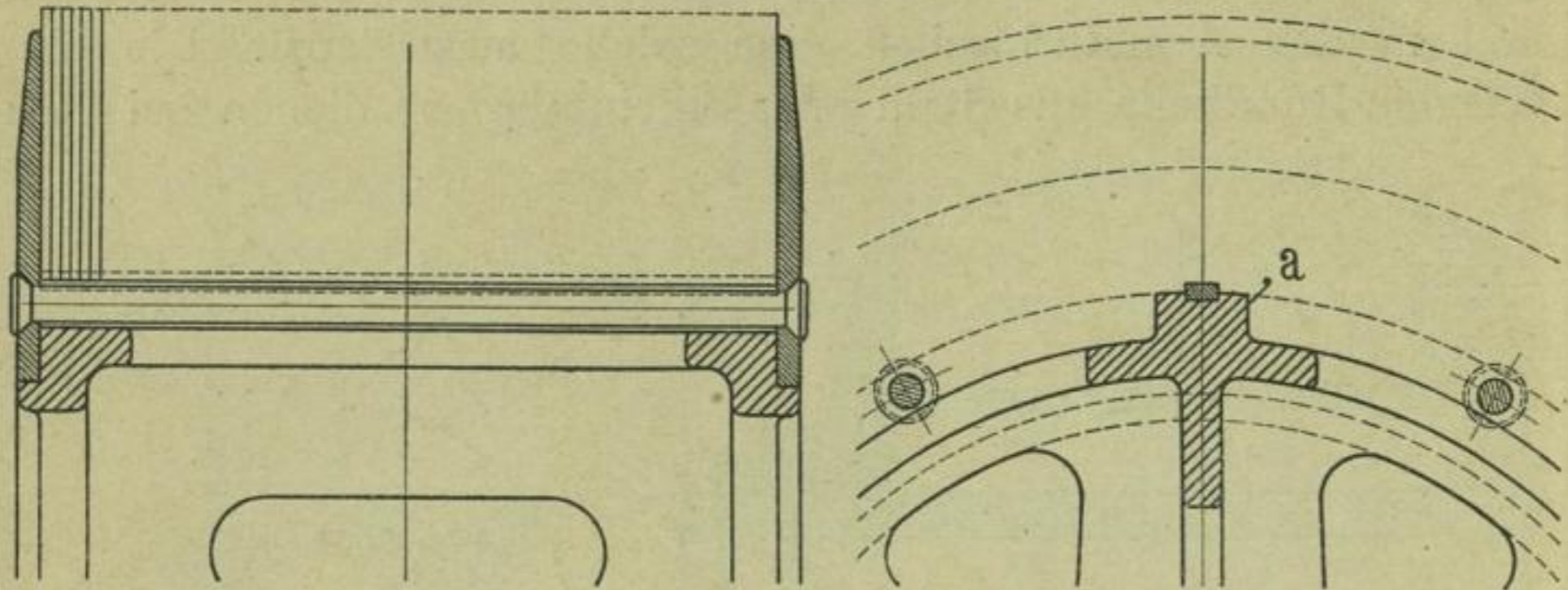


Fig. 173.

eine gute Führung der Bleche erreicht, auch wenn dieselben noch nicht zusammengepreßt sind. Das Zusammenpressen erfolgt mittels

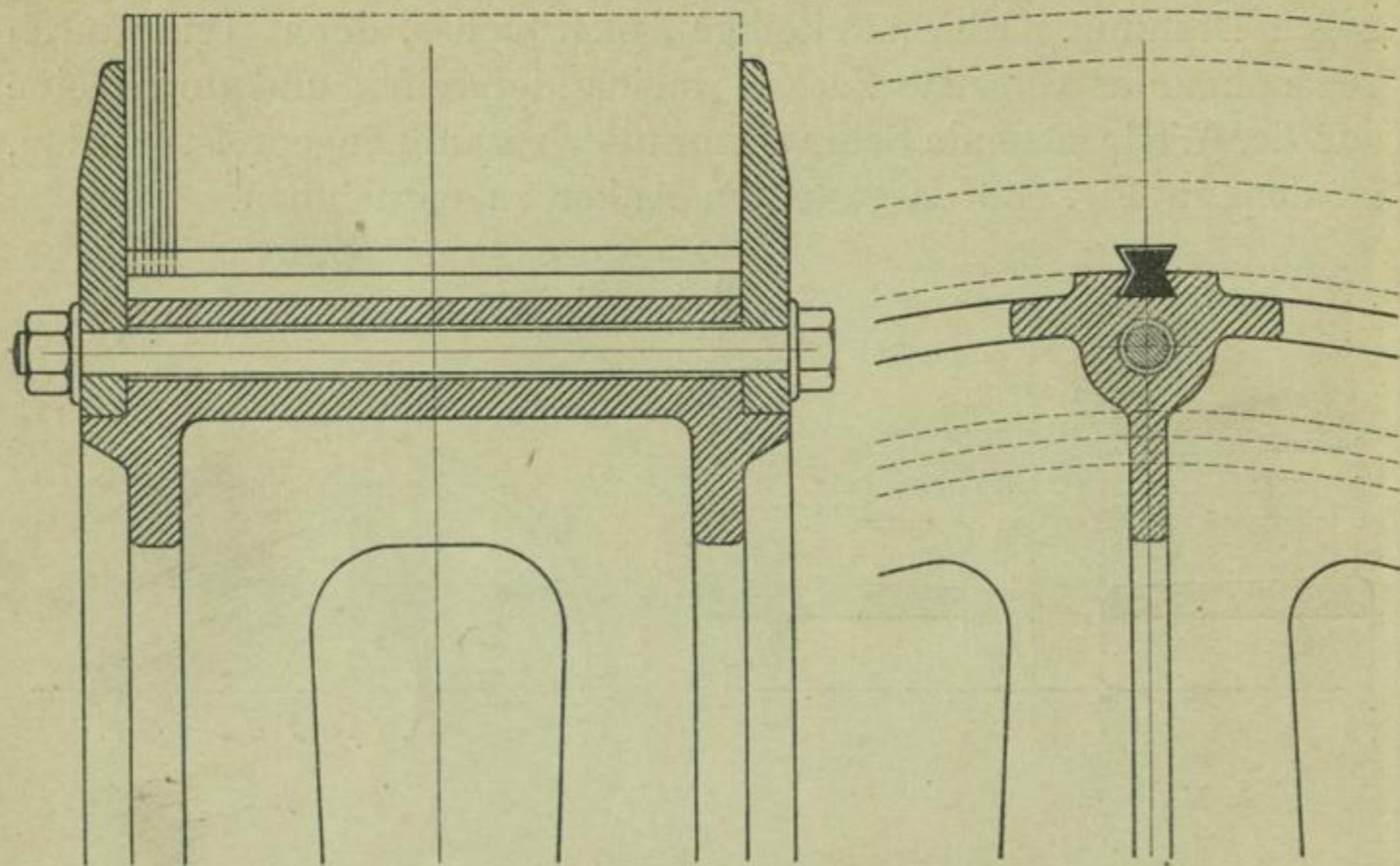


Fig. 174.

besonderer Schrauben, oder bei kleineren Ankeren (Fig. 256) durch eine auf der Welle sitzende Schraubenmutter. Diese Konstruktion eignet sich sowohl für Ring- als für Trommelanker; im ersteren



Falle ist der Stern aus Bronze herzustellen, für Trommelanker kann Gufseisen genommen werden.

Einem Trommelanker der E. G. Alioth in Basel ist die in der Fig. 173 abgebildete Konstruktion entnommen. Der Ankerstern besteht aus Gufseisen, die Bleche ruhen auf vorstehenden Rippen *a* derselben auf und werden durch Niete und starke seitliche

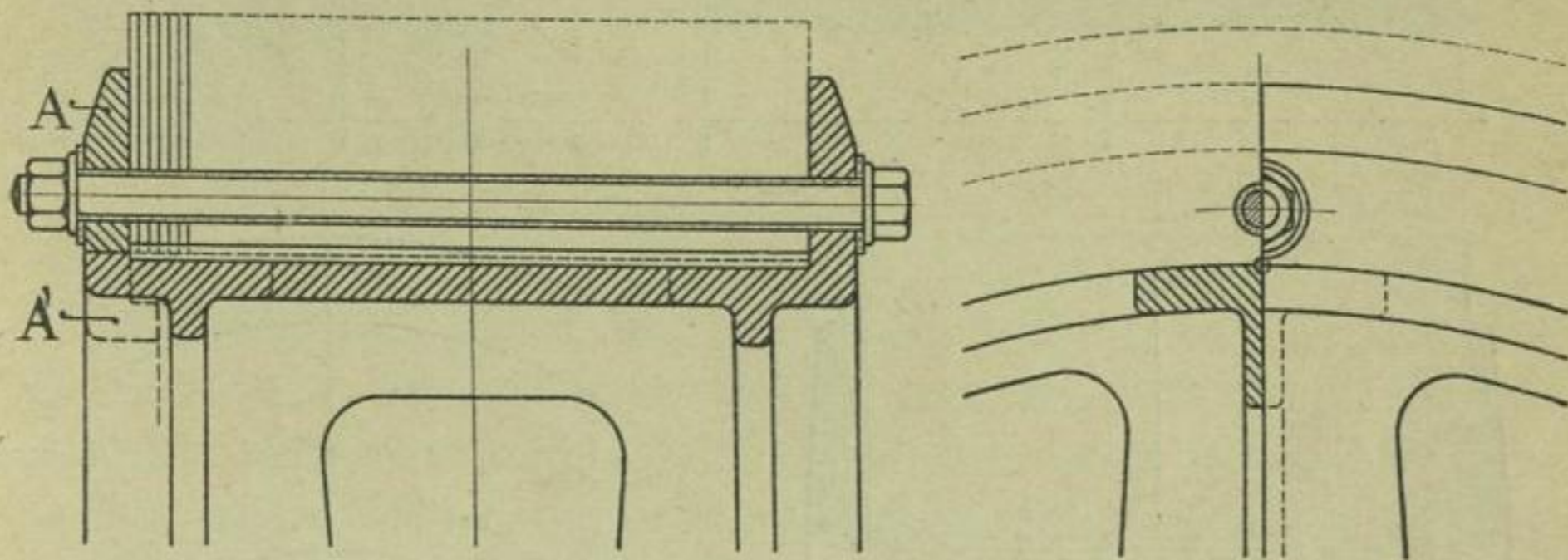


Fig. 175.

Eisenbleche zusammengehalten und durch Keile gegen Drehung gesichert. — In Fig. 174 greift der Keil schwalbenschwanzförmig in den Ankerstern und in die Ankerbleche ein, so daß letztere nicht nur gegen Drehung, sondern auch in radialer Richtung gehalten werden. Diese Befestigungsart ist dann am Platze, wenn die Blechringe aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt sind.

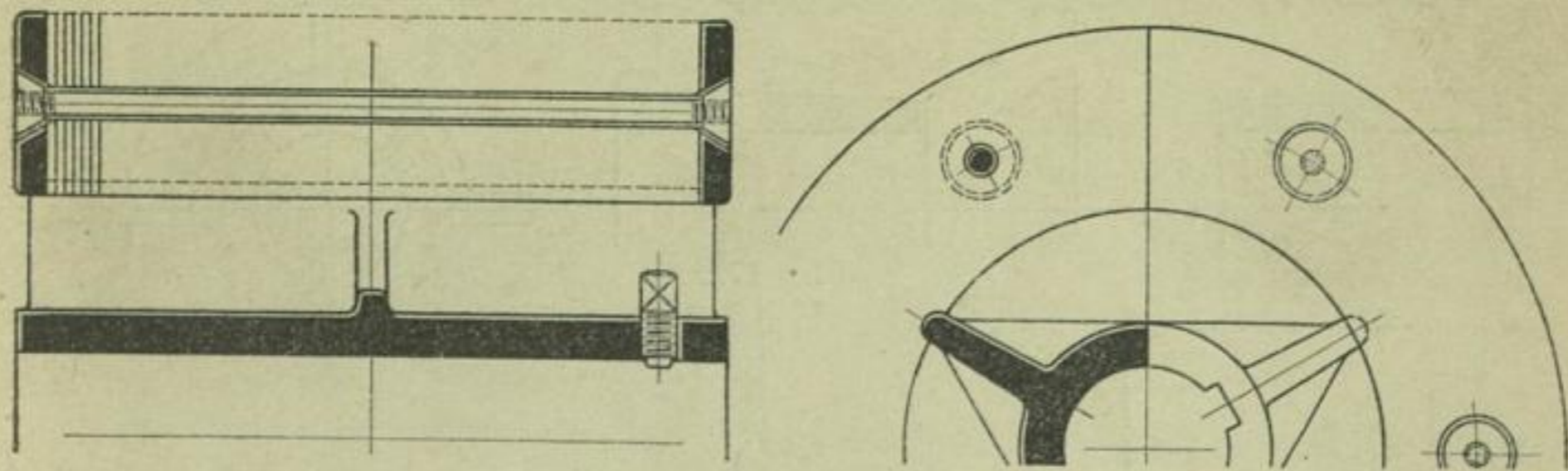


Fig. 176.

Die Ankerbleche können zu gewöhnlichen Preisen bis zu 1 m und zu etwas erhöhten Preisen bis zu 1,2 m Breite bezogen werden. Es ist daher nur bis zu einem Durchmesser von 1,2 m möglich, die Ankerbleche aus einem Stücke herzustellen. Übersteigt der Armaturdurchmesser dieses Maß, so müssen die Ringe aus Segmenten zusammengesetzt werden. Das geschieht meistens

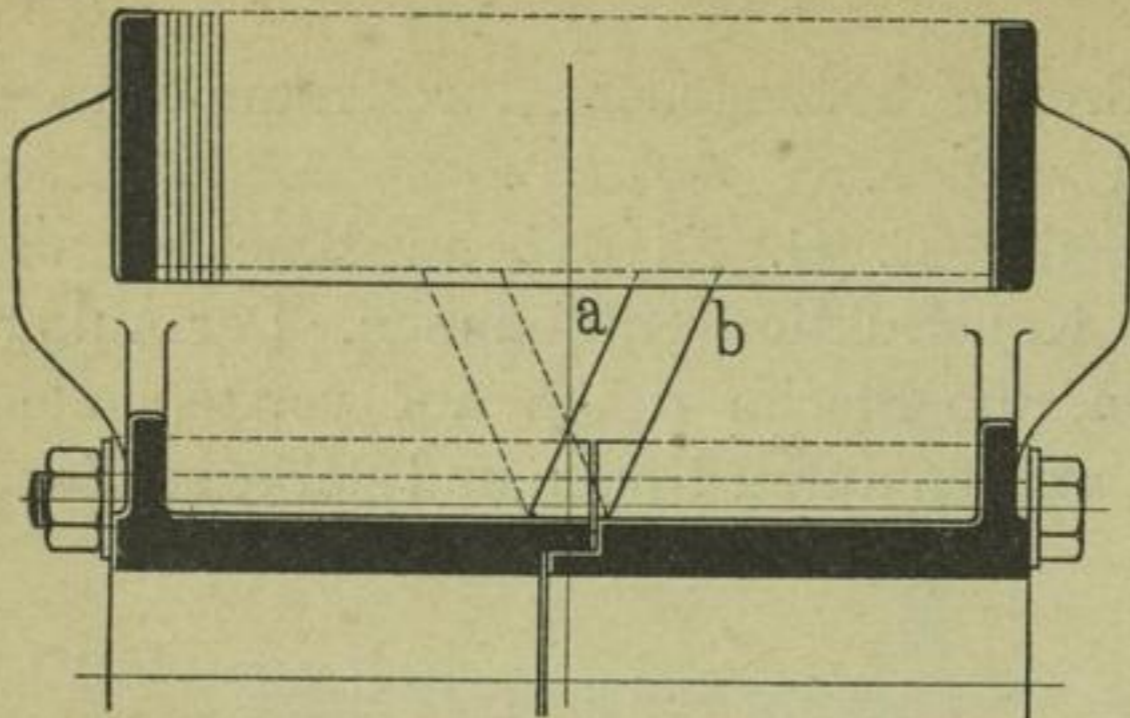


Fig. 177.

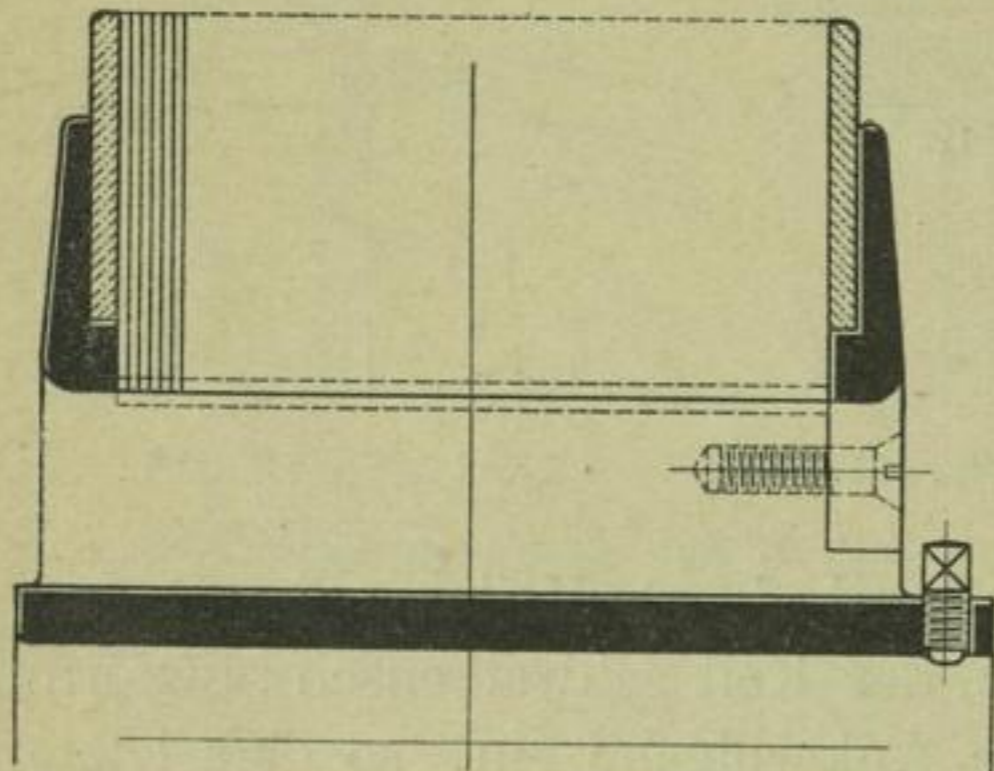


Fig. 178.

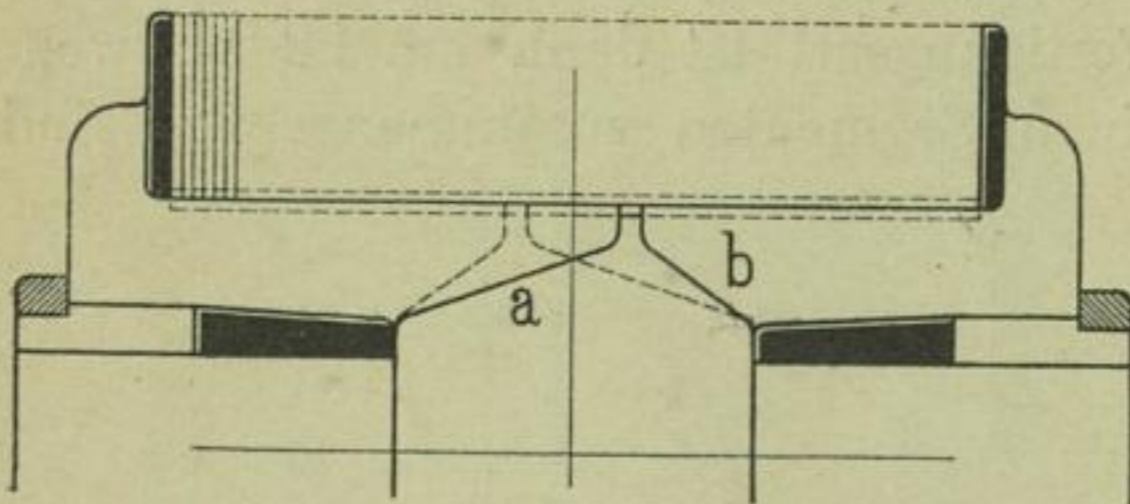


Fig. 179.

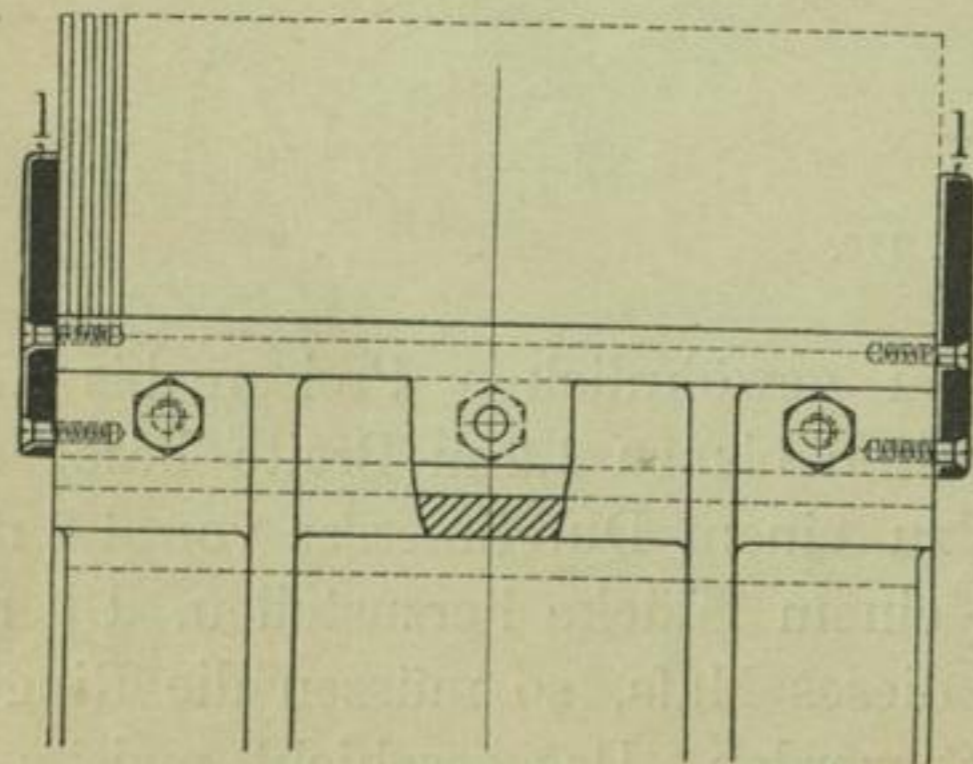


Fig. 180.

schon für kleinere Durchmesser, weil dadurch eine bessere Ausnützung der Blechtafeln erreicht wird.

Die einzelnen Segmente können durch Löten zu einem Ringe vereinigt werden. Diese Methode hat den Nachteil, daß die Lötstellen, obwohl dieselben bei dem Zusammensetzen des Ankerkernes gegeneinander versetzt werden, verhältnismäßig viel Raum einnehmen, so daß die Zahl der Blechringe, welche bei gegebener Armaturbreite untergebracht werden können, um ca. 10% vermindert wird.

Dieser Nachteil wird vermieden, wenn die einzelnen Segmente einfach stumpf gegeneinander stoßen. Um dem Armaturkerne die nötige Festigkeit gegen die Centrifugalkraft zu geben, werden die Stoszfugen benachbarter Bleche gegeneinander versetzt, und sämtliche Bleche mittels isolierter Niete oder Schrauben und starker Endscheiben aus Eisen oder Bronze zusammengehalten.

Für größere Armaturen, insbesondere für solche mit horizontaler Welle, und zwar einerlei, ob der Armaturkern aus verlöteten oder losen Segmenten zusammengesetzt ist, ist es erforderlich, daß der Kern auch in radialer Richtung fest mit dem Ankersterne verbunden wird, sonst ist ein Loswerden des Kernes während des Betriebes zu befürchten.

In Fig. 175 ist eine Konstruktion dargestellt, welche dieser Anforderung entspricht. Die einzelnen Blechsegmente werden durch die isolierten Schrauben sowohl zusammengepreßt, als auch fest mit dem Ankersterne verbunden. Die Zahl der Schrauben muß so groß sein, daß jedes Segment mindestens durch zwei Schrauben gehalten wird. Will man sich nicht auf die Steifigkeit des Ringes *A* verlassen, oder besteht derselbe aus zwei oder mehr Teilen, so kann die punktiert angedeutete Konstruktion *A'* gewählt werden.

In den bis jetzt angeführten Konstruktionen ist angenommen worden, daß der Armaturstern aus Gufseisen besteht; für Trommelanker ist das zulässig, aber nicht für Ringanker.

Bei Ringankerwicklung erzeugen die Armaturdrähte im Innern des Ringes ein stehendes magnetisches Feld, dessen Stellung nur von der Lage der Schleifbürsten abhängt. Um die Intensität dieses Feldes und damit den Verlust durch Wirbelströme, welche bei der Rotation des Armatursternes in diesem magnetischen Felde entstehen, zu vermindern, muß der Armaturstern aus einem nicht

magnetischen Metalle, am besten aus Bronze oder Messinggufs, hergestellt werden.

In den Fig. 176 bis 179 sind verschiedene Konstruktionen von Ankersternen für Ringanker dargestellt. Das Befestigen der Armaturbleche mit dem Armatursterne gegen Verdrehung geschieht in Fig. 176 und 177 durch direktes Eingreifen des Sternes in ausgestanzte Nuten der Bleche, in Fig. 178 durch Flachkeile und in Fig. 179 durch Rundkeile.

Die Bauart der Armatursterne Fig. 177 und Fig. 179 ist ähnlich der durch Fig. 172 dargestellten und dort beschriebenen Konstruktion.

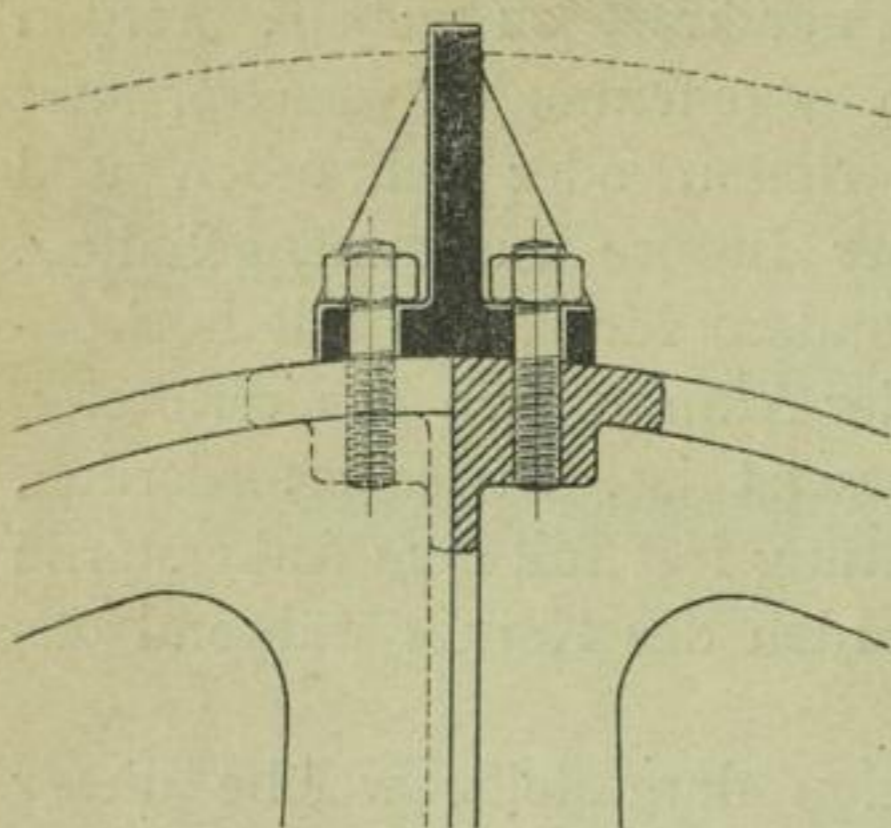


Fig. 181.

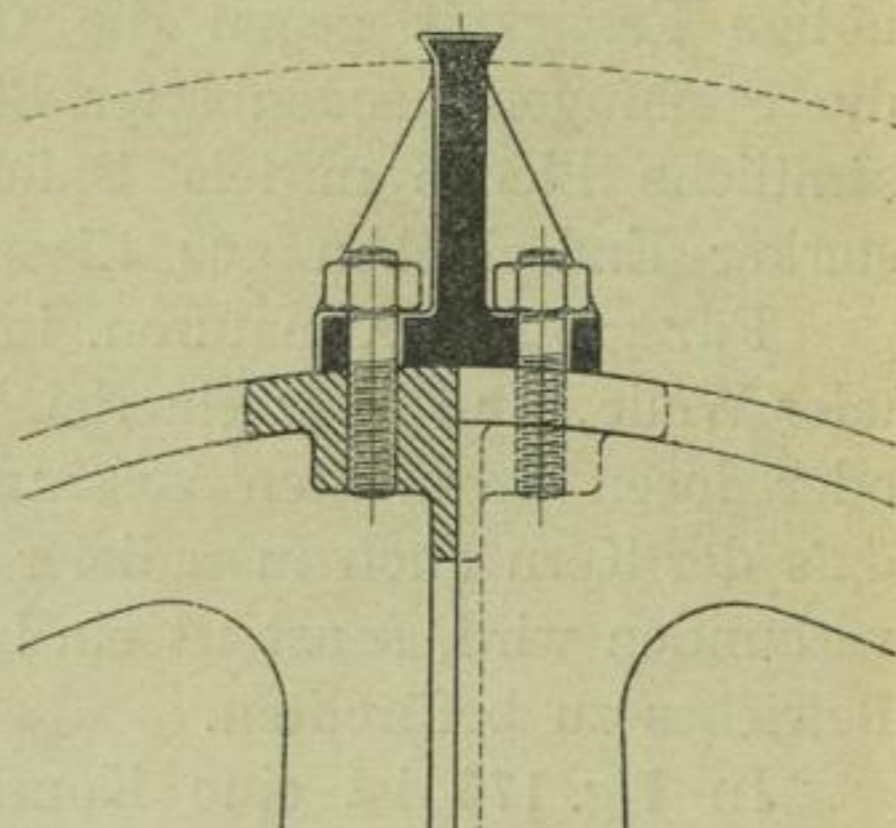


Fig. 182

Die Konstruktion Fig. 179 wird von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co. bei kleineren Dynamos angewandt; die beiden Hälften des Sternes werden durch schmiedeeiserne Schwindrings auf der Welle sowohl gegen Drehung als seitliche Verschiebung festgehalten.

Für große Ankerdurchmesser würde die Herstellung des Sternes aus Bronze teuer ausfallen. Da eine Entfernung des inneren Teiles der Ringwicklung vom Gufseisen des Sternes von 80 bis 100 mm genügt, so kann für große Durchmesser der auf der Welle sitzende Teil des Sternes aus Gufseisen hergestellt werden. Auf den gufseisernen Teil werden dann die Bronzeteile, welche den Ankerkern tragen, befestigt.

In Fig. 180 ist zunächst eine von der A. G. E. vorm. Kummer & Co herrührende Konstruktion abgebildet; die Bronzeleisten, welche den Ankerkern stützen, sind hier in einfacher Art

zwischen die gegabelten gufseisernen Arme des Sternes eingeklemmt und verschraubt. Aufgeschraubte schmale Leisten  $l, l$  hindern den Ankerkern an seitlicher Verschiebung. — In den Fig. 181 und 182 sind die Bronzeleisten auf den gufseisernen Stern aufgeschraubt und in Fig. 183 aufgegossen.

Weitere Details über die Konstruktion von Armatursternen sind in den später folgenden Ankerkonstruktionen zu finden.

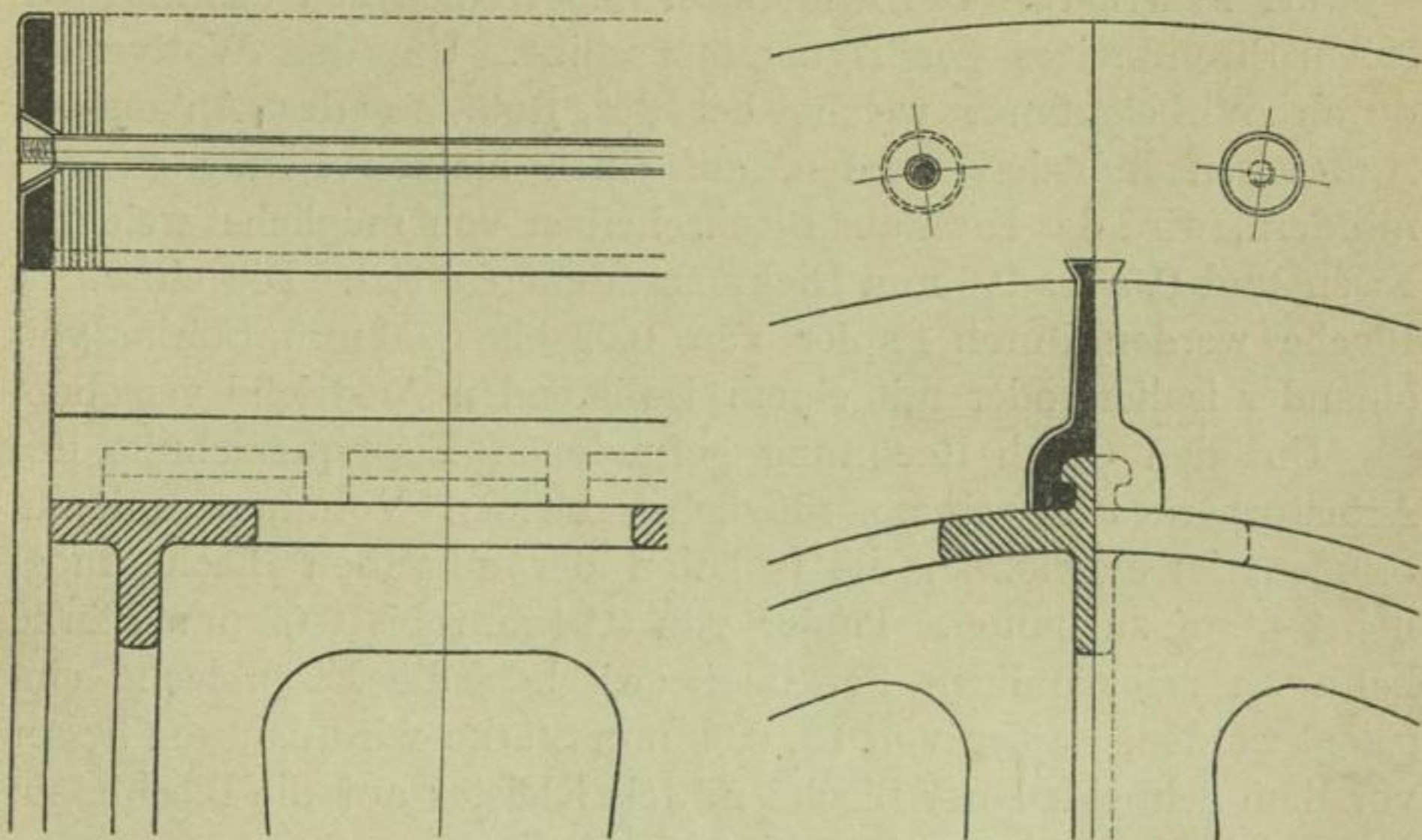


Fig. 183.

**Die Berechnung der Speichen des Ankersternes.** Die Speichen oder Arme des Ankersternes werden durch die am Umfange des Ankers wirkenden Kräfte auf Biegung beansprucht. Ist  $L$  die Länge einer Speiche in mm, vom Mittelpunkt der Armatur aus gemessen, und  $A$  die Anzahl der Speichen,  $n$  die Tourenzahl des Ankers und  $N$  die Zahl der verbrauchten oder geleisteten Pferdestärken, so ist die Kraft  $K$ , welche die Speiche auf Biegung beansprucht

$$K = \frac{716200}{A} \frac{N}{n \cdot L} \text{ kg.}$$

Ist ferner  $l$  die Länge der Speiche bis zur Nabe, oder allgemein die Länge des Hebelarmes, welcher für die Biegung in Betracht kommt,  $W$  das Widerstandsmoment des Speichenquerschnittes und  $S_b$  die zulässige Beanspruchung des Materials auf Biegung pro qmm, so folgt

$$K \cdot l = W \cdot S_b.$$

In den meisten Fällen wird aus Herstellungsrücksichten der Speichenquerschnitt so groß, daß die Beanspruchung  $S_b$  sehr klein ausfällt.

Für Gufseisen soll

$$S_b \leq 0,5 \text{ bis } 1,0 \text{ kg}$$

sein und für Messinggufs

$$S_b \leq 1,0 \text{ bis } 1,5 \text{ kg.}$$

**Der Ankerkern.** Der Ankerkern bildet einen Teil des magnetischen Stromkreises der Dynamomaschine. Um den Wattverlust durch Wirbelströme, welche bei der Rotation des Ankers im Ankereisen induziert werden, auf einen kleinen Betrag zu vermindern, wird der Kern aus Blechscheiben von möglichst weichem Eisen und 0,5 bis 0,6 mm Dicke zusammengesetzt. Die einzelnen Bleche werden durch Papier von 0,02 bis 0,06 mm Stärke von einander isoliert oder mit einem isolierenden Anstriche versehen.

Um den durch Rechnung gefundenen Eisenquerschnitt des Armaturkernes in einem möglichst kleinen Volumen unterzubringen, ist es wichtig, die Isolation der einzelnen Bleche möglichst dünn zu halten. Papier von 0,04 mm bis 0,06 mm Stärke kann in selbständigen Scheiben zwischen die Eisenbleche eingelegt werden, Papier von ca. 0,02 mm Stärke wird dagegen besser vor dem Schneiden der Bleche mittels Kleister auf die Blechtafeln festgeklebt, wozu besondere Maschinen dienen.

Ein Isolieren der Bleche von dem Armatursterne ist nicht erforderlich. Die Art und Weise, wie ein Ankerkern aus einzelnen Blechsegmenten zusammengesetzt wird, ist bei Besprechung der Ankersterne beschrieben worden.

Um ein Erwärmen der Endplatten, welche den Armaturkern zu beiden Seiten abschließen, durch Wirbelströme zu vermeiden, werden dieselben, wie z. B. in den Fig. 169 und 183 angegeben, aus Bronze hergestellt, oder man macht den Durchmesser derselben ( $A, A$  in Fig. 170 und 174) kleiner als den Durchmesser des Ankerkernes und zugleich die Polbreite etwas kürzer als die Breite des Ankerkernes. Die Endbleche des Kernes werden in diesem Falle etwas stärker, etwa 2 bis 5 mm dick, gewählt.

Ein starkes Endblech oder eine gegossene Endplatte ist namentlich bei Nutenankern erforderlich, um bei dem Fräsen der Nuten den vorstehenden Zähnen den nötigen Halt zu geben und um ein gutes Abrunden der Kanten der Nuten zu ermöglichen.

Durch das Abdrehen der Armatur und das Fräsen der Nuten wird die Isolation zwischen den benachbarten Blechen am äußeren Rande derselben leicht zerstört, so daß die ganze Armatur als mit einem sehr dünnen, siebartig durchlöcherten Eisenmantel bedeckt angesehen werden kann. Der Wattverlust, welcher bei der Rotation eines solchen Eisencylinders im magnetischen Felde entsteht, wird nicht erheblich ausfallen; es soll aber doch auf ein sauberes Abdrehen und Fräsen Wert gelegt werden; stumpfe Fräsen und Drehstähle würden eine bedeutende Erhöhung des Wattverlustes verursachen.

**Die Abkühlungsfläche und die Erwärmung des Ankers.** Soll die Temperatur des Ankers infolge der Erwärmung durch Hysterisis und Wirbelströme und infolge des Verlustes im Kupfer der Wicklung gewisse Grenzen nicht überschreiten, so muß die Abkühlungsfläche der Armatur in einem gewissen Verhältnisse zu der Wärmezeugung des Ankers stehen. Man kann, ohne die Isolation des Ankers zu gefährden, eine Temperatur des Ankers von 65 bis 70° C. und bei Glimmerisolation eine noch höhere Temperatur zulassen. Im allgemeinen stellt man die Bedingung, daß die Temperaturzunahme über die umgebende Lufttemperatur, nach etwa sechsstündigem Betriebe mit Vollbelastung, 35 bis 45° C. nicht überschreiten soll. Die englische Admiralität gestattet sogar, allerdings mit Rücksicht auf die hohe Lufttemperatur in den Schiffsräumen, eine Temperaturerhöhung von nur 70° F. oder 21° C.

Für eine bestimmte Abkühlungsfläche und eine als zulässig gegebene Temperaturzunahme kann die Wärmezeugung oder der Wattverlust des Ankers um so größer werden, je besser die Abkühlungsfläche und je größer die Umfangsgeschwindigkeit desselben ist. Nackte und rauhe Flächen des Ankerkernes, die weder durch die Wicklung, noch durch Isolation bedeckt sind, gehören zu den besten Abkühlungsflächen, wie z. B. die innere Fläche des Kernes eines Trommelankers, sofern eine gute Luftcirculation hier möglich ist, oder die Seitenflächen von Trommelankern mit Mantelwicklung (Fig. 304); vollständig bewickelte Ringanker erschweren dagegen die Abkühlung des Eisenkernes.

Wenn die Armaturwicklung so gestaltet ist, daß die Luft zwischen die Windungen treten kann, wie das z. B. bei Stabankern vorkommt, so wird die Abkühlung sehr begünstigt.

Der Einfluss der Umfangsgeschwindigkeit auf die Abkühlung ist von der Konstruktion des Ankerkörpers, der Konstruktion der Wicklung und der Anordnung der Magnetpole abhängig.

Die Temperaturzunahme des Ankers hängt auch von der Lüftung des Raumes ab, in welchem die Dynamo aufgestellt ist. In einem gut gelüfteten Raume wird dem Anker kühle Luft zuströmen, und da die Wärme durch Leitung besser abgeführt wird, als durch Strahlung, so wird bei beständiger Lufterneuerung ein kleineres Temperaturgefälle nötig sein, um die erzeugte Wärme fortzuleiten.

Als Abkühlungsflächen gelten bei kleinen Trommel- und Ringankern die Fläche des Cylindermantels ( $\pi D l$ ) und die beiden Seitenflächen  $\left(\frac{\pi}{2} D^2\right)$ . Bei größeren Ankern, und namentlich bei Ringankern, wird ausser der Fläche des Cylindermantels ( $\pi D l$ ) der Inhalt der seitlichen Ringflächen  $\frac{\pi}{2} (D^2 - D_1^2)$  und von der cylindrischen Innenfläche des Ankers ( $\pi D_1 l$ ) die Hälfte oder bei guter Lüftung die ganze Innenfläche als Abkühlungsfläche gerechnet.

Bezeichnen wir die so berechnete Abkühlungsfläche in qcm. mit  $A$ , den totalen Wattverlust des Ankers, d. h. den Verlust im Kupfer der Wicklung, und die Verluste durch Hysterese und Wirbelströme im Eisen mit  $W$ , und mit  $v$  die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers in Meter pro Sek., so lässt sich die Temperaturzunahme ( $T$ ) des Ankers annähernd durch die Formel

$$T = \frac{a \cdot W}{A (1 + b v)} \quad (a)$$

ausdrücken. Die Konstanten  $a$  und  $b$  hängen von der Bauart des Magnetfeldes und der Armatur ab und sind für jede Maschinentype besonders zu bestimmen.<sup>1)</sup>

Der ungefähre Wert der Konstanten  $a$  und  $b$  lässt sich auf folgende Weise ermitteln. Für ruhende Spulen ( $v = 0$ ), z. B. für die Magnetspulen, kann die Temperaturzunahme in Celsiusgraden

<sup>1)</sup> E. Wilson fand durch Versuche für zweipolige Trommelanker, deren Länge nicht kleiner als der Durchmesser bei Messung der Temperatur mittels Thermometer  $a = 485$ ,  $b = 0,238$  und bei Berechnung der Temperatur aus der Widerstandszunahme  $a = 640$ ,  $b = 0,18$  (E. T. Z. 1895 S. 712).



$$T = \frac{280 W}{A} \text{ bis } \frac{300 W}{A} \quad (\text{b})$$

gesetzt werden. Die Konstante  $a$  wäre somit gleich 280 bis 300. Ferner genügt für eine Temperaturzunahme von  $35^\circ \text{C}$ . erfahrungsgemäß bei Ring- und Trommelankern mit ca. 15 m Umfangsgeschwindigkeit eine Abkühlungsfläche von 3 bis 4 qcm pro 1 Watt.

Wählen wir  $a = 300$ ,  $\frac{A}{W} = 3,5$  und  $v = 15$ , so finden wir  $b = 0,1$  und

$$T = \frac{300 W}{A(1 + 0,1v)} \quad (\text{c})$$

$W$  bedeutet den totalen Verlust in Watt im Kupfer und im Eisen des Ankers bei Vollbelastung.

Bezeichnet

$W_h$  den Wattverlust durch Hysteresis im Ankereisen in Watt pro ccm,

$W_w$  den Wattverlust durch Wirbelströme im Ankereisen in Watt pro ccm,

$d$  die Stärke der Ankerbleche in cm,

$p$  die Zahl der Polpaare,

$n$  die Umdrehungszahl pro Minute,

$B_a$  die Induktion im Ankereisen (Linien pro qcm),

$V$  das Eisenvolumen des Ankers in ccm,

$R$  den Widerstand der Ankerwicklung,

$J$  die Stromstärke der Dynamo,

so werden die Verluste  $W_h$  und  $W_w$  gewöhnlich aus den Formeln berechnet

$$W_h = 10^{-7} \cdot \eta \cdot \left(\frac{pn}{60}\right) \cdot B_a^{1,6} \quad (\text{d})$$

$$W_w = 10^{-11} \cdot 1,645 \cdot d^2 \cdot \left(\frac{pn}{60}\right)^2 \cdot B_a^2 \quad (\text{e})$$

$$W = RJ^2 + (W_h + W_w) \cdot V. \quad (\text{f})$$

Die beobachteten Werte<sup>1)</sup> des Koeffizienten  $\eta$  bewegen sich zwischen den Grenzen 0,00124 und 0,00694. Für mittelwertiges Eisen, wie dasselbe im Dynamobau viel verwendet wird, ist  $\eta = 0,003$  bis 0,0033.

Der aus der Formel e) berechnete Wirbelstromverlust wird für die geringen Periodenzahlen  $\left(\frac{pn}{60}\right)$  der Gleichstromdynamos im

<sup>1)</sup> C. P. Steinmetz, E.T.Z., 1895, S. 624. R. M. Friese, ebenda, S. 669. Arnold, Ankerwicklungen, 2. Aufl.

Verhältnis zu den übrigen Verlusten so gering, daß der so berechnete Verlust nicht berücksichtigt zu werden braucht.

Anders gestaltet sich das Verhältnis, wenn die Verluste durch das Experiment bestimmt werden. Der Verlust  $(W_h + W_w) \cdot V$  ist gleich der Differenz der Leerlaufarbeiten bei erregter und nicht erregter Dynamo. — Für mehrere größere Dynamos mit glatten und genuteten Ankern, deren Leerlaufarbeiten mir bekannt sind, habe ich gefunden, daß der wirkliche Wattverlust durch Hysterese und Wirbelströme für Werte von  $B_a$  zwischen 8000 und 18000 von dem 2,5fachen bis zum 4,5fachen Werte desjenigen Verluste  $W_h$  ansteigt, den die Formel d) ergibt, wenn für  $\eta$  der Wert 0,003 gewählt wird.

Um annähernd die richtige Temperaturzunahme des Ankers zu erhalten, muß demnach in die Formel c) für den gesamten Wattverlust  $W$  ein Wert eingesetzt werden, der zu berechnen ist mit

$$W = RJ^2 + 2,5 W_h \cdot V$$

$$\text{bis} = RJ^2 + 4,5 W_h \cdot V.$$

Die Wirbelstromverluste müssen demnach bedeutend größer sein, als die aus Formel e) berechneten, welche, wie oben angegeben, vernachlässigbare kleine Werte ergibt. — Um die Abhängigkeit des Verlustes  $W_w$  von der Induktion im Luftraume zwischen Pol und Anker, von der Induktion  $B_a$  im Ankereisen, der Periodenzahl und der Blechdicke  $d$  zu ermitteln, müßte der Verlust  $(W_h + W_w) \cdot V$  mit Eisensorten, für welche der Koeffizient  $\eta$  bzw.  $W_h$  bekannt ist, unter verschiedenen Bedingungen experimentell ermittelt werden. Der Verlust  $W_w \cdot V$  wird nicht nur von der Bauart des Ankerkörpers von der Größe der bearbeiteten Flächen, sondern auch von der Art der Ankerwicklung abhängen.

Für eine bestimmte Maschinentype kann die Abhängigkeit des wirklichen Wattverlustes von der Periodenzahl und der Induktion im Ankereisen durch Experimente mit verschiedenen Größen dieser Type leicht ermittelt und graphisch dargestellt werden.

Die Vorausberechnung der Temperaturzunahme läßt sich nur dann mit einiger Genauigkeit durchführen, wenn die in den gegebenen Formeln enthaltenen Konstanten, für die zu bauende Maschinentype bekannt sind.

Auf die Konstruktion des Ankers kann die geforderte Abkühlungsfläche einen wesentlichen Einfluß ausüben. Ist die Tourenzahl im Verhältnis zur Leistung des Ankers sehr hoch, so

wird die Beschaffung der nötigen Abkühlungsfläche Schwierigkeiten bereiten. Die Trommelanker mit Mantelwicklung (Fig. 304 und 309) bieten in dieser Hinsicht eine günstige Anordnung.

Einige Konstrukteure unterstützen die Abkühlung des Ankers durch Anordnung von besonderen Luftkanälen im Eisenkerne. Die Kanäle können entweder durch gerippte Messingscheiben, durch Eisenbleche mit aufgenieteten Streifen, oder durch gewellte Bleche, welche in gewissen Abständen an Stelle der Ankerbleche in den Ankerkern eingefügt werden, hergestellt werden. In den Fig. 290 bis 301 ist ein solcher Anker abgebildet.

**Die Treibstützen.** Bezeichnet man die Intensität des magnetischen Feldes im Luftraume zwischen Pol und Anker mit  $B$  (Kraftlinien pro qcm), die Länge des Eisenkernes des Ankers in cm mit  $l$  und die Stromstärke eines Armaturdrahtes mit  $i$ , so wird auf den Draht am Umfange des Ankers ein tangentialer Zug ausgeübt, welcher

$$= \frac{B \cdot l \cdot i}{9810000} \text{ kg.}$$

Bei kleineren Ankern genügt die Reibung der Drähte am Ankerumfange, welche durch die Drahtbänder angepresst werden,

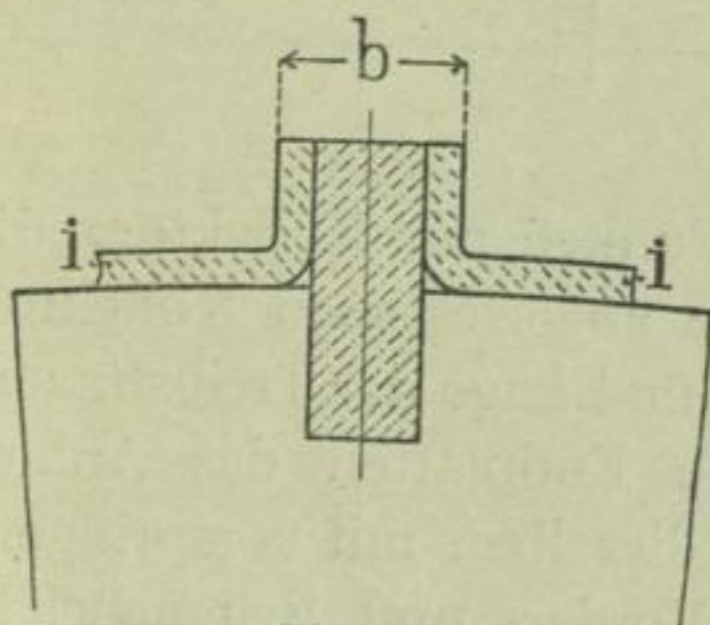


Fig. 184.

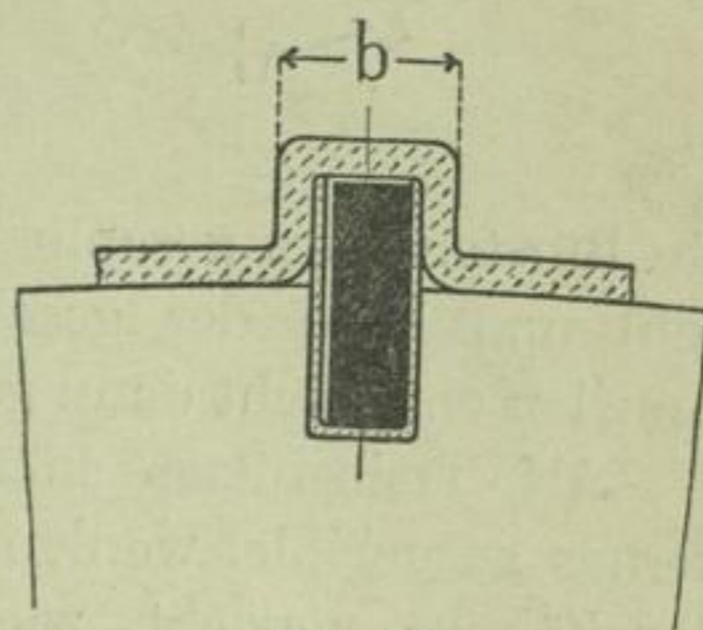


Fig. 185.

um das Mitrotieren derselben zu sichern; bei Ringankern wirken außerdem die Speichen des Ankersternes treibend auf die Wicklung.

Bei glatten Ankern von größerem Durchmesser müssen besondere Treibstützen angebracht werden. Das geschieht am einfachsten dadurch, daß in den Ankerkern Nuten eingefräst und in diese Nuten Leisten aus Fiber eingelegt werden, wie Fig. 184 veranschaulicht, gegen welche sich zunächst die Isolation  $i$  des Ankerkörpers und alsdann die Armaturdrähte legen. Anstatt Fiber können auch schmale Leisten aus Bronze von 4 bis 6 mm

Stärke angewandt werden (Fig. 185), welche gegen das Eisen des Kernes isoliert sind. Ein übermäßiges Erwärmen dieser Leisten durch Wirbelströme ist nicht zu befürchten, ebensowenig wie sich ein Kupferstab der Wicklung von gleichen Dimensionen durch Wirbelströme merklich erwärmt.

Übrigens können diese Leisten bei Stabwicklung auch als Armaturleiter benutzt werden. In diesem Falle werden einige der Armaturstäbe isoliert in den Eisenkern der Armatur eingelassen, während die übrigen auf dem glatten Armaturkörper aufliegen können.

Die Breite  $b$ , oder die Entfernung der anliegenden Armaturdrähte, soll möglichst klein (8 bis 12 mm) gehalten werden, sonst entstehen, wenn die an den Treibstützen anliegenden Spulen durch

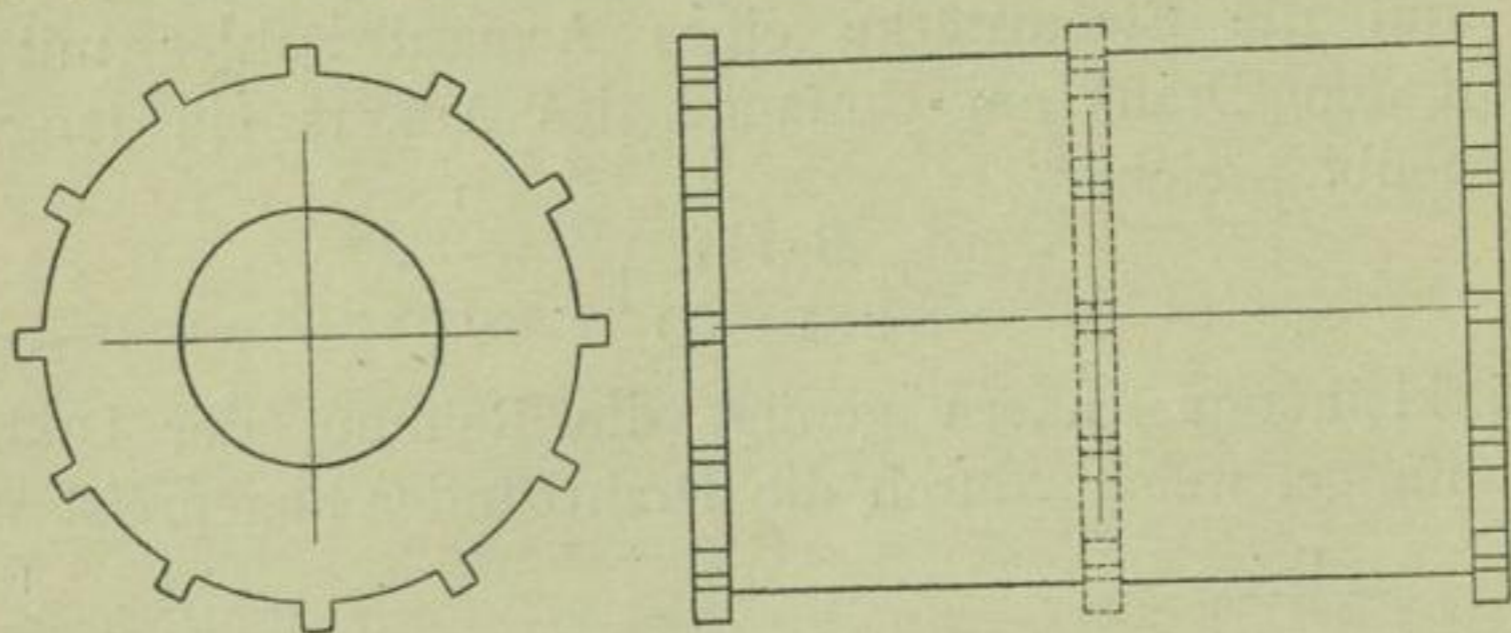


Fig. 186.

die Bürsten kurz geschlossen werden, Funken am Kollektor; die Zahl und Lage der geschwärzten oder angefressenen Kollektorlamellen entspricht dann genau der Zahl und Lage der Treibstützen.

Als Treibstützen können auch die Endplatten des Ankerkernes ausgebildet werden, indem man dieselben mit vorspringenden Zähnen versieht, wie Fig. 186 in Vorder- und Seitenansicht darstellt. Wenn erforderlich, können noch gezahnte Metallscheiben zwischen die Ankerbleche eingefügt werden, wie in der Figur punktiert angedeutet ist.

**Die Isolation des Ankerkörpers.** Der Ankerkörper muß sehr sorgfältig gegen eine Berührung mit der Wicklung geschützt werden. Zunächst werden die zu isolierenden Teile zweckmäßig mit einem isolierenden Lack- oder Schellackanstrich versehen und dann mit Isoliermaterial bekleidet. Hierzu wird zähes Papier, Baumwolltuch, Seide, gummiertes Tuch (Tape), Fiberpapier, Fiber, Holz, Stabilit, Glimmer (Mica), Micanittuch, Micanit und anderes Material verwendet.

Für die Isolation der Seitenflächen können Ringe aus Holz, Fiber, Isolit<sup>1)</sup> oder Stabilit<sup>2)</sup> verwendet werden, oder man bekleidet dieselben mit mehrfachen Lagen aus Papier, gummiertem Tuch, Micanittuch, Baumwolle u. s. f., welche mit Schellack bestrichen und festgeklebt werden. Die Kerne von Ringankern können auch ganz mit gummiertem Bande bewickelt werden.

Während an den Seiten- und Innenflächen des Eisenkernes die Isolation meist reichlich bemessen werden kann, muß man am äußeren Umfange der Armatur sparsamer damit sein, weil es hier auf eine gute Ausnützung des Raumes wesentlich ankommt.

Am äußeren Umfange werden glatte Anker mit mehrfachen Lagen von Isoliermaterial bedeckt. Für Spannungen bis 200 Volt genügt z. B. eine mehrfache Lage von zähem Papier von 0,5 bis 0,75 mm Stärke; 2 bis 2,5 mm starke Papierlagen genügen bis zu Spannungen von 2000 Volt. Für so hohe Spannungen verwendet man besser das in neuerer Zeit in Handel gebrachte Micanittuch, oder Micanittuch und Papier in abwechselnden Lagen.

Die Isolationsmaterialien, welche den Ankerkörper bedecken, dürfen nirgends stumpf zusammenstoßen, sondern es ist sorgsam darauf zu achten, daß keine Fugen entstehen, welche leicht zu Kurzschlüssen oder Erdschlüssen Veranlassung geben können.

Ist der Anker genutet oder mit Kanälen versehen, so werden die Nuten für geringe Spannungen mit Papier, Seide, Fiberpapier etc. verkleidet; für höhere Spannungen wird hierzu Micanittuch verwendet, oder es werden Isolierhülsen aus einigen Lagen Baumwolle und Glimmer, oder Hülsen aus Micanit von der verlangten Form geprefst und in die Nuten eingebettet.

## Die Konstruktion der Ankerwicklung.

Die mechanische Ausführung der Ankerwicklung nach den im ersten Teile gegebenen Schemata bietet die meisten Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten, namentlich soweit sie die Verbindungen der Drähte bei Trommelankern betreffen, sind in sehr mannigfaltiger und mechanisch vollkommener Art überwunden worden.

<sup>1)</sup> Von Gebr. Adt, Ensheim.

<sup>2)</sup> Von der A. E. G., Berlin.

Der Vorwurf, der früher mit Recht den Ankerkonstruktionen gemacht werden konnte, daß sie mechanisch unvollkommen seien, trifft heute nicht mehr zu.

Die Art der mechanischen Ausführung richtet sich ganz nach der Stromstärke, welche ein Draht zu führen hat. Für kleinere Stromstärken wird Drahtwicklung, für größere Stromstärken Stabwicklung gewählt.

Drähte von mehr als etwa 4 mm Durchmesser lassen sich nicht mehr leicht genug biegen, und die Bespinnung dicker Drähte ist beim Wickeln, infolge der großen Kraft, welche beim Biegen derselben erforderlich ist, leicht Beschädigungen ausgesetzt, was namentlich bei Trommelwicklungen in Betracht kommt. Für große Armaturen mit großen Krümmungsradien für die Drähte, oder bei Schablonenwicklung, welche eine gute Kontrolle über die Isolation der einzelnen Spulen gestattet, kann die Wicklung mit stärkeren Drähten noch gut ausgeführt werden.

Sobald die Stromstärke pro Armaturstromzweig größer als ca. 50 Ampère wird, kann zur Stabwicklung übergegangen werden. Die Stabwicklung, bei welcher eine Windung aus zwei oder mehr Teilen zusammengesetzt bzw. zusammengelötet wird, gewährt den Vorteil, daß das Abbiegen einzelner Teile auf dazu bestimmten Schablonen erfolgen kann; dieselben werden nach dem Biegen isoliert. Außer der leichteren Herstellung wird eine bessere Isolation, ein leichteres Auswechseln einzelner Teile und eine Konstruktion von größerer Widerstandsfähigkeit und größerer mechanischer Festigkeit erreicht. Diese Konstruktion hat namentlich für Trommelanker in den letzten Jahren zahlreiche Anwendung gefunden.

Die Wicklung muß in allen Fällen so ausgeführt werden, daß die einzelnen Armaturspulen bezüglich Widerstand und Selbstinduktion möglichst gleich sind, und daß eine gleiche Gewichtsverteilung am Armaturumfang stattfindet. —

**Die Isolation der Ankerdrähte.** Obwohl die Ankerdrähte auf einen gut isolierten Ankerkörper oder in isolierte Nuten gelegt werden, so muß doch noch für eine gute Isolation der einzelnen Drähte und eine gute Isolation der Armaturspulen unter sich Sorge getragen werden.

Als Armaturdraht verwendet man meistens dreimal besponnenen und schellackierten oder noch besser zweimal besponnenen, einmal

beklöppelten und schellackierten, möglichst weichen Kupferdraht von höchster Leistungsfähigkeit.

Der Drahtdurchmesser wird durch dreifache Bespinnung um 0,45 bis 0,55 und durch zweifache Bespinnung und einmalige Beklöpplung um 0,5 bis 0,6 mm vergrößert. Da für dünnen Draht zur Bespinnung auch dünnere Baumwollfäden verwendet werden, so gelten die kleineren Zahlen für Drähte bis etwa 1,5 mm Durchmesser.

Für flache Drahtquerschnitte ist zu berücksichtigen, daß die Bespinnung auf der flachen Seite nicht fest anliegt; die Isolation trägt daher hier bis  $2 \times 0,05 = 0,1$  mm mehr auf, als auf der Hochkantseite.

Bei der Berechnung des Raumbedarfes für die Drähte ist noch etwa 0,05 bis 0,1 mm pro Draht zuzugeben.

Leiter von großem Querschnitte, welche aus nackten Kupferstangen oder aus Kupferblech geschnitten werden, können von Hand durch Bewickeln mit Baumwollband, durch Baumwollband mit Glimmereinlage oder durch mehrfache Papierlage u. s. f. wobei noch ein Schellackanstrich hinzugefügt wird, isoliert werden. Bei großem Bedarf gleichartiger Stücke ist es lohnend, die Isolierung derselben durch Bespinnung mittels Maschinen vorzunehmen.

Starke Leiter, welche gegen Formänderung genügende Festigkeit besitzen, und deren Querverbindungen genügenden Luftabstand haben, können nackt in gut isolierte Nuten verlegt werden.

Für die gegenseitige Isolation der Ankerspulen oder Ankerstäbe ist die Spannungsdifferenz zwischen denselben in Betracht zu ziehen.

Bezeichnet

- $E_s$  die in einer Spule induzierte E. M. K.,
- $v$  die Umfangsgeschwindigkeit des Ankers in m,
- $B$  die Intensität des magnetischen Feldes im Luftraume in Kraftlinien pro qcm,
- $l$  die Länge des induzierten Stabes oder die Eisenbreite der Armatur in cm,
- $m$  die Zahl der induzierten Drähte einer Spule (für Ringanker gleich der einfachen, für Trommelanker gleich der doppelten Windungszahl einer Spule),

so ist

$$E_s = 10^{-6} v \cdot B \cdot l \cdot m.$$

Die Spannungsdifferenz zwischen benachbarten Spulen ist nun bei Ringankern mit Spiralwicklung  $= E_s$  und bei Ringankern mit Wellenwicklung

$$= p \cdot E_s,$$

wobei  $p$  wieder die halbe Polzahl bedeutet.

Für Trommelanker wird die Spannungsdifferenz viel größer, und zwar nahezu gleich der vollen Klemmenspannung, sowohl für Schleifen- als Wellenwicklung. Die gegenseitige Isolation der Spulen ist daher für Trommelanker stärker auszuführen als für Ringanker, und aus diesem Grunde eignet sich die Ringwicklung besser für Hochspannungsmaschinen als die Trommelwicklung. —

**Die Querschnittsformen der Ankerdrähte.** Die verschiedenen Wicklungsarten, die gute Ausnützung eines gegebenen Wicklungsraumes, die Größe der Stromstärke im Drahte, die Entstehung von Wirbelströmen in massiven Leitern von großem Querschnitte und andere Gründe führen den Konstrukteur zu verschiedenen Querschnittsformen der Ankerdrähte. In Fig. 187 sind verschiedene gebräuchliche Querschnittsformen abgebildet.

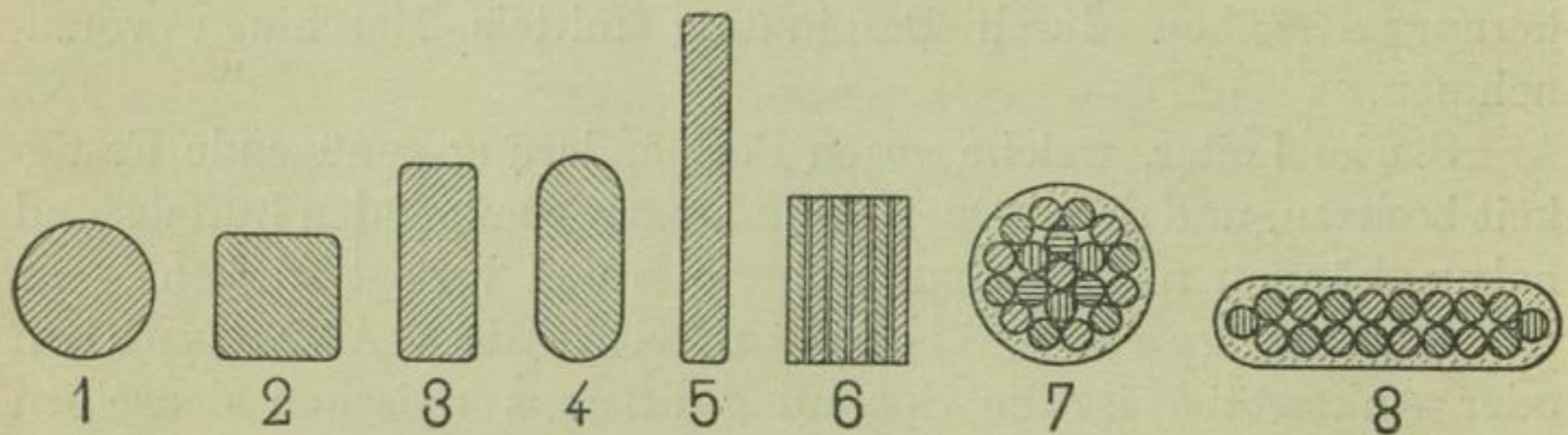


Fig. 187.

Für Drahtwicklungen ist der runde Querschnitt der geeignetste, die Ausführung einer Wicklung mit rundem Draht macht weniger Arbeit, und die Isolation wird weniger gefährdet als bei Verwendung von Flachdraht oder quadratischem Draht.

Für Stabwicklungen werden dagegen meistens rechteckige oder quadratische Stäbe benutzt, namentlich für Nutenanker sind diese Querschnitte geeignet.

In massiven, am Umfange des Eisenkernes liegenden Leitern, wenn dessen Breite gewisse Grenzen überschreitet, werden Wirbelströme induziert, welche dieselben erwärmen und den Wirkungsgrad der Dynamo, sowie die Belastungsgrenze derselben erniedrigen.



Wenn ein solcher Leiter in das magnetische Feld eintritt oder dasselbe verläßt, so ist die Intensität des magnetischen Feldes nicht über die ganze Breite des Leiters dieselbe, es werden daher einige Teile des Leiters stärker induziert als andere, und die hierdurch entstehende Differenz der E. M. Ke. erzeugt Wirbelströme.

Diese Wirbelströme lassen sich vermeiden, bzw. auf ein geringes Maß erniedrigen, wenn die Ankerleiter aus einzelnen, nur am Ende verbundenen Streifen (No. 6 Fig. 187) oder aus Kabeln (Nr. 7 und 8 Fig. 187) bestehen; letztere lassen sich in flache und quadratische Querschnittsform walzen. — Die leichte Oxydschicht der einzelnen Streifen oder Drähte gibt einen genügenden Widerstand gegen die Entstehung der Wirbelströme.

Eine starke Abrundung der Polecken, wodurch eine allmähliche Zu- und Abnahme der Feldstärke herbeigeführt wird, vermindert ebenfalls die Verluste durch Wirbelströme.

Bei gut abgerundeten Polecken oder breiten Polschuhen dürfen massive Leiter bis zu 5 mm und unter besonders günstigen Verhältnissen bis zu 8 mm Breite verwendet werden.

Liegen die Ankerleiter in Nuten des Ankereisens versenkt oder, ganz von Eisen umschlossen, in Löchern desselben, so entstehen keine Wirbelströme. Die Kraftlinien schnellen so rasch von einem Eisenstege zum anderen hinüber, daß eine ungleiche Induktion im Leiter selbst nicht erfolgt.

**Die Anordnung der Ankerdrähte.** Ist die Zahl der Drähte, deren Querschnitt und der Armaturdurchmesser bestimmt, so muß untersucht werden, ob und wie die Drähte am äußern Armaturumfang und bei Ringwicklung auch am innern Umfange untergebracht werden können, möglicherweise muß der Armaturdurchmesser, oder die Drahtzahl und Armaturlänge, oder alle Dimensionen zugleich geändert werden, wenn es nicht möglich ist, durch einen passenden Drahtquerschnitt und eine geeignete Wicklungsart die geforderte Kupfermenge auf der Armatur unterzubringen. Wer Übung und Erfahrung hat, kommt bald zum richtigen Resultate.

In den Fig. 188 bis 192 sind zunächst mehrere Anordnungen der Armaturdrähte für glatte Trommelanker angegeben. In Fig. 188 haben wir eine Lage Runddraht. Wird die Zahl der Runddrähte für eine Lage zu viel, aber für zwei Lagen zu wenig, so gelangt man zu einer Wicklung mit Flachdraht, der hochkant gewickelt wird, oder auch zu Quadratdraht (Fig. 188a).

In Fig. 189 haben wir zwei Lagen Runddraht, die einzelnen Spulen sind durch Fiberstege voneinander isoliert, und in Fig. 190 zwei Lagen quadratischen Draht. Die Fig. 191 und 192 zeigen Wicklungen mit flachen und runden Kabeln.

Für Ringanker wird zunächst die Spulenzahl zweckmäÙig als ein Vielfaches der Speichenzahl des Ankersternes gewählt.

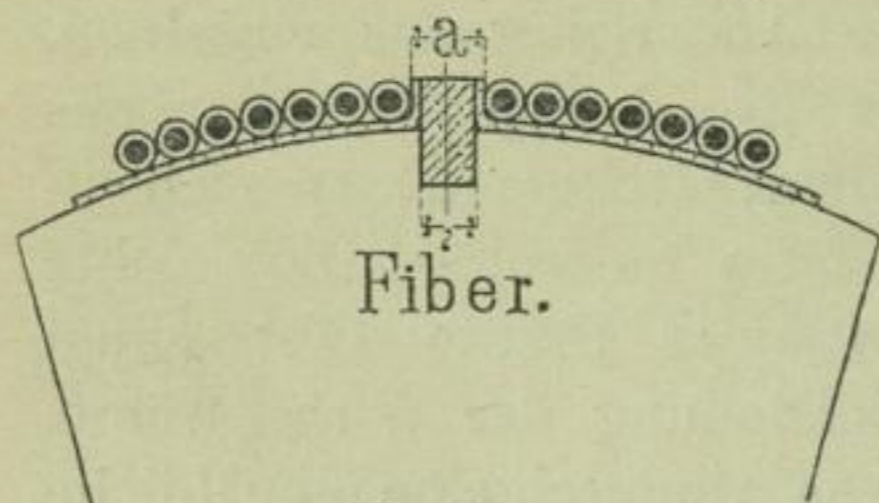


Fig. 188.

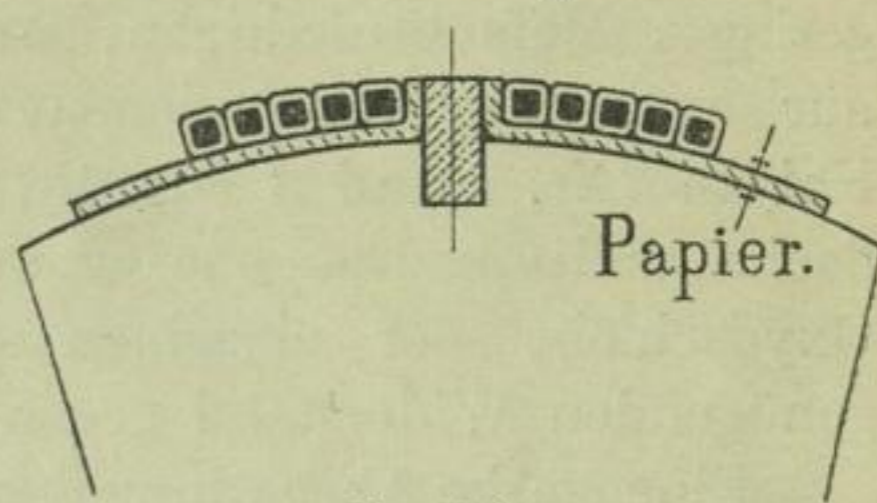


Fig. 188a.

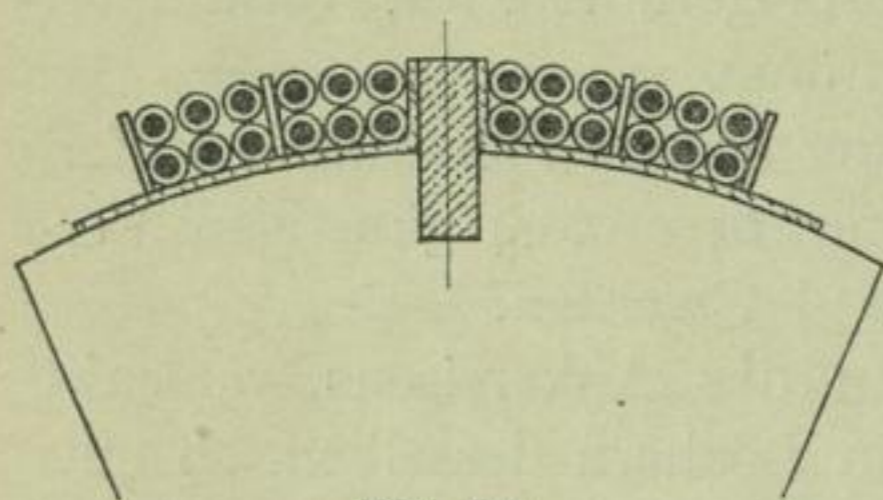


Fig. 189.

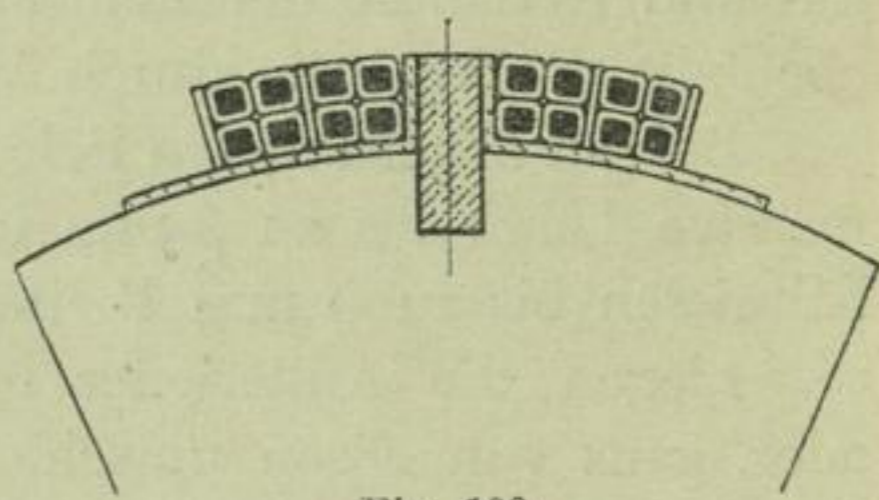


Fig. 190.

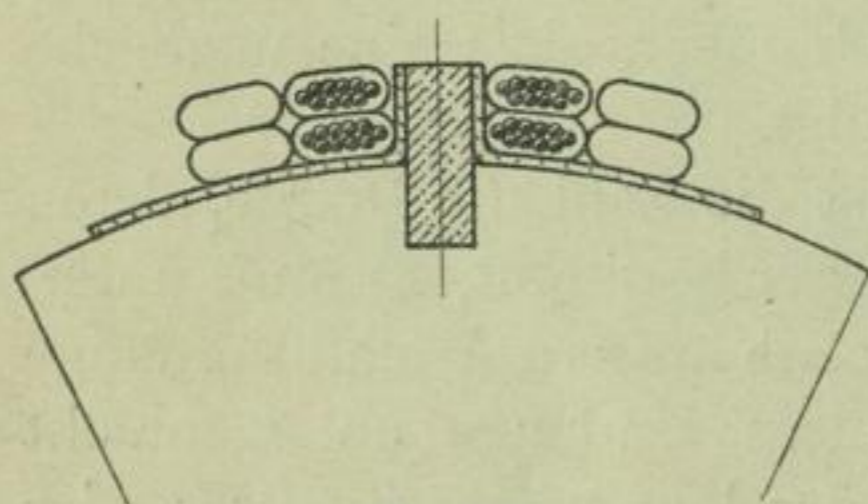


Fig. 191.

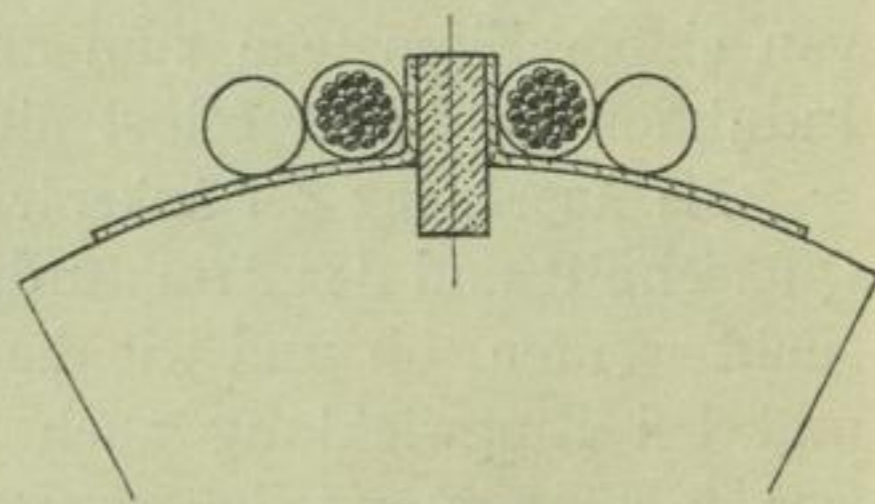


Fig. 192.

Die Zahl der Drahtlagen wird am inneren Umfange gewöhnlich größer als am äußern. In den Fig. 193 bis 198 sind einige gebräuchliche Anordnungen der Drähte für glatte Ringanker aufgezeichnet. Flachdraht kann, wie in der Fig. 194 angegeben, außen hochkant und innen flach gewickelt werden oder umgekehrt, wie Fig. 195 zeigt. In Fig. 198 ist außen Runddraht verwendet, an welchem für die inneren Verbindungen Flachdraht angelötet wird. Für Maschinen mit hohen Spannungen werden die Drähte einer Spule am innern Umfange in besondere, aus Isoliermaterial (Fiber, Baumwolle mit Glimmereinlage etc.) hergestellte Kanäle gewickelt.

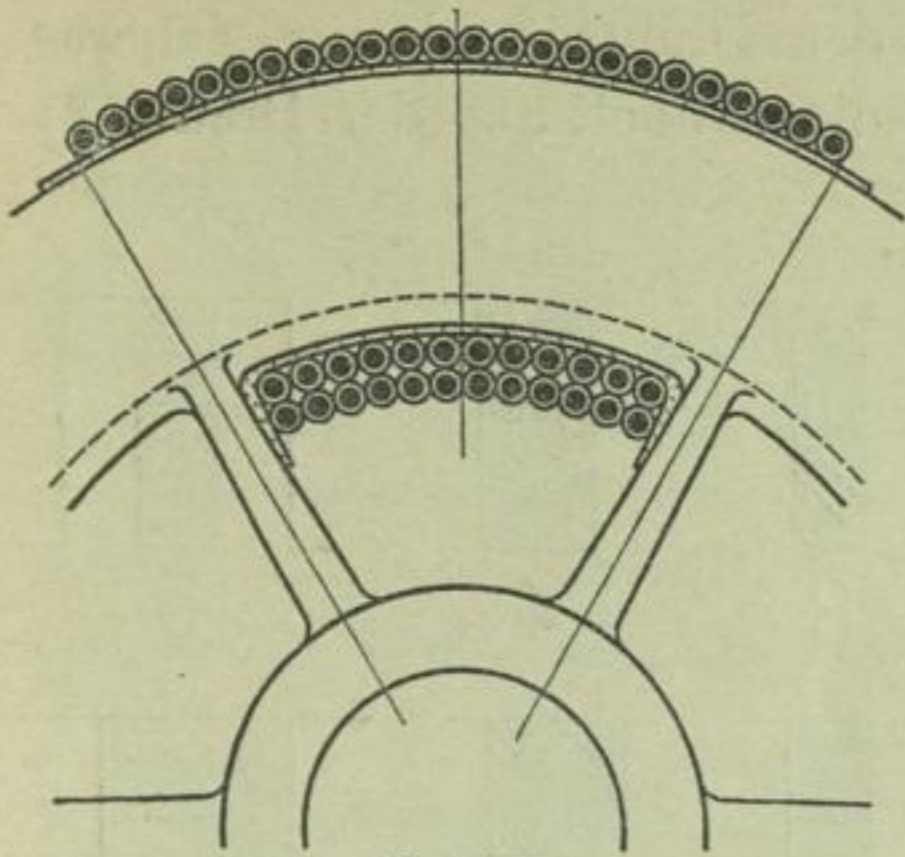


Fig. 193.

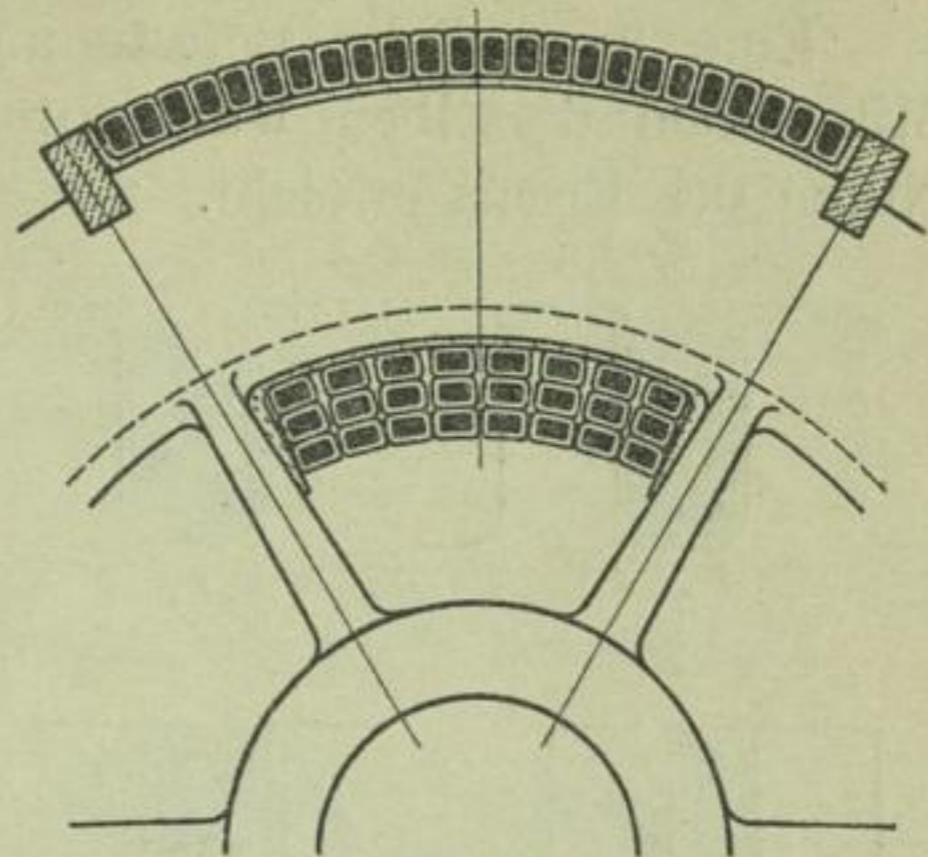


Fig. 194.

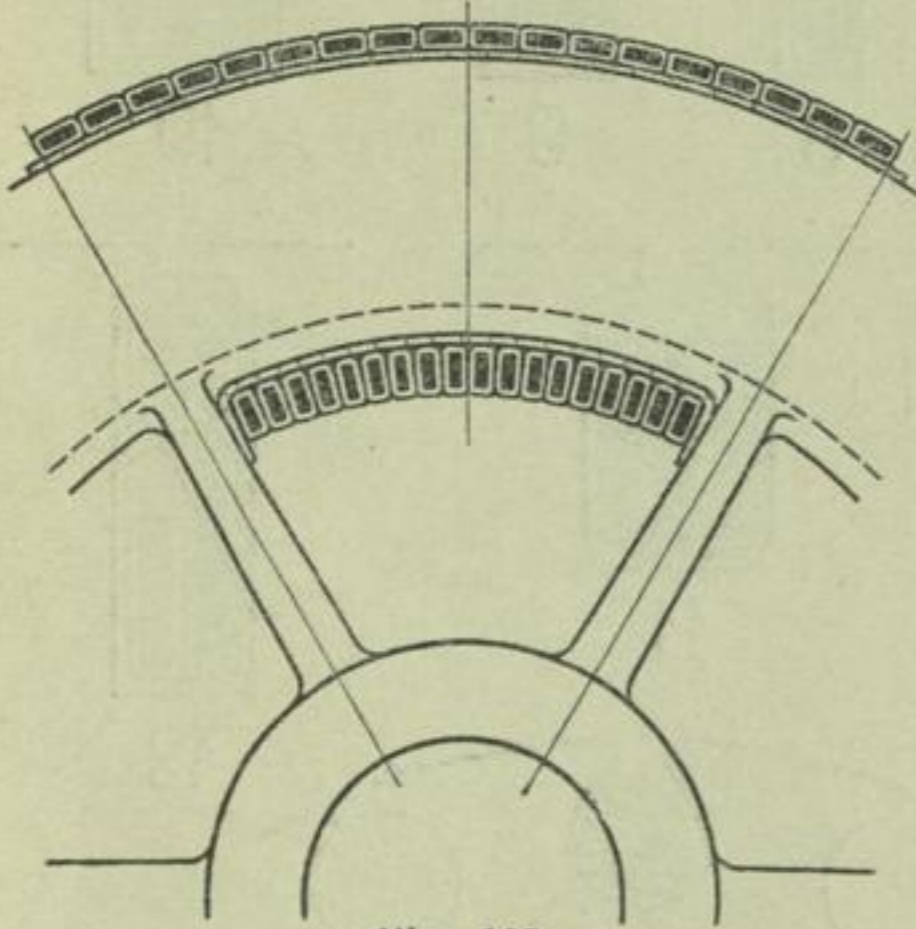


Fig. 195.

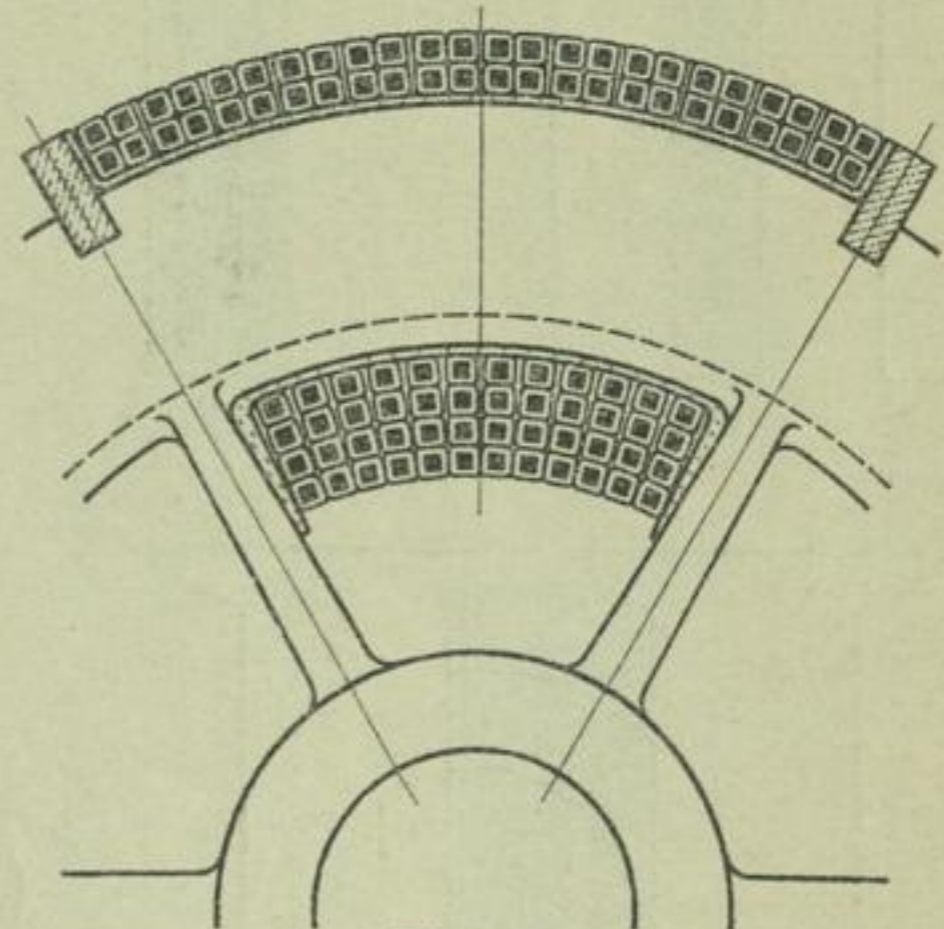


Fig. 196.

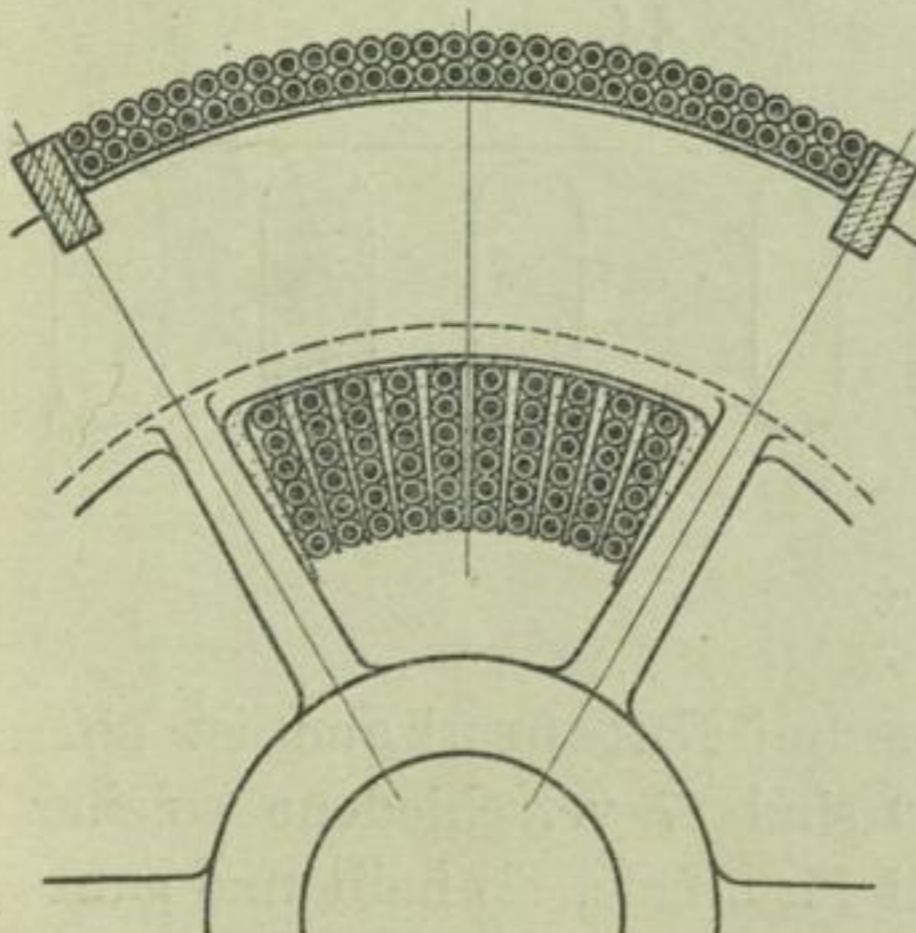


Fig. 197.

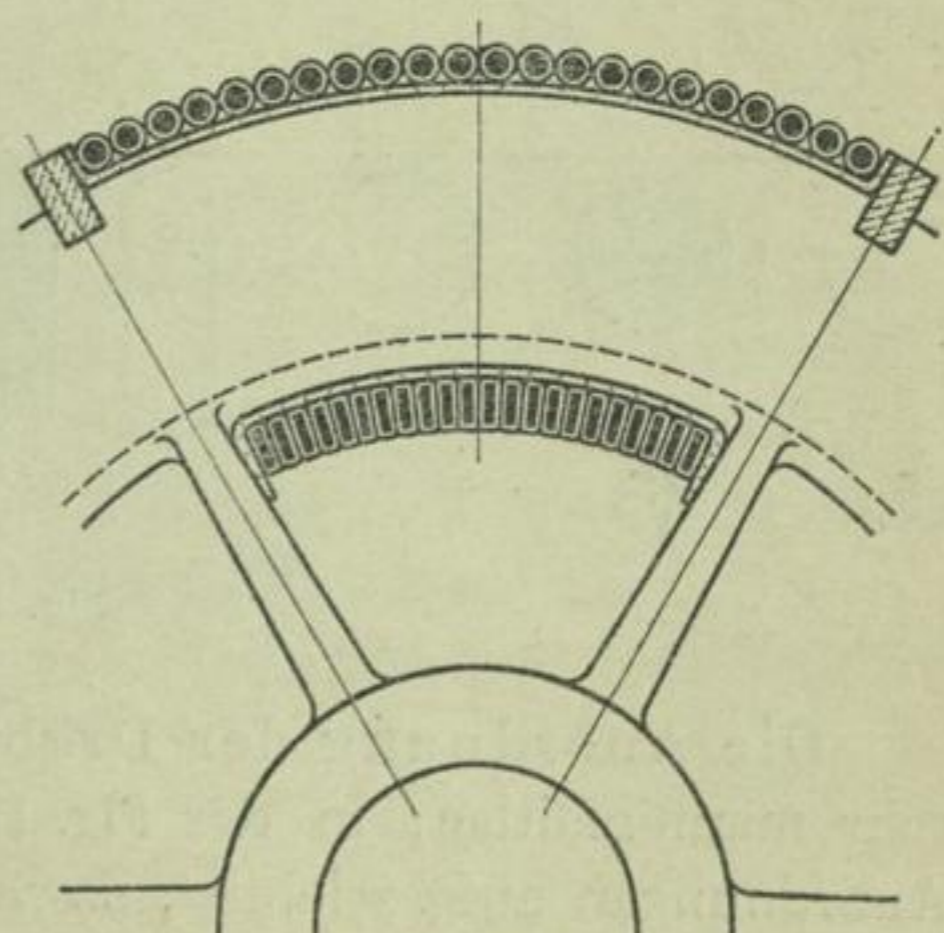


Fig. 198.

Eine vorzügliche Befestigung der Drähte und ein sicheres Mitnehmen derselben wird durch die Einbettung der Drähte in Nuten des Eisens erreicht.

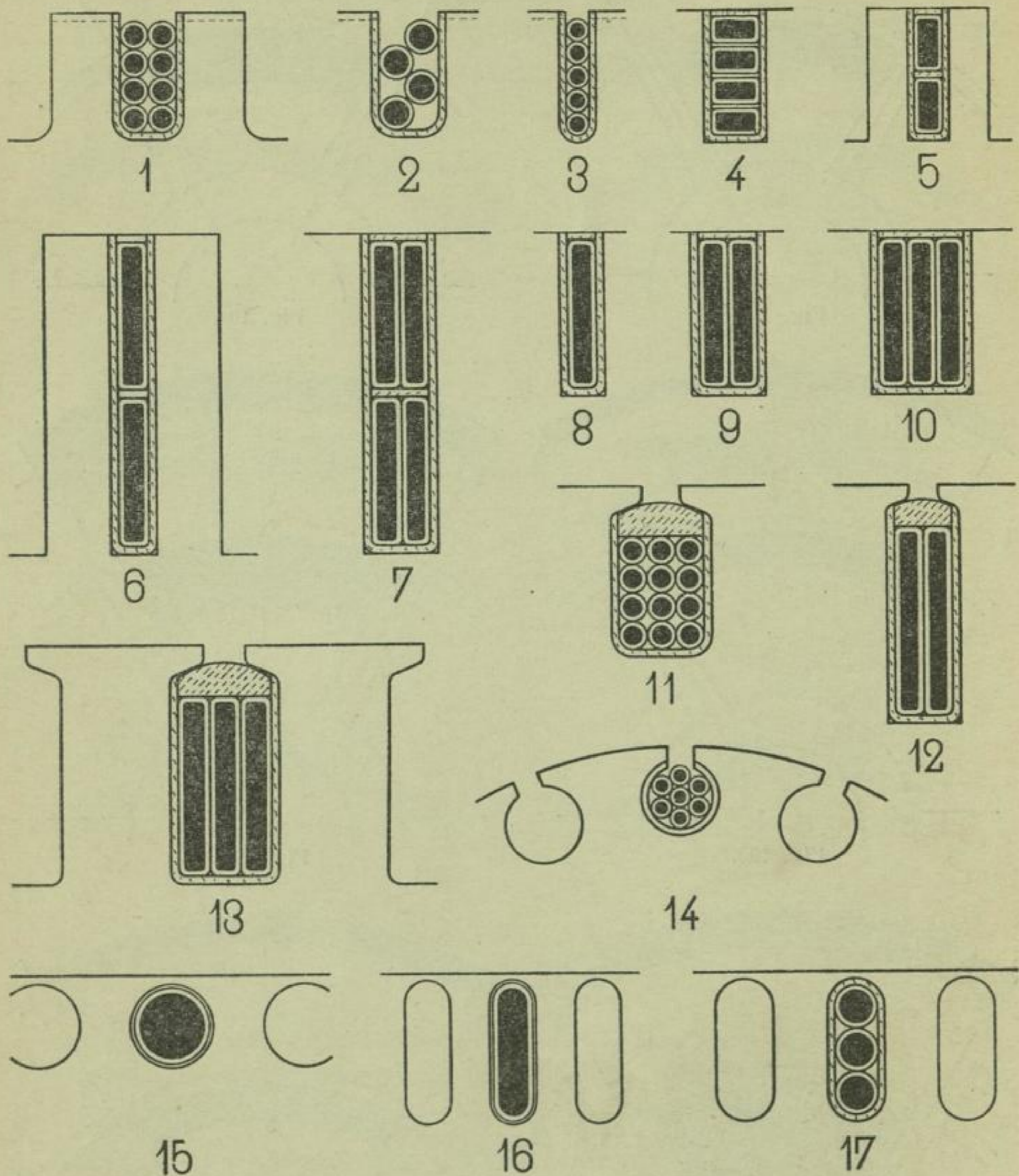


Fig. 199.

Die Anordnung der Drähte bei Nutenankern ist eine sehr mannigfaltige; in der Fig. 199 sind 17 verschiedene solcher Anordnungen aufgezeichnet, sowohl für offene, als halb- und ganzgeschlossene Nuten.

In einer Nut können die Drähte oder Stäbe, welche verschiedenen Spulen angehören, über oder nebeneinander angeordnet werden. Im allgemeinen sollen jedoch bei Ringwicklung nicht mehr als zwei Spulen und bei Trommelwicklung nicht mehr als vier Spulenseiten in einer Nute liegen, sonst ist eine Funkenbildung am Kollektor zu befürchten.

**Die Drahtbänder.** Nachdem die Wicklung des Ankers fertiggestellt ist, muß bei Ring- und Trommelankern die Wicklung gegen die Wirkungen der Centrifugalkraft geschützt werden.

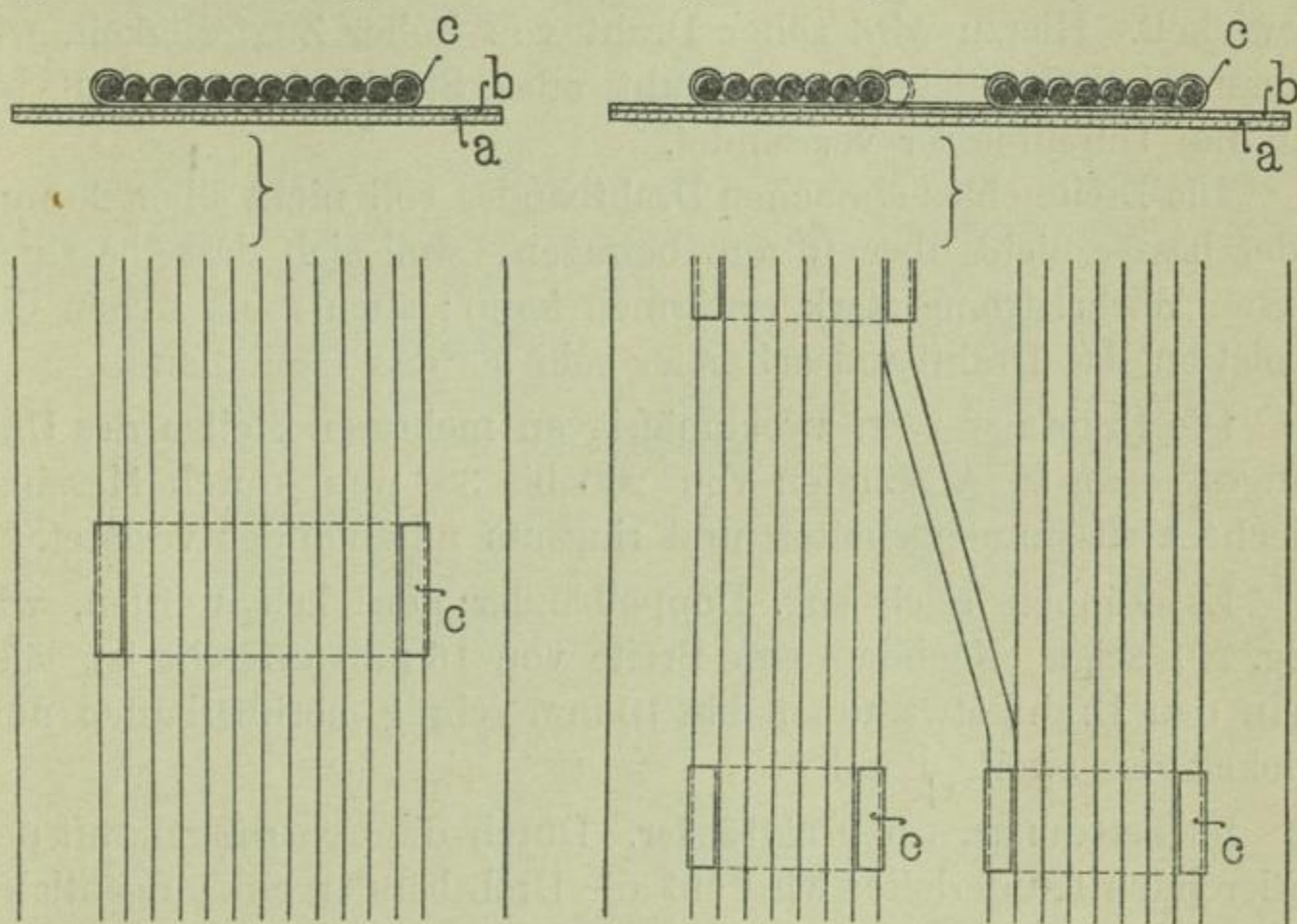


Fig. 200.

Fig. 201.

Das geschieht durch Aufwickeln eines über Rollen laufenden und stark angespannten Drahtes zu mehreren Drahtbändern. Nach dem Aufwickeln werden die Drähte eines Bandes untereinander verlötet. An der Stelle, wo ein Drahtband zu liegen kommt, wird bei Nutenankern der Eisenkern oft auf eine Tiefe von etwa 2 mm abgedreht und zwar bevor die Nuten gefräst werden.

In Fig. 200 ist ein einfaches und in Fig. 201 ein doppeltes Drahtband aufgezeichnet. Zunächst wird auf die Wicklung ein Isolierband gelegt, dasselbe kann aus einigen Lagen Baumwollband, Prefsspan etc. bestehen (in den Figuren mit *a* bezeichnet); darüber kommen Streifen (*b*) aus Glimmer, die sich gegenseitig über-

decken, zu liegen. Viele Konstrukteure verwenden hierzu nur Glimmer ohne eine Unterlage. Als Bindemittel für diese Teile dient Schellack.

Die Stärke des Isolierbandes und namentlich des Glimmers hängt von der Spannung ab, welche im Anker induziert wird. Schon um genügende mechanische Festigkeit zu erlangen, wird der Glimmer 0,3 bis 0,6 mm stark gewählt; letztere Stärke kann für Spannungen bis 500 Volt genügen.

Auf das so hergestellte Isolierband wird nun das Drahtband gewickelt. Hierzu wird zäher Draht von hoher Zugfestigkeit, wie Messingdraht, Siliciumbronzedraht oder Stahldraht von 0,8 bis 1,6 mm Durchmesser verwendet.

Die Breite eines einfachen Drahtbandes soll nicht über 20 mm oder besser nicht über 16 mm betragen, weil sich dasselbe sonst durch Wirbelströme stark erwärmen kann; auch muß wegen der Isolation das Drahtband schmaler sein als das Isolierband.

Die Drähte werden zweckmäÙig an mehreren Stellen des Umfanges, etwa in Abständen von 200 bis 300 mm, durch Messingbleche *c* zusammengehalten und ringsum miteinander verlötet.

Es können auch sog. Doppelbänder gewickelt werden, wie Fig. 201 zeigt. Nachdem eine Breite von 16 mm erreicht ist, läÙt man den Draht etwa um 5 bis 10 mm schräg herüberlaufen und wickelt das zweite Band.

**Die Berechnung der Drahtbänder.** Durch die Centrifugalkraft der rotierenden Kupferleiter wird auf die Drahtbänder ein tangentialer Zug ausgeübt. Um den tangentialen Zug zu berechnen, denken wir uns die Armaturdrähte zu einem massiven Kupfercylinder vereinigt. Bezeichnet nun

*F* den Querschnitt des Kupfers dieses Cylinders in qmm,

$\gamma$  das spezifische Gewicht des Kupfers,

$g = 9,81$  die Beschleunigung der Schwere,

*v* die Umfangsgeschwindigkeit in m pro Sekunde,

so ist der tangentialer Zug, welcher im Querschnitte des erwähnten Kupfercylinders auftritt,

$$T = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{F}{1000} \cdot v^2 \text{ kg.}$$

Denken wir uns nun den Cylinder wieder in einzelne Stäbe zerlegt, so muß dieser tangentialer Zug von den Drahtbändern



Bei Ankeren mit halbgeschlossenen Nuten können die Drähte durch Fiberkeile festgehalten werden, wie das in Fig. 300 a angegeben ist. Diese Konstruktion ist bei Maschinen der ehem. Thomson-Houston-Co. und bei den Ankeren für Trammotoren der Maschinenfabrik Oerlikon zu finden.

**Der Kollektor** wird entweder schon während der Herstellung der Wicklung mit dieser verbunden, oder diese Verbindung erfolgt erst nach Fertigstellung der Wicklung und der Drahtbänder. Die Konstruktion des Kollektors und die verschiedenen Verbindungsarten mit der Wicklung werden in einem spätern Abschnitte behandelt.

**Das Verkleiden des Ankers.** In manchen Fällen, z. B. für Straßenbahnmotoren, wo die Wicklung gegen das Eindringen von Staub und Feuchtigkeit geschützt werden muß, oder wenn das Eindringen von Kupferstaub auf der Kollektorseite verhindert werden soll, bedarf der Anker noch einer besonderen Verkleidung.

Die Wicklung am Umfange des Ankers kann zu dem Zwecke mit einem isolierenden Anstrich versehen werden. Liegen die Ankerleiter zwischen den Zähnen des Ankers versenkt, wie in Fig. 199 (Nr. 11, 12 u. 13) angegeben, so kann durch Fiberleisten ein genügend dichter Abschluß erreicht werden. Die Stirnflächen des Ankers werden mit dichtem, festem Baumwolltuch oder Segeltuch, das noch mit Asphaltlack oder einem andern Anstrich versehen wird, verkleidet. Am Umfange des Ankers und des Kollektors wird das Tuch durch Drahtbänder mit Glimmerunterlage gehalten.

Die Abkühlung der Armatur wird durch eine derartige Verkleidung vermindert. Um die Wicklung vor Kupferstaub zu schützen, was z. B. bei vertikaler Welle mit oben liegendem Kollektor notwendig wird, begnügt man sich daher mit nur einer Schutzhülle auf der Kollektorseite.

**Das Trocknen des Ankers.** Nachdem der Anker soweit fertiggestellt ist, wird derselbe mit Schellackfirnis oder Gummilösung bestrichen und in einer Trockenkammer gut ausgetrocknet.

**Das Prüfen des Ankers.** Während des Bewickelns sind die einzelnen Spulen, die einzelnen Lamellen des Kollektors und nach Fertigstellung die gesamte Wicklung auf Isolation zu prüfen. Bei Untersuchung der einzelnen Spulen ist sowohl die Isolation gegen das Armatureisen als gegen benachbarte Spulen zu prüfen; wenn die Spulen an den Kollektor angeschlossen sind, ist die letztere



Prüfung nicht mehr möglich. Um aber doch feststellen zu können, ob ein Kurzschluss zwischen benachbarten Spulen vorhanden ist, der z. B. beim Verlöten mit dem Kollektor entstanden sein kann, muß der Widerstand zwischen je zwei benachbarten Lamellen am ganzen Kollektorumfange gemessen werden. Ist ein Kurzschluss oder eine schlechte Isolation zwischen einzelnen Spulen vorhanden, so macht sich das in größern Abweichungen der gemessenen Widerstände geltend.

**Das Ausbalancieren des Ankers.** Die Anker der Dynamomaschinen, welche meistens eine große Umfangsgeschwindigkeit (bis 22 m pro Sek.) haben, und bei denen ein ruhiger Gang schon wegen des funkenfreien Arbeitens der Bürsten am Kollektor sehr wichtig ist, müssen ausbalanciert werden.

Zunächst wird der Ankerkörper ohne Bewicklung ausbalanciert und nach Fertigstellung der Wicklung nochmals geprüft. Die Ausbalancierung erfolgt meistens nur statisch, indem der Anker mit einer Welle auf zwei horizontale Schneiden gelagert und untersucht wird, ob ein Übergewicht nach einer Seite in irgend einer Lage vorhanden ist. Dieses Übergewicht wird dann durch Hinzufügen oder Wegnehmen von Material ausgeglichen.

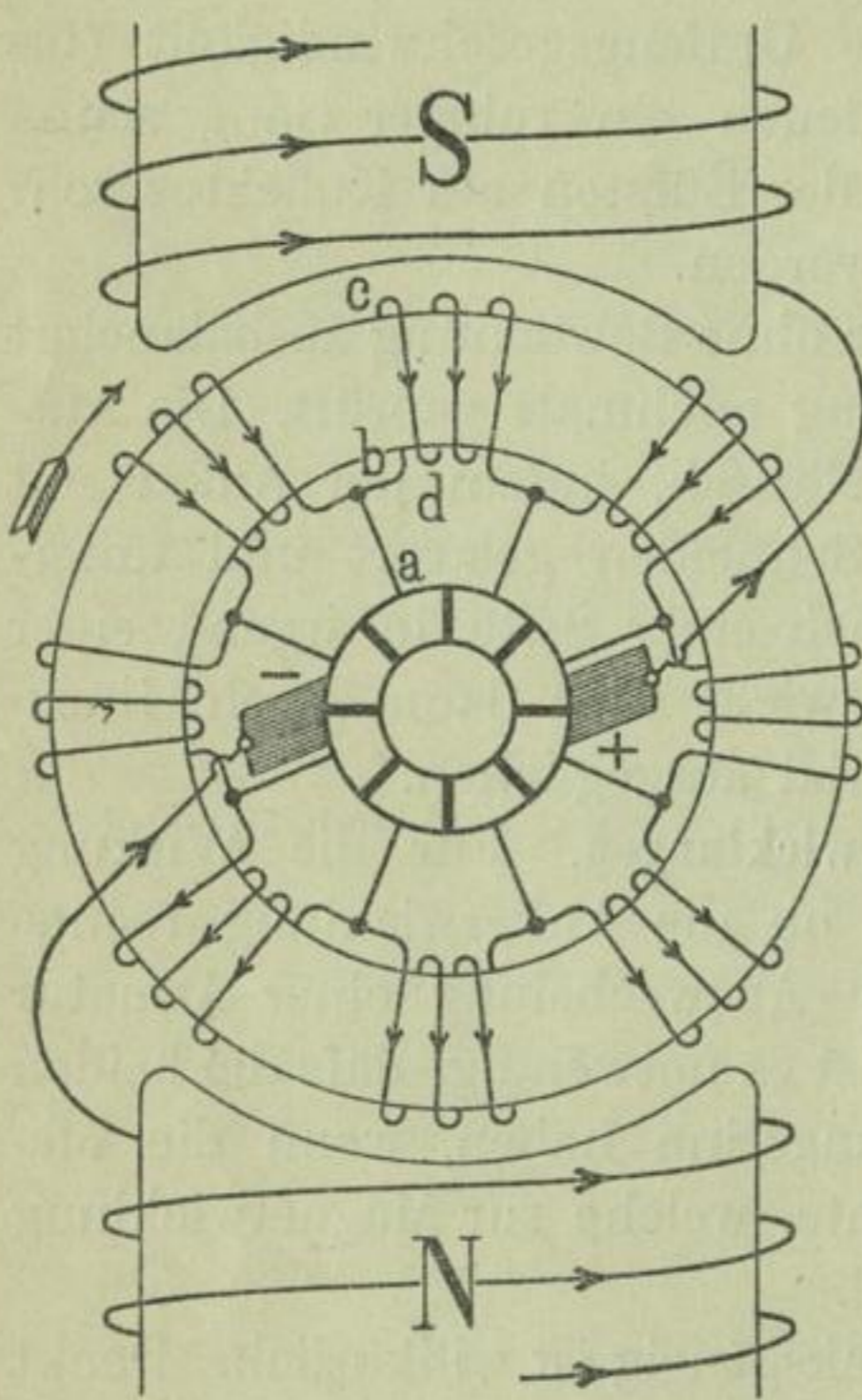
**Links- und rechtsgängige Ankerwicklungen.** Für die Wirkung einer Dynamo ist es gleichgültig, ob die Ankerwicklung rechts- oder linksgängig ist, aber für die Auswechslung einer Armatur gegen eine zweite Reservearmatur ist es notwendig, daß die beiden Armaturen einen gleichen Wicklungssinn haben, wenn die Maschine ohne Vertauschung der Drähte, welche zur Magnetwicklung führen, selbsterregend angehen soll.

Die Bezeichnung rechts- und linksgängig ist willkürlich. Denkt man sich vor dem Kollektor stehend, und verfolgt man, von irgend einem Kollektorsegmente ausgehend, die Wicklung derart, daß bei Ringwicklung zunächst ein auf der inneren Seite des Ringes liegender Draht und bei Trommelwicklungen derjenige Draht, welcher die kürzeste Verbindung zwischen Kollektor und Armaturstab bzw. Armaturumfang bildet, folgt, so heißt die Wicklung rechtsgängig, wenn wir am Anker im Sinne des Uhrzeigers vorwärts schreiten, und linksgängig, wenn wir in dem Uhrzeiger entgegengesetzten Sinne uns bewegen.

Bei dem Befolgen dieser Regel finden wir, daß der in Fig. 202 dargestellte Ringanker rechtsgängige und der in Fig. 203 dargestellte

linksgängige Wicklung hat. Die Wicklungsrichtung ist in beiden Figuren mit  $a b c d$  bezeichnet.

Für die in Fig. 70 abgebildete Trommelwicklung erhalten wir den Wicklungssinn  $a-1-1'-b-2-2'-c$  u. s. f., dieselbe ist somit rechtsgängig. Die Fig. 72 gibt eine linksgängige Wicklung. Für Fig. 74 ist der Wicklungssinn unbestimmt, denn die Entfernungen  $a1$  und  $a8'$  u. s. f. der Kollektorlamellen von dem Armaturumfang sind gleich groß.



Eig. 202.

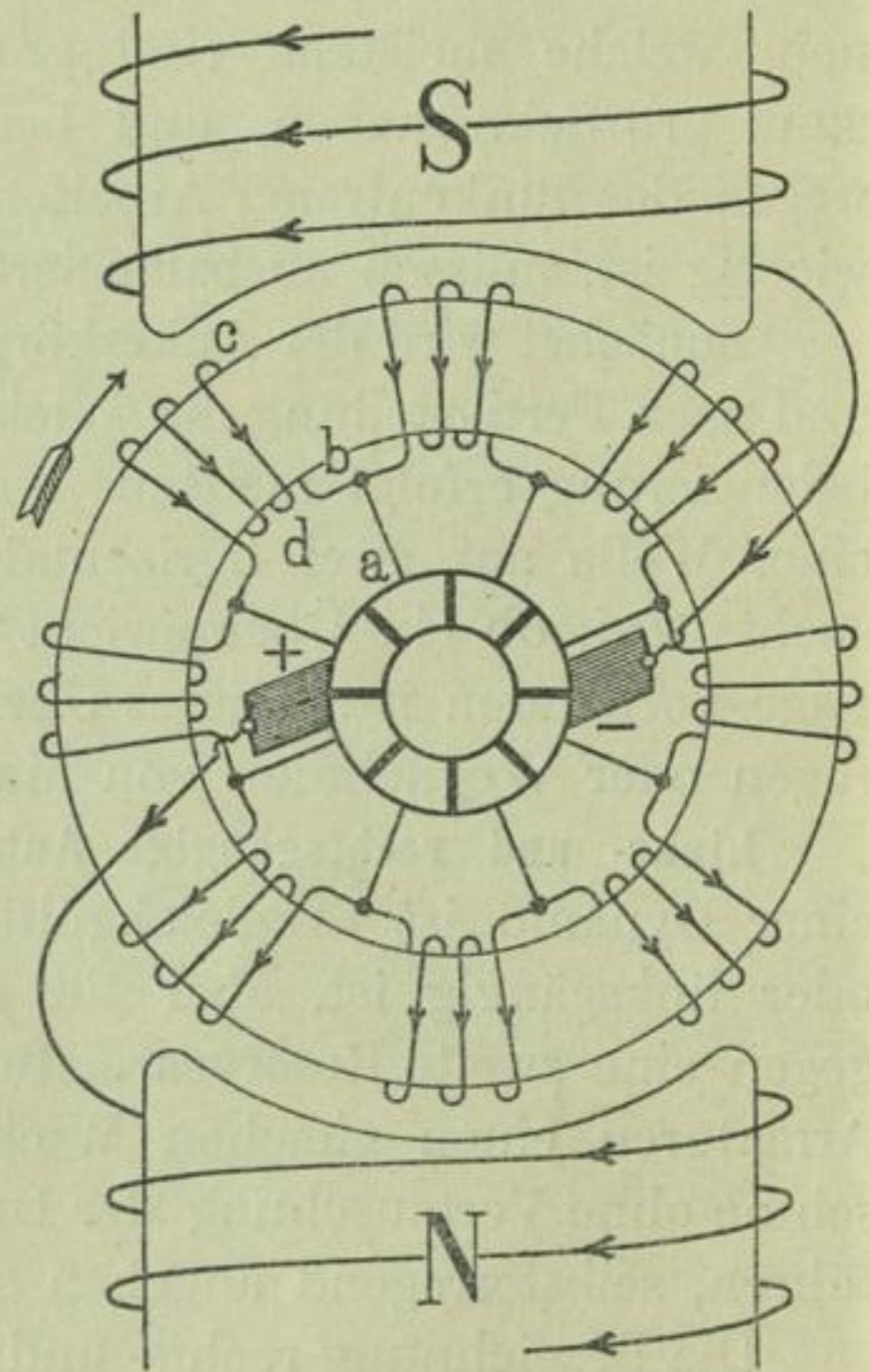


Fig. 203.

Denken wir uns nun, eine Dynamomaschine (Fig. 202) sei mit einem rechtsgängig gewickelten Anker in Betrieb gesetzt, so erhalten wir in obiger Figur oben einen Südpol und unten einen Nordpol. Wechseln wir nun den Anker gegen einen solchen mit linksgängiger Wicklung aus und verbinden die Bürsten in derselben Weise (Fig. 203) mit der Magnetwicklung wie früher, so wird die Maschine nicht selbsterregend angehen. Wir haben oben einen remanenten Südpol und unten einen remanenten Nordpol, während der im Anker induzierte Strom oben einen Nordpol und

unten einen Südpol zu erregen sucht. Um ein Angehen der Maschine zu erreichen, müßte sie entweder umpolarisiert werden, oder die Verbindungen der Bürsten mit der Magnetwicklung sind zu vertauschen, oder es ist die Drehrichtung des Ankers umzukehren.

Um diesen Umständlichkeiten zu entgehen, ist es zweckmäßig, in einer Fabrik die Regel aufzustellen, entweder nur rechtsgängige oder nur linksgängige Wicklungen auszuführen.

Für Trommelanker mit unbestimmtem Wicklungssinne, wohin sämtliche Stabwicklungen mit symmetrischen Abkröpfungen der Stäbe oder symmetrisch gebogenen Verbindungsgabeln gehören, ist die Lage der positiven und negativen Bürste unabhängig von der Wicklungsrichtung und der Drehrichtung des Ankers.

### Die Konstruktion des Kollektors.

Der Kollektor ist einer beständigen und unter ungünstigen Verhältnissen einer raschen Abnutzung unterworfen, unter günstigen Betriebsverhältnissen, d. h. bei funkenfreiem Gange und richtiger Wahl des Materials der Lamellen und der Bürsten kann er aber viele Jahre halten.

Das funkenfreie Arbeiten eines Kollektors hängt im wesentlichen von der Konstruktion der Dynamo ab, aber die Konstruktion des Kollektors selbst ist ebenfalls von Bedeutung. Hierbei kommt besonders die Zahl und das Material der Lamellen, die Isolation der einzelnen Lamellen gegen einander, die Isolation des ganzen Kollektors gegen die Kollektorbüchse und die Befestigung der Lamellen in Betracht.

**Die Zahl der Lamellen.** Die Zahl der am Kollektorumfange auftretenden Pole oder die Zahl der möglichen Bürstenlagen ist unabhängig von der Art der Ankerwicklung, d. h. sowohl für Reihen- als Parallelschaltung stets gleich der Polzahl der Maschine ( $= 2p$ ). Ist daher die Klemmenspannung oder die Spannung zwischen zwei benachbarten Bürsten  $= E$  und die Zahl der Kollektorlamellen  $= k$ , so wird die Spannungsdifferenz zwischen zwei benachbarten Lamellen

$$= \frac{2pE}{k}.$$

Diese Spannungsdifferenz muß so klein sein, daß das Bestehen eines Lichtbogens zwischen zwei Lamellen, nachdem dieselben

den Kurzschluss verlassen haben, unmöglich ist. Hierbei kommt nicht nur die Spannungsdifferenz, sondern auch die Stromstärke  $J$ , welche eine Lamelle führt, in Betracht.

Für Stromstärken von 1—100 Amp. soll

$$\frac{2 p E}{k} \leq 45 - 0,2 J \text{ Volt}$$

sein, für Stromstärken über 100 Amp. sei

$$\frac{2 p E}{k} \leq 20 \text{ bis } 25 \text{ Volt.}$$

Das Entstehen von Lichtbogen, die einen momentanen Kurzschluss von Bürste zu Bürste unter heftigem Knall verursachen können, ist nur bei Hochspannungsmaschinen zu befürchten, und nur bei diesen kommen die gegebenen Regeln zur Anwendung.

Für Niederspannungsmaschinen muß der Effektverlust infolge Kurzschluss, welcher von der Stromstärke  $i$  pro Armaturstromzweig und dem Selbstinduktionskoeffizienten der Armatur abhängt, und die Kurzschlussstromstärke in Betracht gezogen werden. Je größer die Stromstärke und der Selbstinduktionskoeffizient, bzw. die Windungszahl der Armatur wird, um so größer muß die Lamellenzahl werden.

Mit zulässigen Annäherungen gelangt man auf analytischem Wege, indem man von dem Effektverluste, der beim Kurzschlusse der Armaturspulen entsteht, ausgeht, zu der Formel

$$k = c \cdot N \cdot \sqrt{i},$$

worin  $c$  eine Konstante, welche von dem Typus der Maschine abhängt,  $N$  die Drahtzahl am Umfange der Armatur und  $i$  die Stromstärke pro Draht bedeutet.

Ich habe diese Formel an vielen ausgeführten Armaturen innerhalb weiter Grenzen geprüft und gefunden, dafs man im Mittel etwa setzen darf

$$k \geq 0,04 \cdot N \cdot \sqrt{i}.$$

Nur bei wenigen Ankern fand ich kleinere Lamellenzahlen, öfters jedoch bedeutend größere. Im allgemeinen soll die Lamellenzahl so groß als möglich gewählt werden.

Die Zahl derselben wird durch den Kollektordurchmesser, welcher jedenfalls den Armaturdurchmesser nicht überschreiten soll, und durch die kleinste zulässige Stärke der Lamellen, die etwa 5 bis 6 mm beträgt, beschränkt. Diese Grenze wird jedoch nur in

Ausnahmefällen erreicht, auch ist der Kollektordurchmesser meistens erheblich kleiner, als der Ankerdurchmesser.

Die Zahl der Kollektorlamellen muß ferner so gewählt werden, daß auf jede Lamelle eine bestimmte Zahl von Armaturwindungen fällt, und dabei ist zu beachten, daß bei Ringwicklung ein Draht und bei Trommelwicklung zwei Drähte am Umfange des Ankers zu einer Windung gehören.

Es ist zwar nicht erforderlich, daß an jede Lamelle gleich viel Windungen angeschlossen werden. Unter Umständen ist es schwierig, die gewünschte Lamellenzahl auch nur annähernd zu erhalten, wenn man die Windungszahl gleichmäßig auf alle Lamellen verteilen will, und man ist genötigt, eine andere Verteilung vorzunehmen.

Soll z. B. ein Trommelanker 192 Armaturdrähte oder 96 Windungen erhalten, so können diese Windungen, wie folgt, an den Kollektor angeschlossen werden:

Lamelle Nr.	1	2	3	4	5	6	Zahl der Lamellen
Windungen pro Lamelle	1	1	1	1	1	1	96
oder	2	1	2	1	2	1	64
oder	2	2	2	2	2	2	43
oder	3	3	3	3	3	3	32

Es ist nun möglich, daß 96 Lamellen zu viel und 43 zu wenig sind, so daß man sich zu der ungleichen Verteilung der Windungen auf 64 Lamellen entschließen muß.

**Das Material und die Gestalt der Lamellen.** Die Lamellen werden entweder aus stark kupferhaltiger Phosphorbronze gegossen, aus Kupferbarren in Gesenke geschmiedet oder aus gezogenem, hartem Profilkupfer ausgesägt.

In allen Fällen muß das Material sehr homogen sein und sämtliche Lamellen eines Kollektors müssen gleiche Härte haben.

Verschiedene Formen von Lamellen sind aus den folgenden Figuren ersichtlich. Der Winkel  $\alpha$  (Fig. 204), unter welchem die Kollektorbüchse die Lamellen faßt, soll  $45^\circ$  bis  $60^\circ$  betragen.

Die Stärke der Lamellen richtet sich nach der Stärke der Armaturleiter und dem Durchmesser des Kollektors. Wenn möglich, geht man nicht unter eine Stärke von 8 bis 10 mm.

**Die Breite und der Durchmesser des Kollektors.** Die Breite des Kollektors wird durch die Zahl und Breite der Bürsten bestimmt.

Um die Breite der Bürsten zu berechnen, ermittelt man zunächst die Größe der Berührungsfläche, welche erforderlich ist, um ein übermäßiges Erwärmen der Bürsten zu vermeiden.

Für Metallbürsten soll die Berührungsfläche der Bürsten mit dem Kollektor pro Ampere mindestens 3 bis 4 qmm und für Kohlenbürsten 12 bis 25 qmm betragen. Bezeichnet  $q$  die Berührungsfläche und  $J$  die Stromstärke pro Bürstensatz (Bürsten, welche auf demselben Stifte sitzen), so wird also

$$\begin{aligned} q &\geq 3 \text{ bis } 4 J \text{ für Metallbürsten,} \\ q &= 12 \text{ » } 25 J \text{ » Kohlenbürsten.} \end{aligned}$$

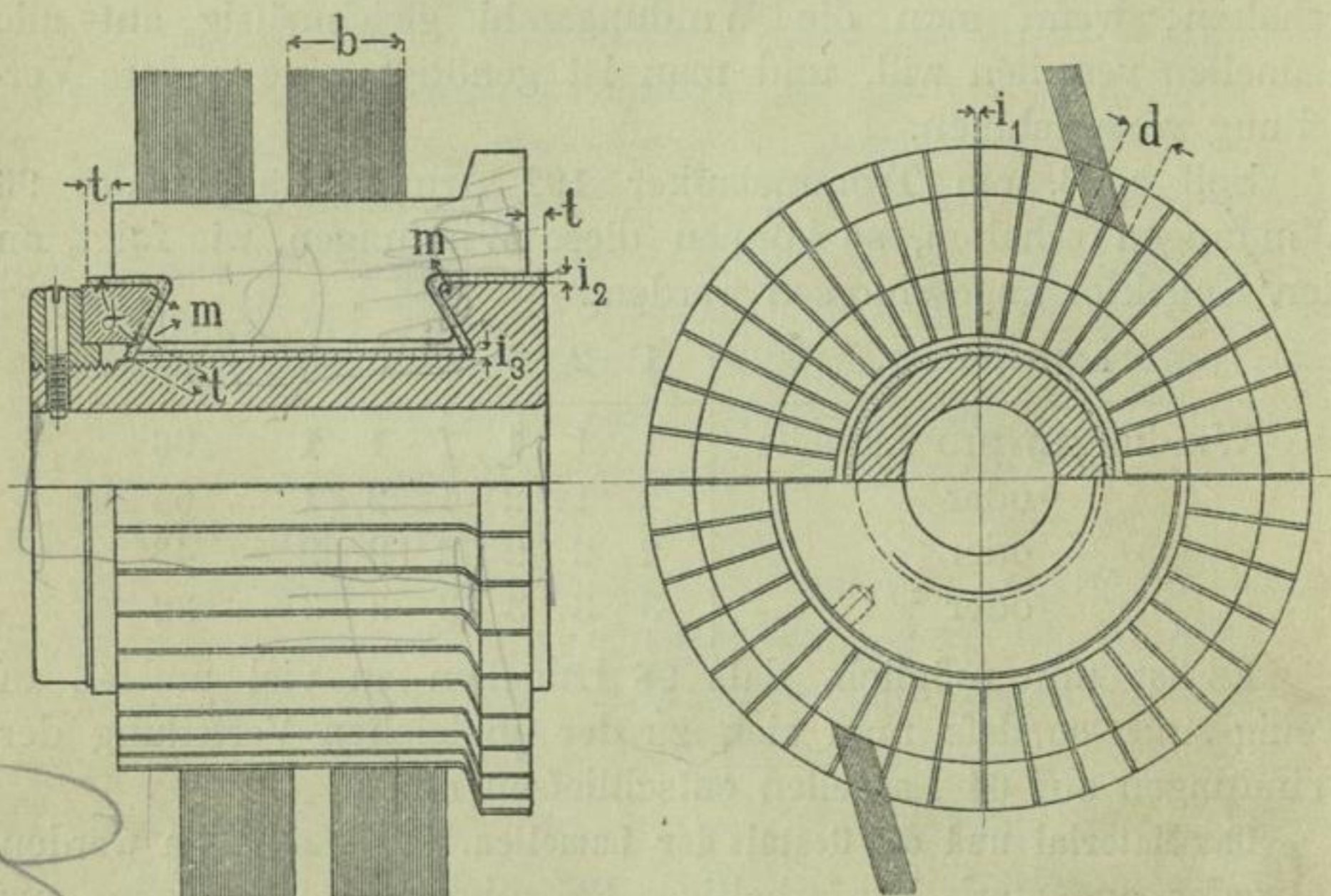


Fig. 204.

Bei Kohlenbürsten kann  $q$  um so kleiner gewählt werden, je größer die Abkühlungsfläche der Kohle im Verhältnis zu deren Querschnitt ist. Für Kohlenbürsten, welche z. B. aus bleistiftstarken Kohlenstiften zusammengesetzt sind, oder aus Platten bis etwa 10 mm Dicke bestehen, und die mit dem Metalle des Bürstenhalters einen guten Kontakt haben, kann  $q = 12$  bis  $15 J$  gewählt werden.

Bezeichnet (Fig. 204)  $b$  die Breite und  $d$  die Stärke der Bürste an der Berührungsstelle in mm, so ergibt sich die Summe der Bürstenbreiten

$$\Sigma b = \frac{q}{d}.$$

Die üblichen Bürstenbreiten für grössere Stromstärken betragen 40 bis 50 mm, woraus sich die Zahl der Bürsten bestimmen läßt. Auch für kleine Stromstärken werden zweckmässig zwei nebeneinanderliegende schmale Bürsten verwendet, obwohl die Berührungsfläche dann sehr reichlich ausfällt. —

Um eine ungleiche Abnutzung der Fläche des Kollektors zu vermeiden, werden die Bürsten so gegeneinander versetzt, wie in Fig. 204 angegeben ist, so daß die Lücke, welche zwei benachbarte Bürsten offen lassen, durch die in der Drehrichtung folgenden Bürsten gedeckt werden. —

Nachdem die Zahl und Lage der Bürsten bestimmt ist, läßt sich die Breite des Kollektors leicht ermitteln. Die Breite ist zum Teil auch vom Durchmesser abhängig. Je grösser der Durchmesser, desto stärker werden die Kollektorlamellen, und desto grösser kann die Auflagebreite  $d$  der Bürsten gewählt werden. Durchschnittlich kann  $d$  das 1, 1 $\frac{1}{2}$  bis 2 fache der Lamellenstärke sein.

**Der Einfluß des Lamellenquerschnittes auf die Erwärmung des Kollektors.** Der Querschnitt der Lamellen wird in allen Fällen schon aus konstruktiven Rücksichten so groß, daß derselbe für die Stromleitung reichlich genügt.

Für Anker mit geringen Spannungen und hohen Stromstärken, wie dieselben z. B. für elektrolytische Zwecke gebaut werden, erhält man wegen der geringen Lamellenzahl und der großen Berührungsflächen für die Bürsten sehr große Lamellenquerschnitte. Bei solchen Ankern zeigt sich gerne die Erscheinung, daß der Kollektor sich im Lauf des Betriebes stark erwärmt, während die übrigen Teile des Ankers verhältnismässig kühl bleiben. Nach meiner Ansicht ist diese Erwärmung nur durch das Auftreten von Wirbelströmen in den Lamellen zu erklären.

Die massiven Lamellen bewegen sich in einem stehenden magnetischen Felde, welches durch den den Bürsten zufließenden Strom erzeugt wird. In Fig. 205 ist angenommen, daß der Strom an vier Stellen fortgeleitet wird; denkt man sich die zu- und abfließenden Stromstärken durch die punktiert gezeichnete Resultante ersetzt, so liegen die magnetischen Kraftlinien zum großen Teil in der Richtung der Ebenen  $a_1 b_1$ ,  $a_2 b_2$ ,  $a_3 b_3$  und  $a_4 b_4$ ; in der Seitenansicht erscheinen dieselben als Ellipsen.

Je grösser die Stromstärke und der Querschnitt der Lamelle werden, desto stärker wird die Erwärmung durch Wirbelströme.

Die Stromstärke pro Lamelle soll daher nicht mehr als 600 bis höchstens 700 Amper betragen. Ein Unterteilen der Lamellen oder das Zusammensetzen einer Lamelle aus mehreren schmalen Streifen, von denen außerdem jeder einzelne mit dem betreffenden Knotenpunkte der Wicklung verbunden werden kann, würde hier von Nutzen sein.

**Die Isolation des Kollektors.** Für die seitliche Isolation  $i_1$  (Fig. 204) der Kollektorlamellen wird hauptsächlich Glimmer (Mica), Prefsspan und Asbest verwendet oder auch Prefsspan und Glimmer oder Asbest und Glimmer gemeinschaftlich. — Das beste Material hierzu ist unbedingt weicher Glimmer. Glimmer besitzt

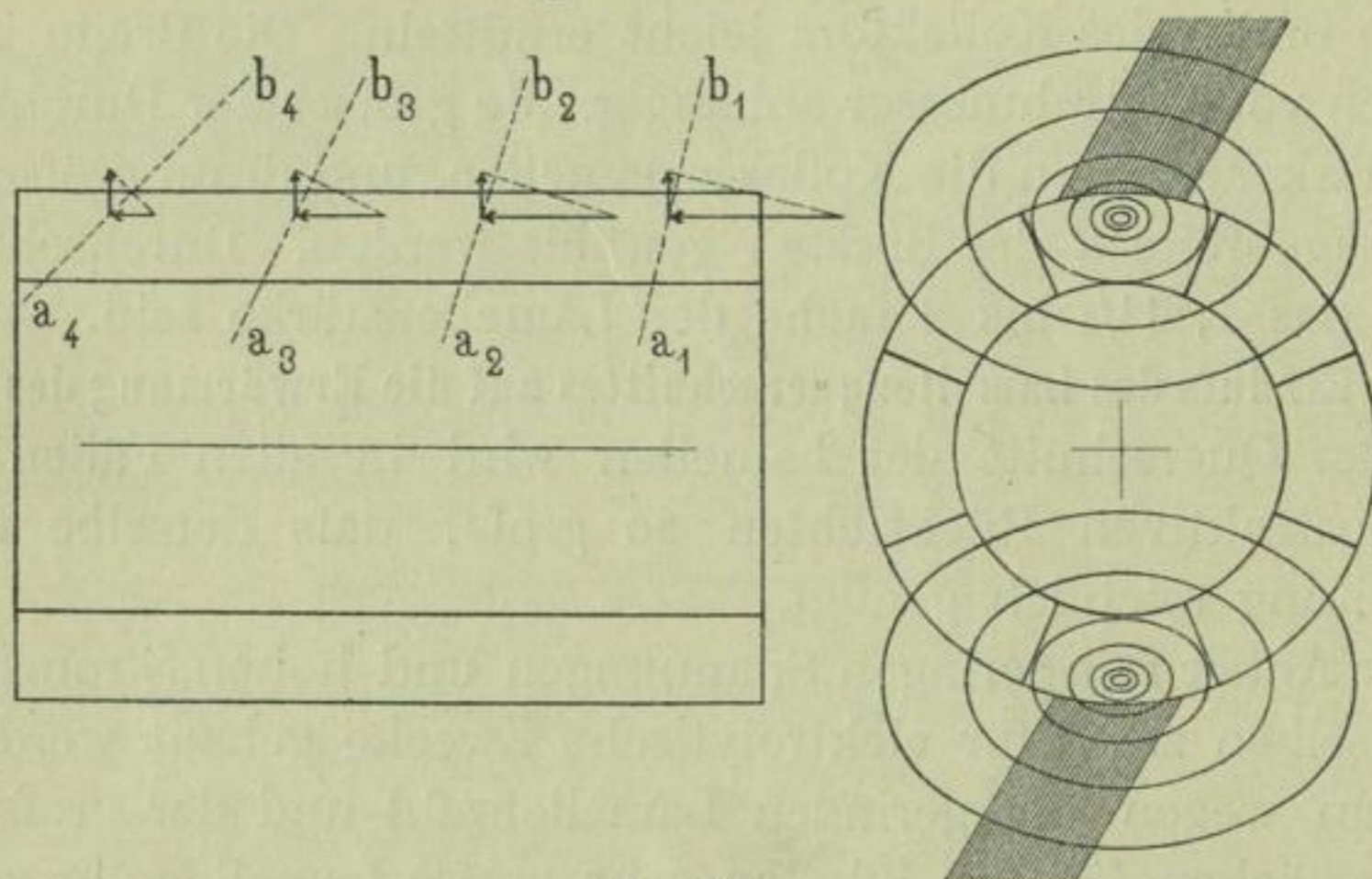


Fig. 205.

die größte Isolationsfähigkeit, er ist nicht hygroskopisch, und Kollektoren mit Glimmerisolation können, ohne daß die Isolation geschädigt wird, im Betriebe von Zeit zu Zeit leicht geschmiert werden, was zur Schonung des Kollektors beiträgt. Für Anker, welche Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, wie z. B. Anker von Strafsenbahnmotoren, oder welche in feuchten Räumen betrieben werden, darf nur Glimmer verwendet werden.

Der Prefsspan ist billiger als Glimmer und wird für Dynamos, welche in trockenen Räumen aufgestellt werden können, was z. B. für Beleuchtungsmaschinen fast immer zutrifft, vielfach verwendet. Das gleiche gilt vom Asbest. Viele Fabriken verwenden jedoch für die seitliche Isolation der Lamellen grundsätzlich nur Glimmer.

Besondere Sorgfalt ist der Isolation der Kollektorlamellen gegen die Kollektorbüchse zu widmen, denn hier kommt die volle



Spannung der Maschine in Betracht. Diese Isolation  $i_2$  und  $i_3$  (Fig. 204) der Enden und des inneren Umfanges der Lamellen wird aus Papier, Pressspan, Asbest und bei Trambahnmotoren und Hochspannungsmaschinen vielfach aus Glimmer oder Micanit hergestellt. In letzterem Falle kann die Endisolation, wie in Fig. 206 dargestellt ist, aus einem cylindrischen und einem kegelförmigen Teil zusammengesetzt werden. Die Micanitfabrikanten liefern jedoch diese Endisolationen auch in einem Stücke.

Die Isolation  $i_3$  am inneren Umfange ist nur dann erforderlich, wenn der Luftabstand der Lamellen von der Kollektorbüchse keine genügende Isolation bietet. Die Stärke der Isolation kann nach den Angaben der folgenden Tabelle bemessen werden.

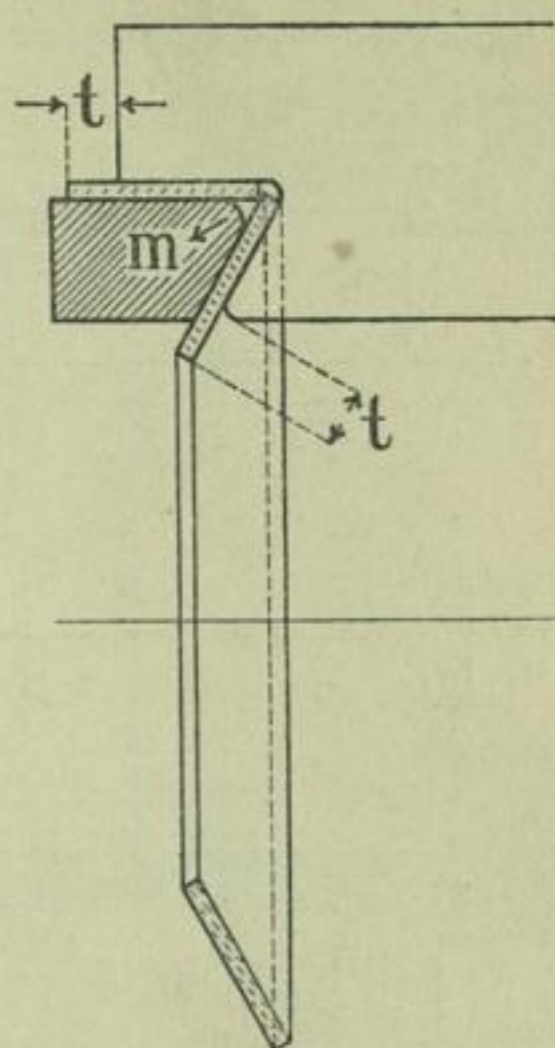


Fig. 206.

Für Spannungen bis	$i_1$ mm	$i_2$ und $i_3$ mm
250 Volt	0,5—0,8	1,5—3
1000 „	0,6—1	2,5—4
über 1000 „	1—1,2	3—5

Damit die Isolation beim Zusammensetzen des Kollektors nicht beschädigt wird, sind (Fig. 204 u. 206) die Kanten  $m$  der Kollektorbüchse gut abzurunden. Die Isolation soll, insbesondere bei Hochspannungsmaschinen, auf allen Seiten um eine Strecke  $t$  über die Lamellen vorstehen.

**Beispiele von Kollektorkonstruktionen.** In den Fig. 207 bis 220 sind 14 verschiedene Konstruktionen von Kollektoren dargestellt, welche zum größten Teil ausgeführten Maschinen entnommen sind, und zwar

Fig. 207, 215 Maschinen der E. A., vorm. Schuckert & Co.,  
 Fig. 208, 210, 219 Maschinen der Maschinenfabrik Oerlikon,  
 Fig. 209, 211, 216, 218 Maschinen der E. A. G. vorm. Lahmeyer & Co.,

Fig. 214 einer Maschine von Siemens & Halske,  
 Fig. 217 einer Maschine von Brown, Boveri & Co.

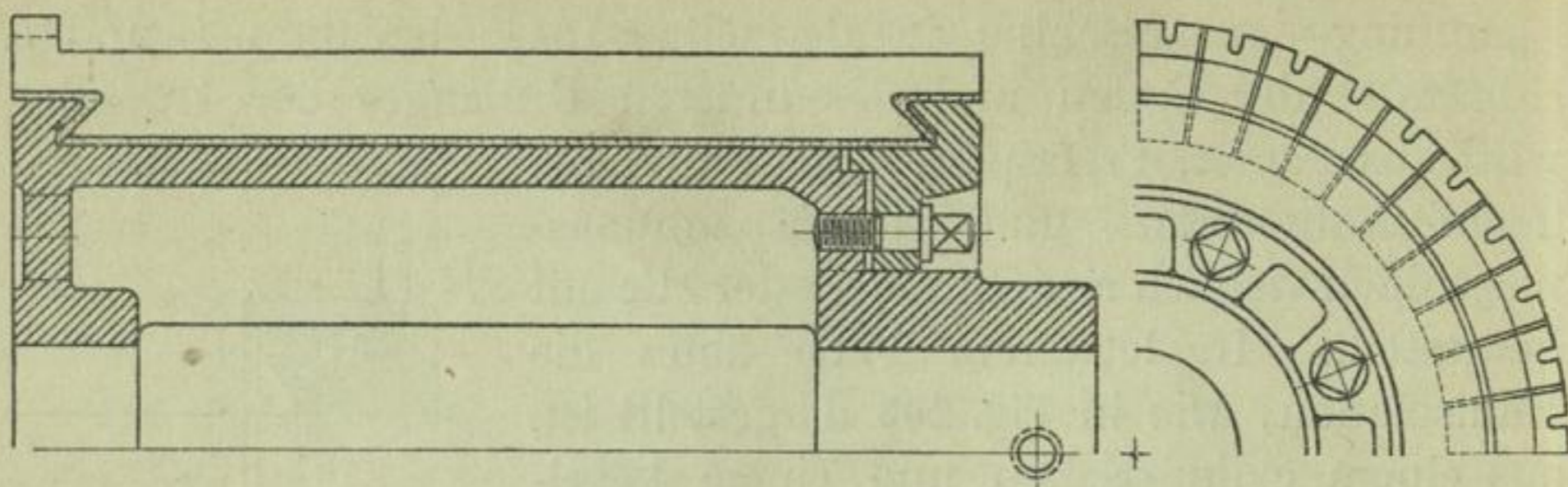


Fig. 207.

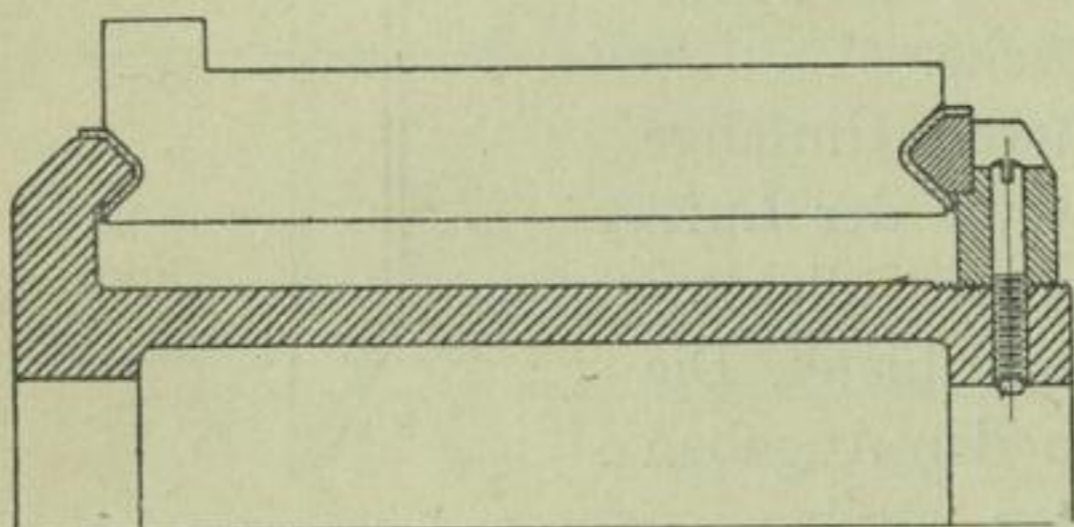


Fig. 208.

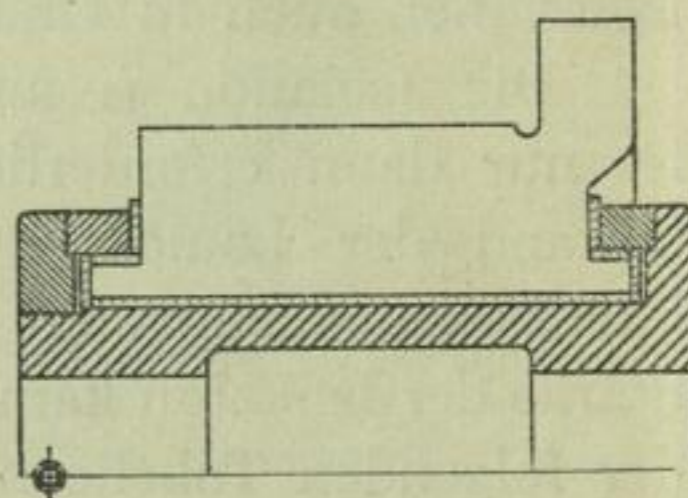


Fig. 209.

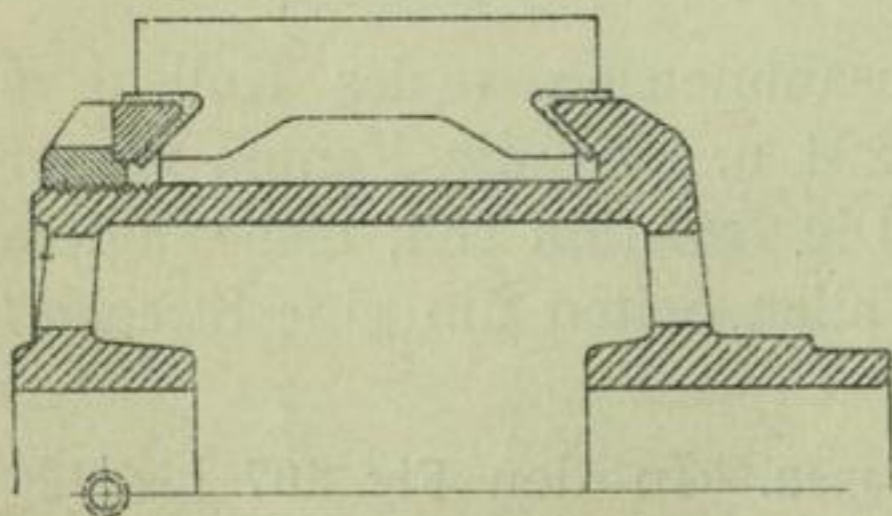


Fig. 210.

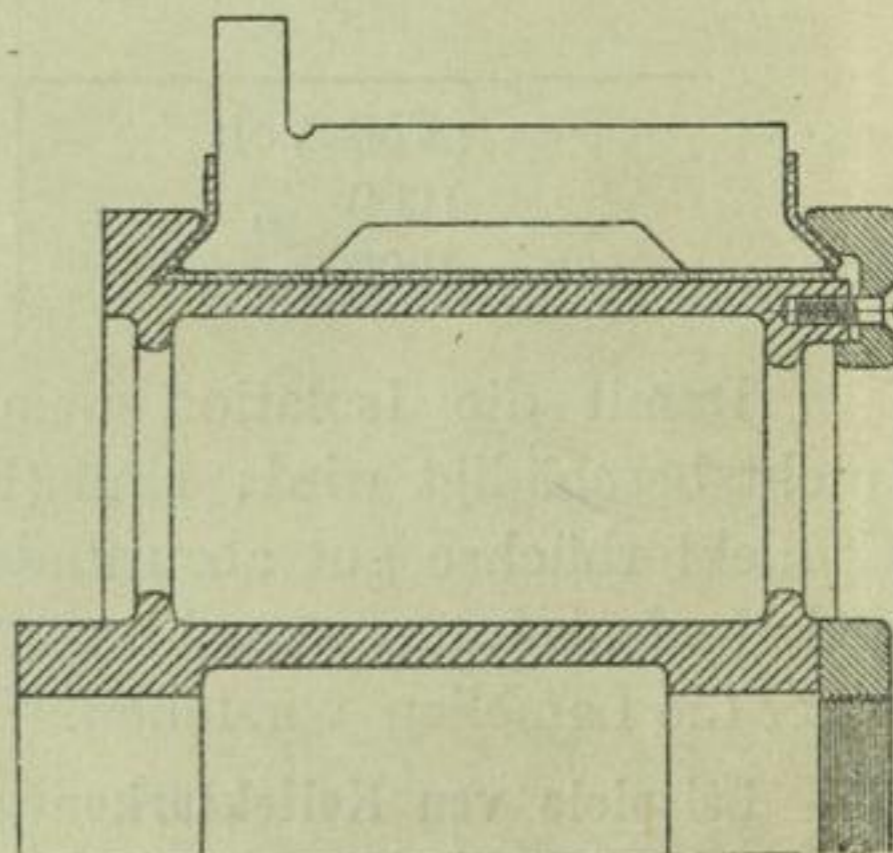


Fig. 211.

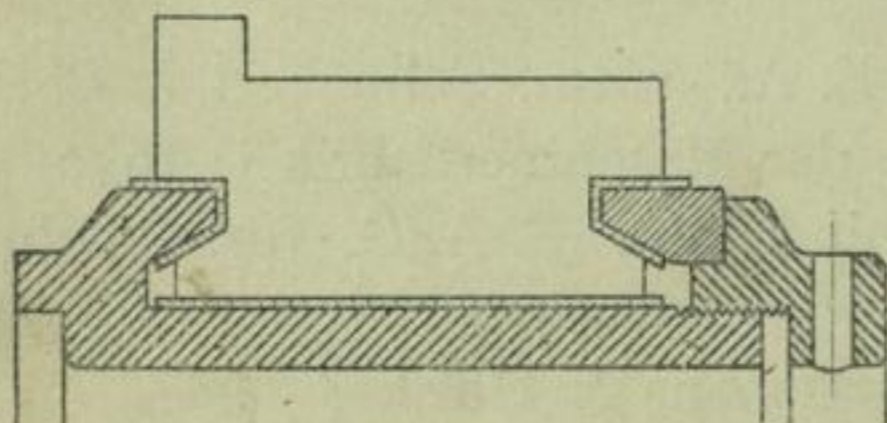


Fig. 212.

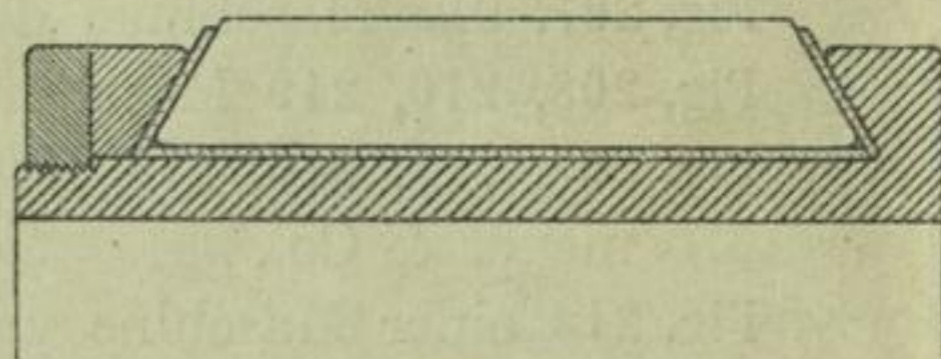


Fig. 213.

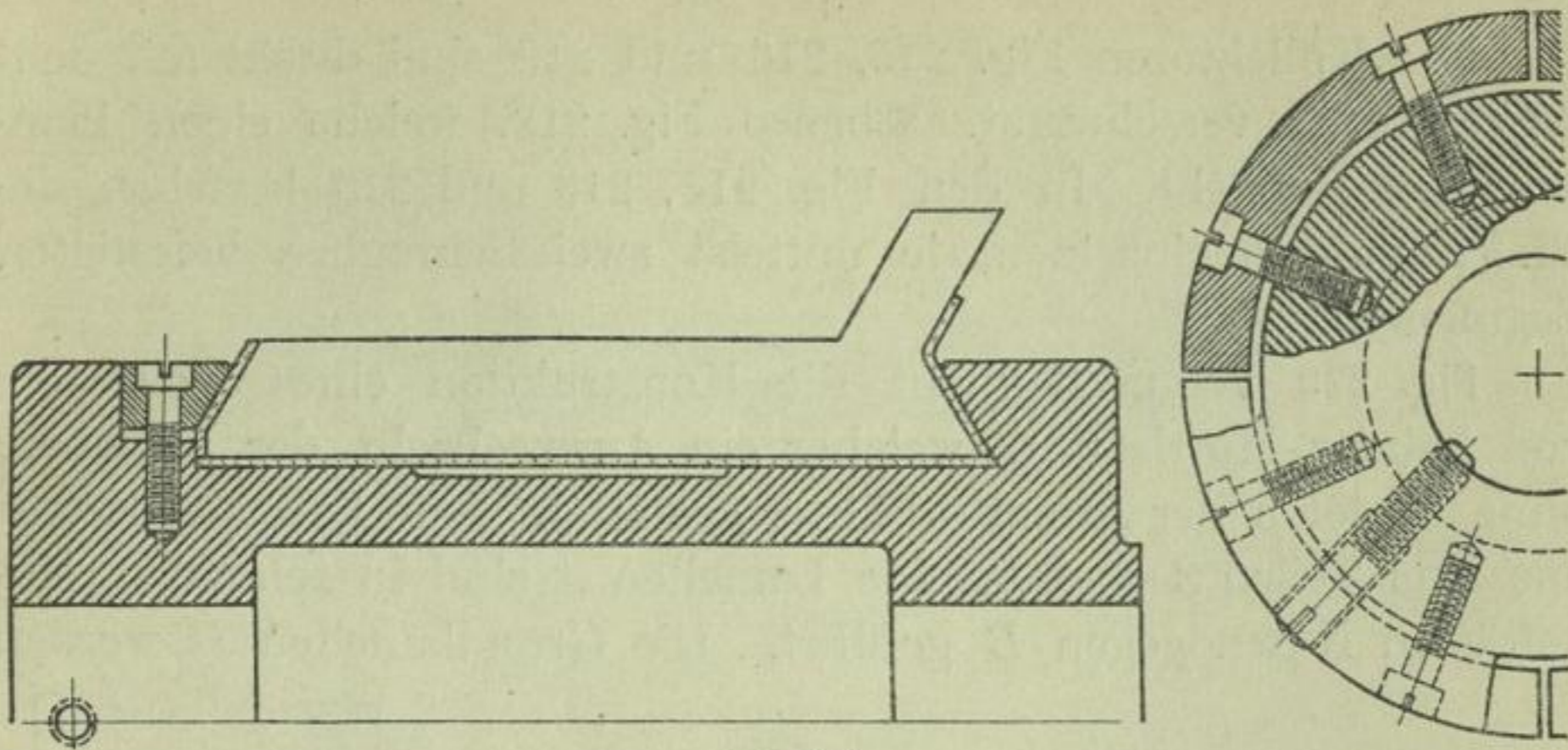


Fig. 214.

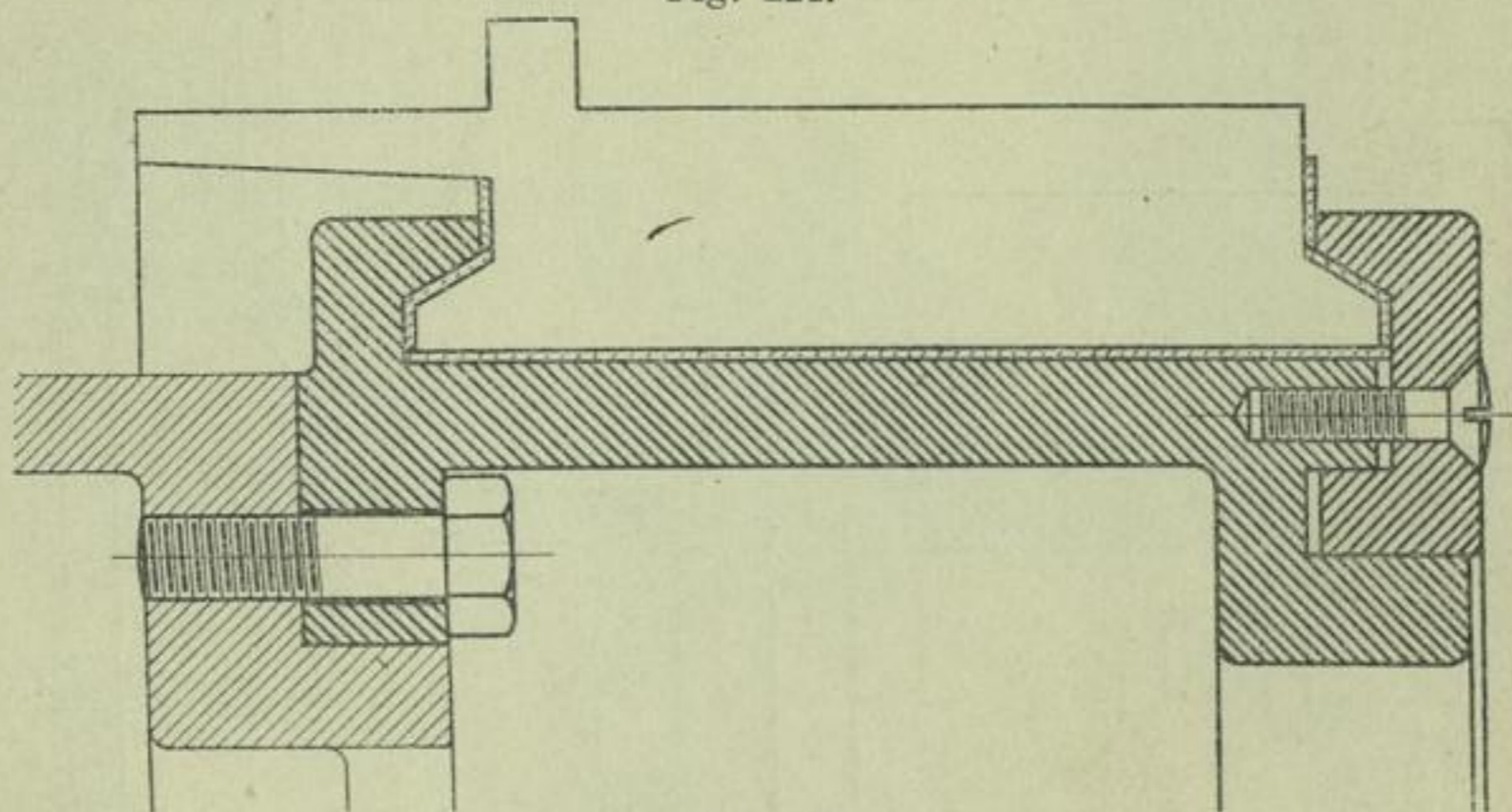


Fig. 215.

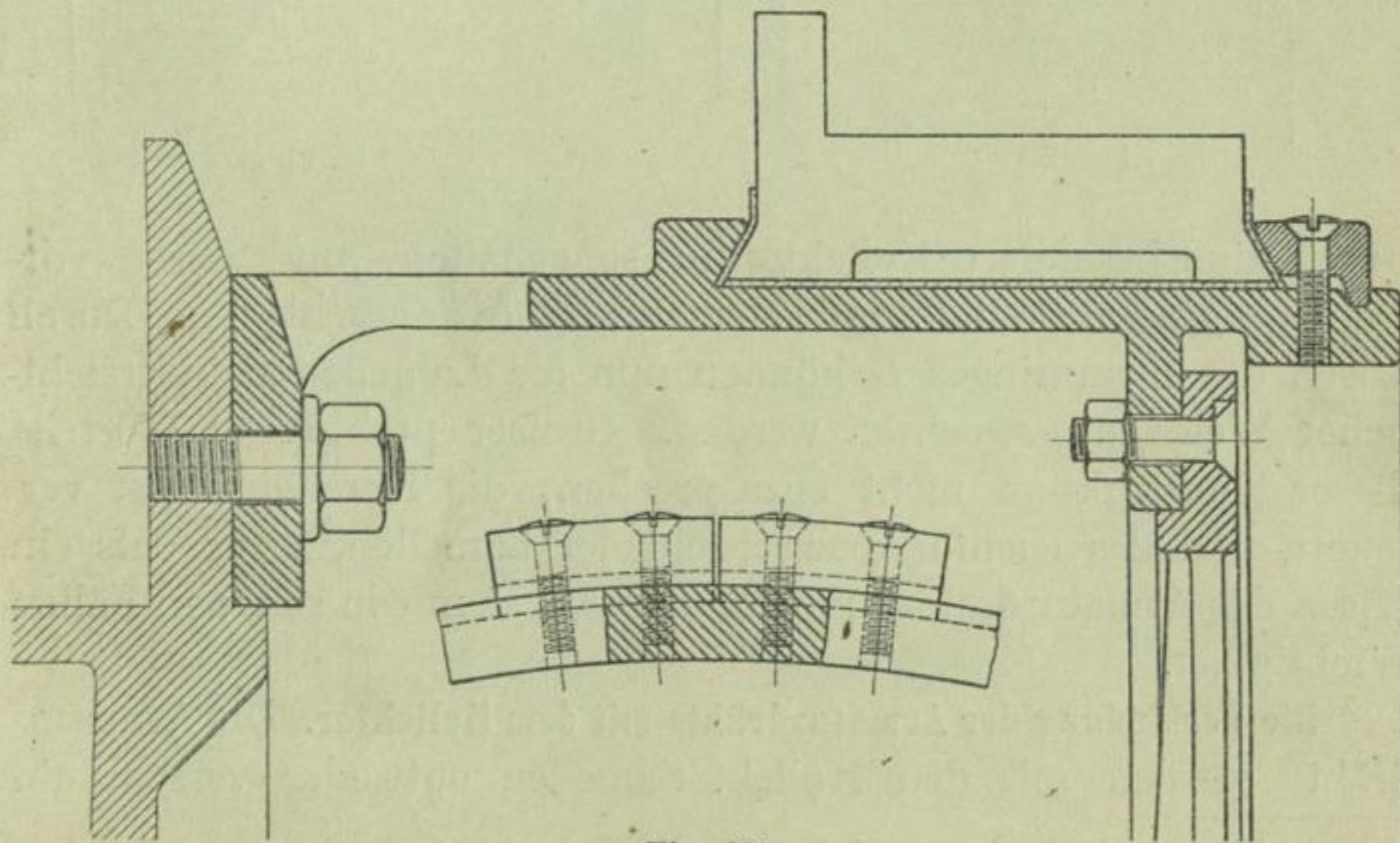


Fig. 216.

Die Kollektoren Fig. 215, 216 und 219 sind direkt mit dem Ankerkörper verschraubt. Ebenso Fig. 218, welche einen Plankollektor darstellt. In den Fig. 214, 216 und 218 bestehen die Pressringe aus einzelnen, je mittelst zwei Schrauben befestigten Segmenten.

Fig. 220 veranschaulicht die Konstruktion eines Kollektors von Painter-Morrison<sup>1)</sup>, welcher ein Auswechseln der Lamellen, ohne Loslöten der Armaturdrähte, gestattet. Jede Lamelle besteht aus zwei Teilen *A* und *B*. Die Lamellen *A* sind in schmalen, eingefrästen Nuten gegen *B* geführt. Die Grundlamellen *B* werden

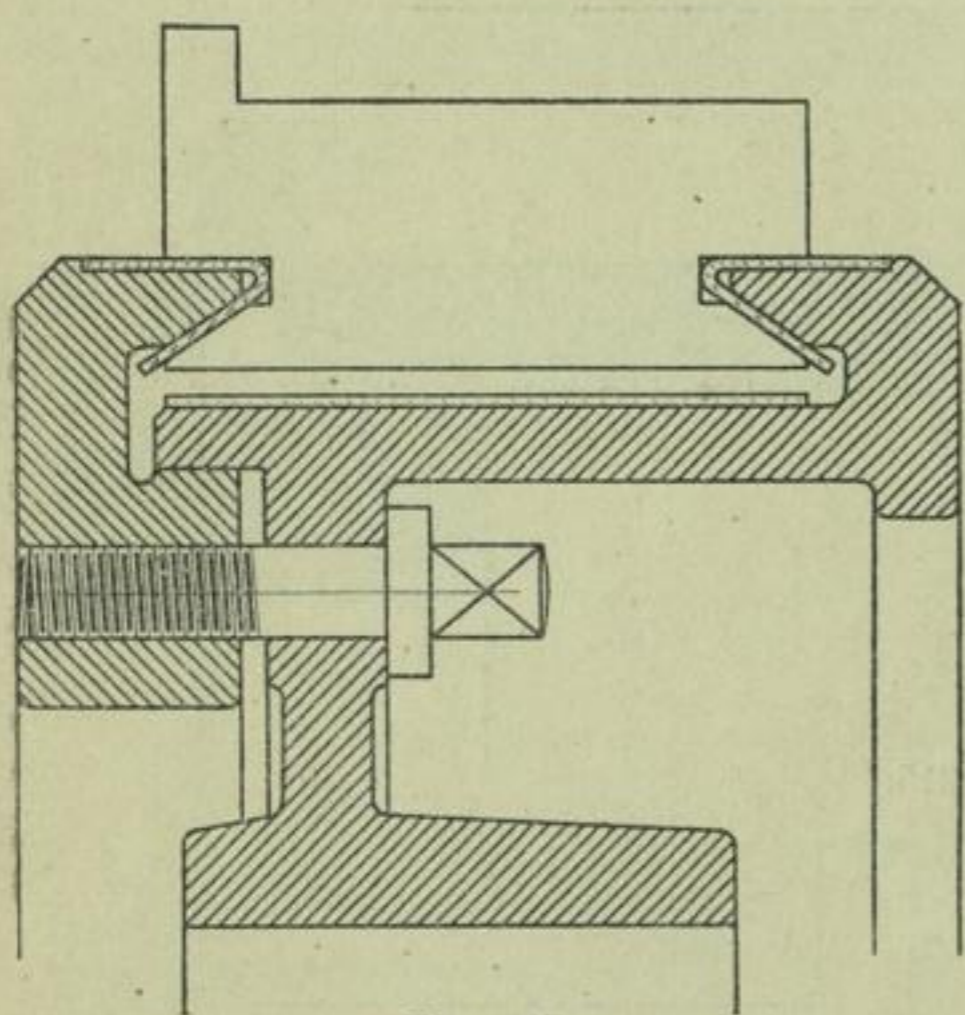


Fig. 217.

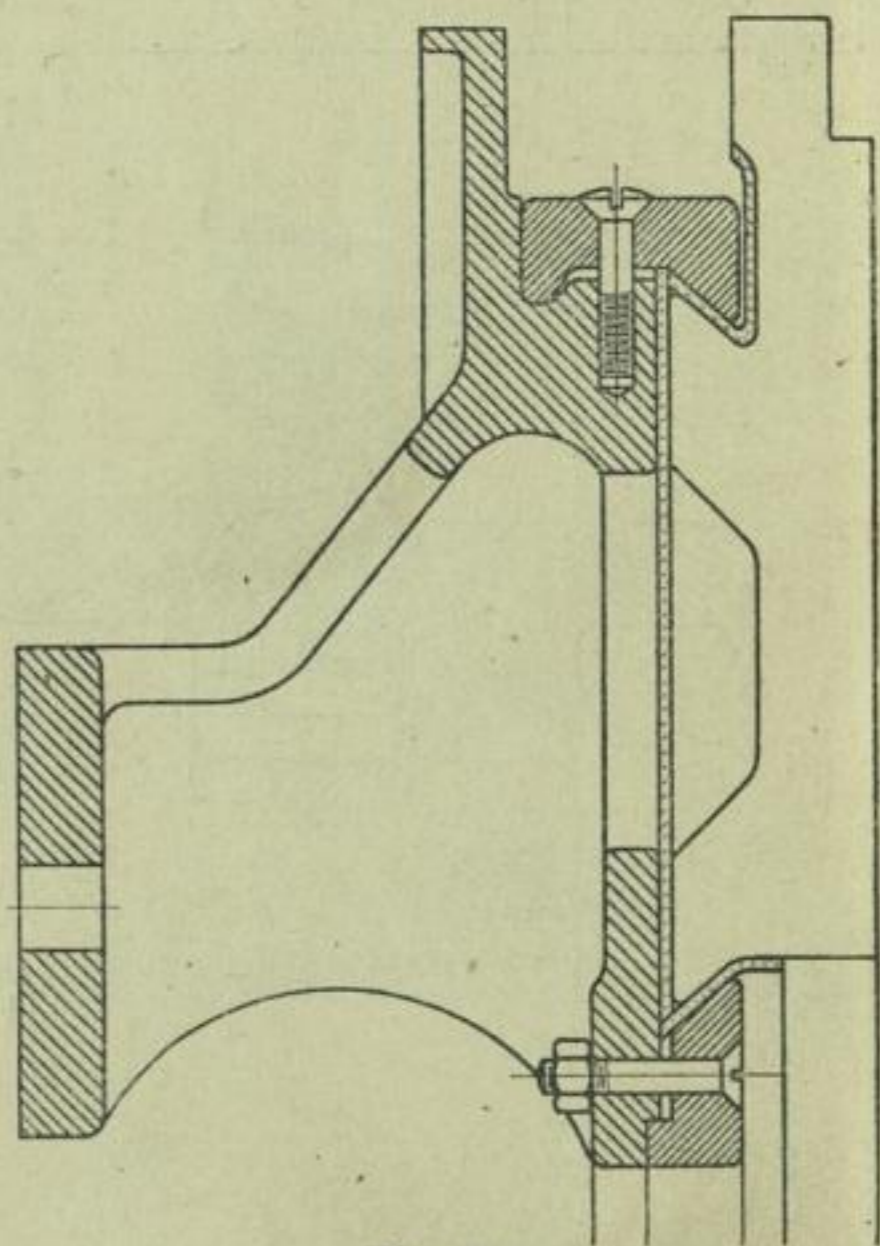


Fig. 218.

durch eine besondere Kollektorbüchse gehalten, und deren vorstehende Enden *C* sind an die Armaturdrähte angeschlossen. Durch Lösen des Spannrings *D* können nun die Lamellen *A* in ersichtlicher Weise ausgewechselt werden. Großer praktischer Wert ist dieser Konstruktion nicht zuzusprechen, die Herstellung ist verteuert, und das leichte Auswechseln der Lamellen, ohne daß ein Lösen des Armaturdrahtes notwendig ist, hat nur in seltenen Fällen Wichtigkeit.

**Die Verbindung der Armaturdrähte mit dem Kollektor.** Die Armaturdrähte werden mit den Kollektorlamellen entweder verschraubt

<sup>1)</sup> Electrical Engineer Vol. XIX, 1895, p. 372.

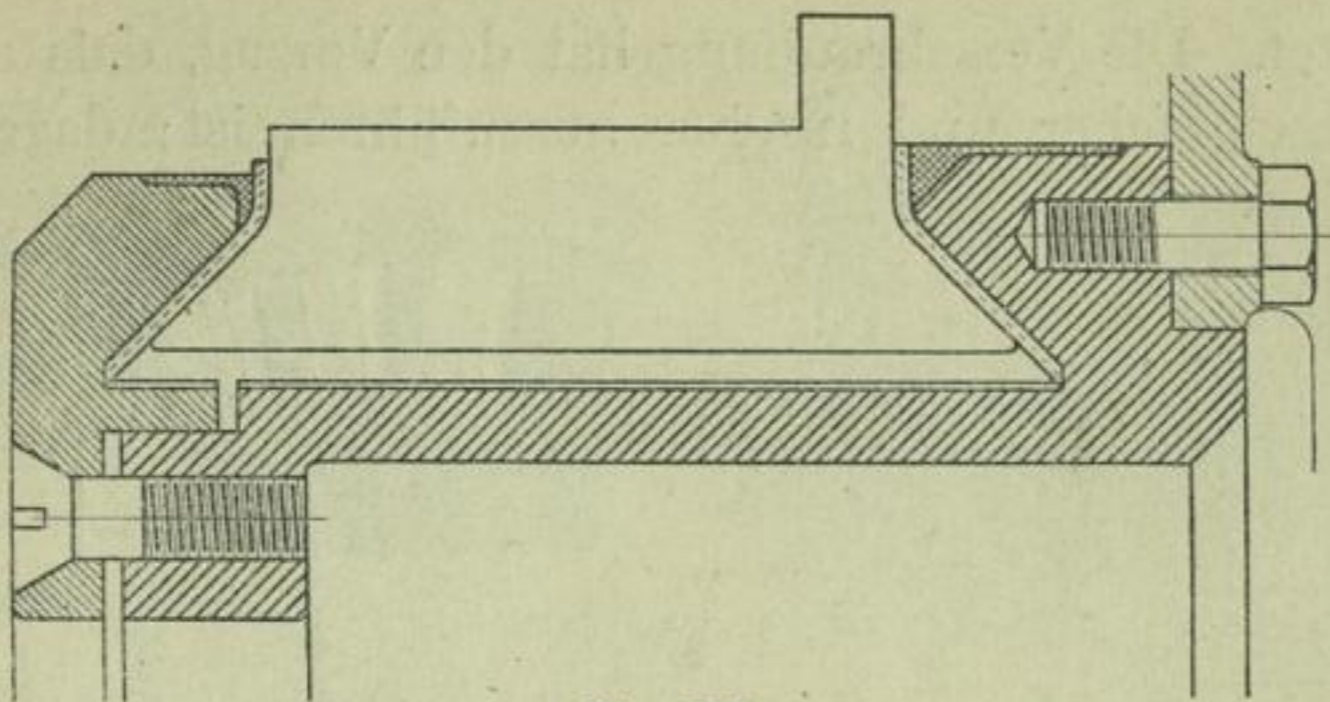


Fig. 219.

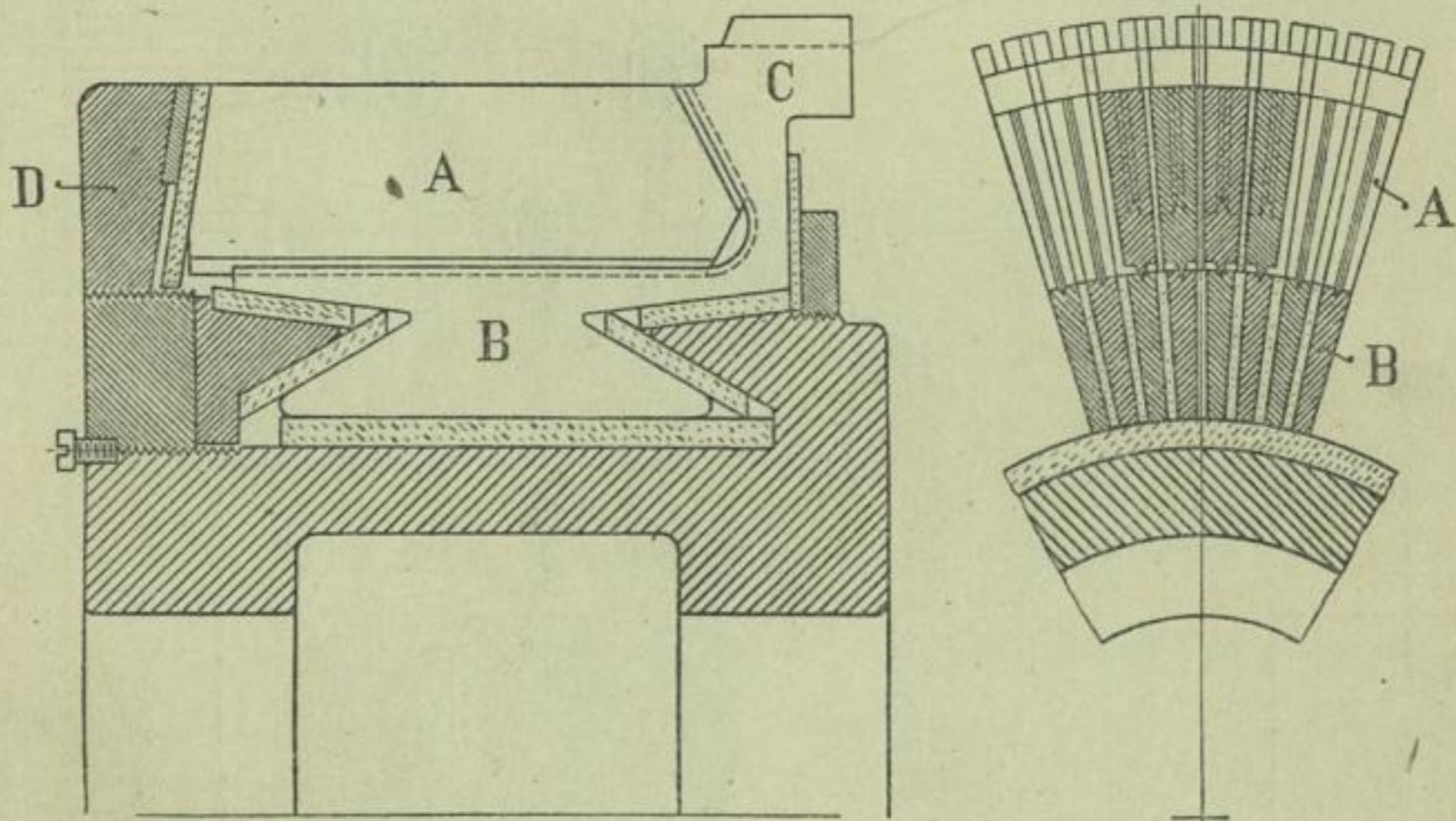


Fig. 220.

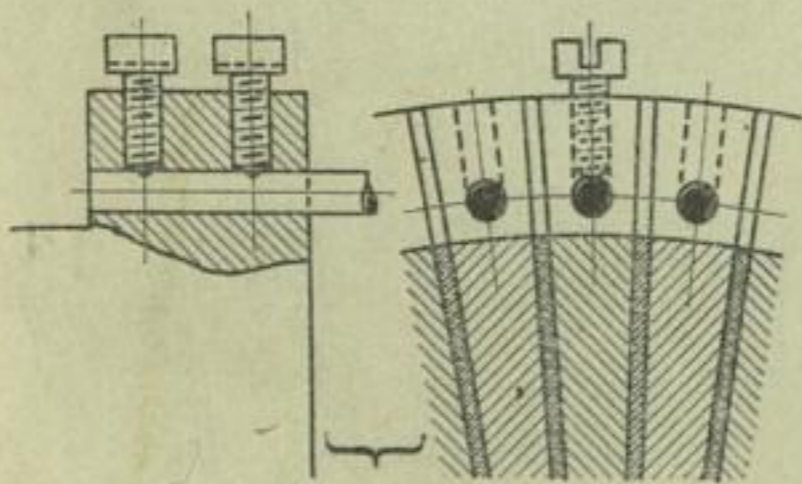


Fig. 221.

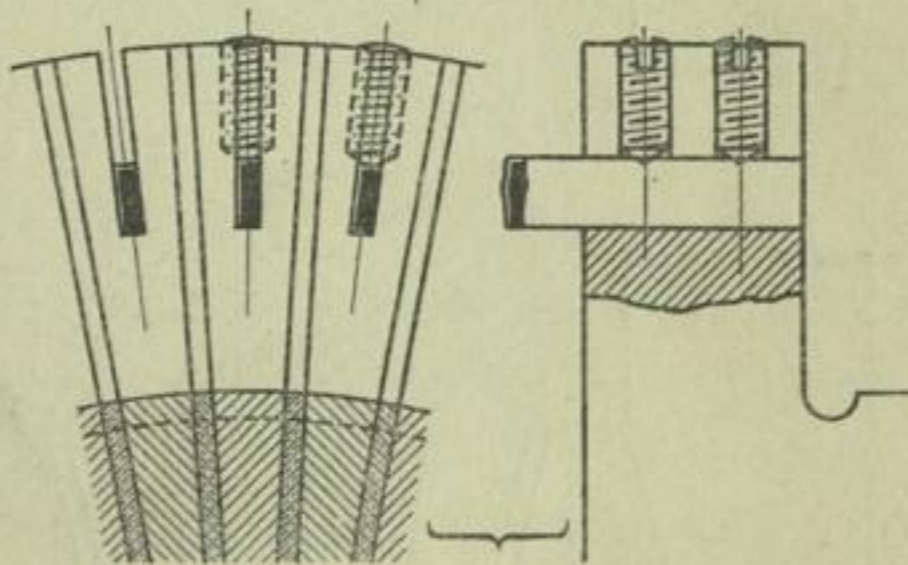


Fig. 222.

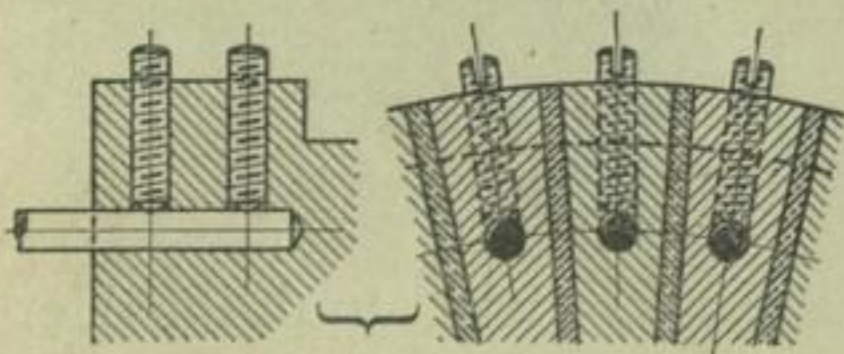


Fig. 223.

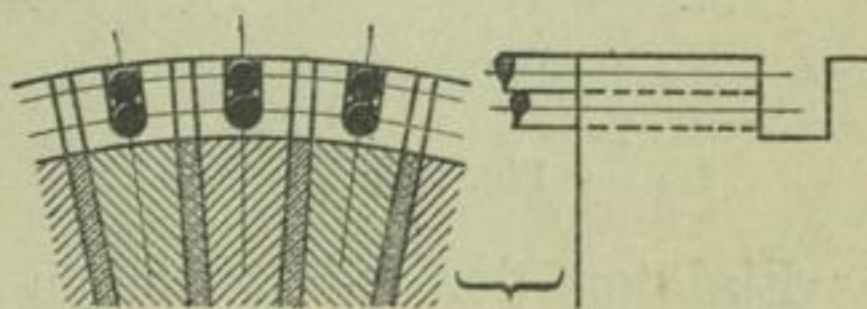


Fig. 224.

oder verlötet. Die Verschraubung hat den Vorzug, dass ein Lösen der Drähte einfacher und rascher auszuführen ist; dagegen gibt

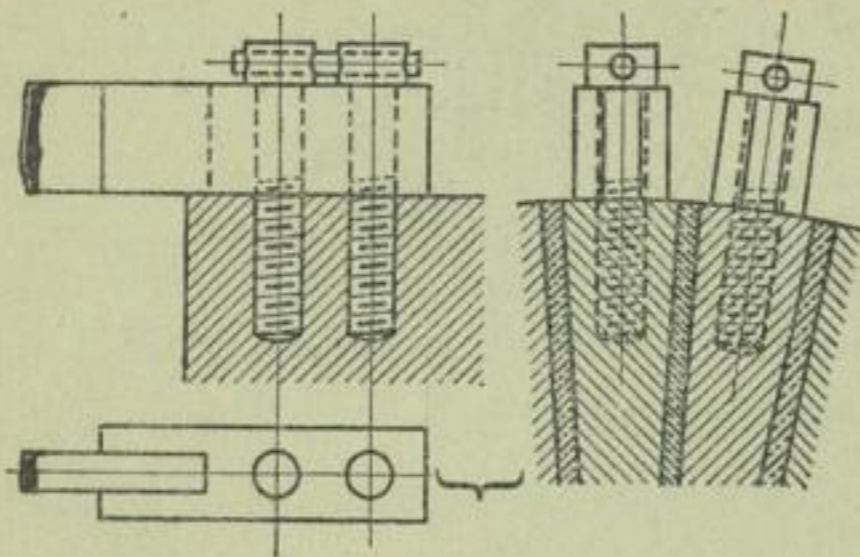


Fig. 225.

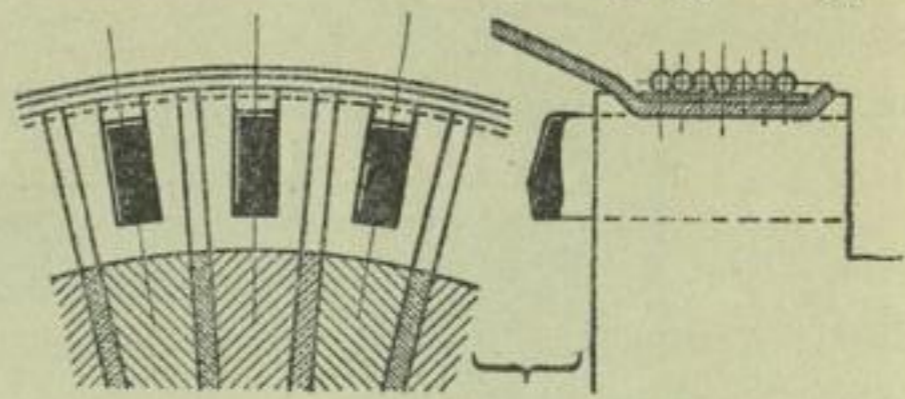


Fig. 226.

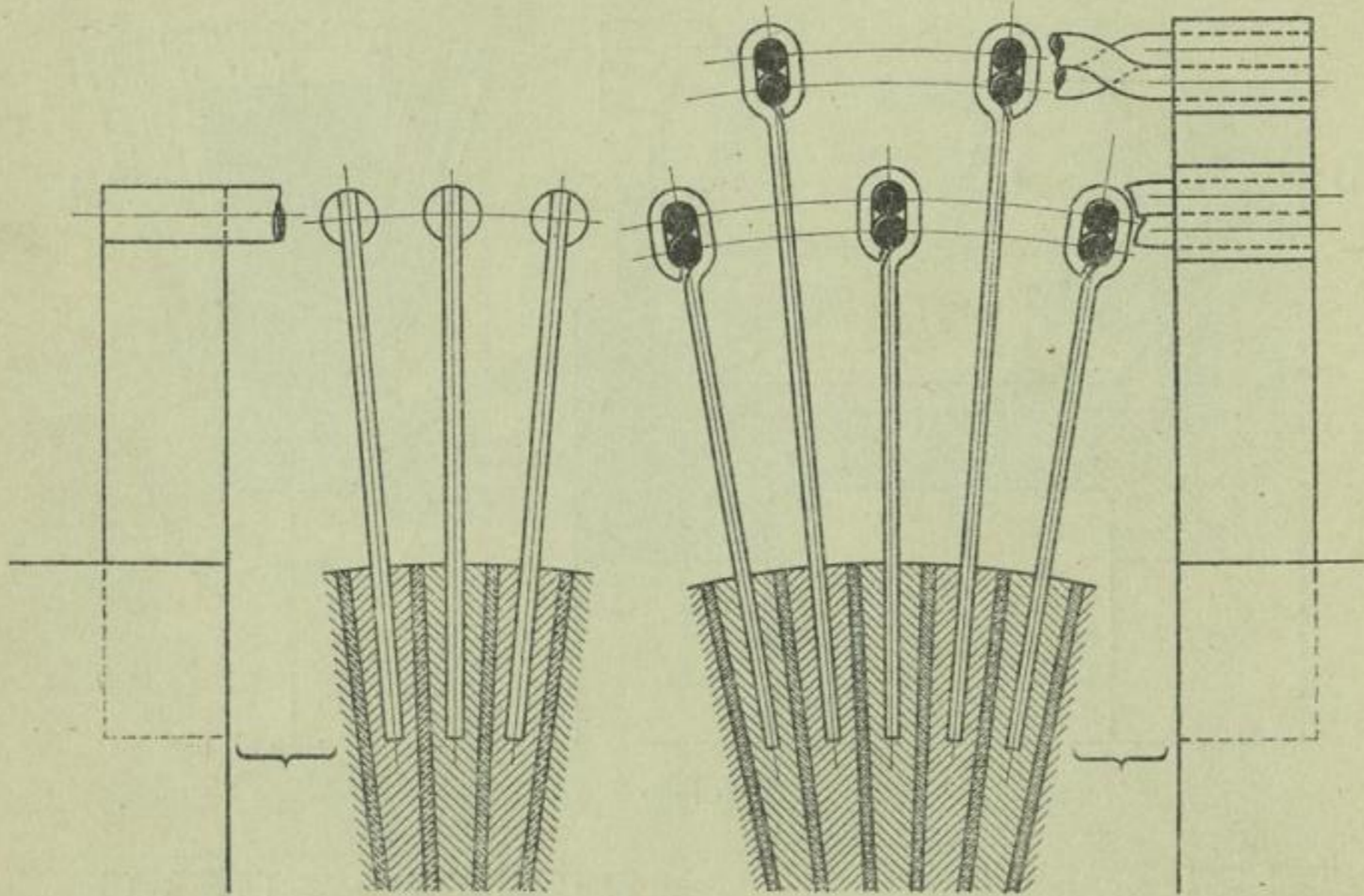


Fig. 227.

Fig. 228.

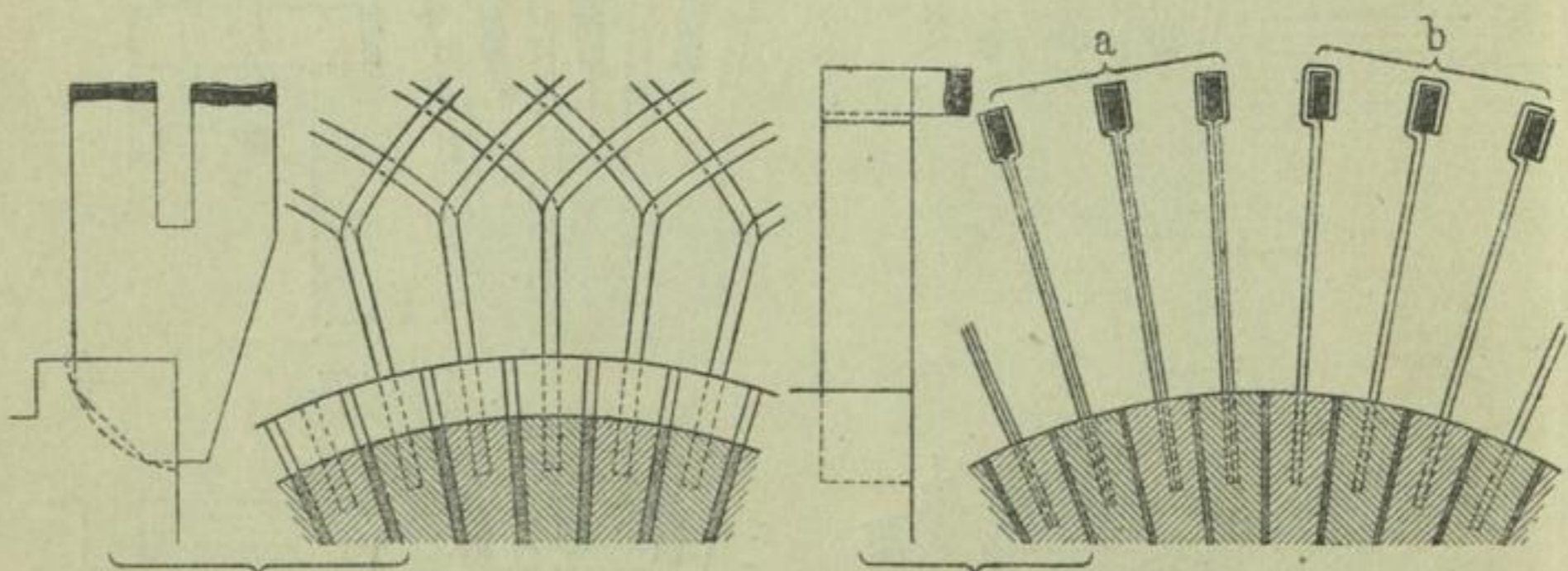


Fig. 229.

Fig. 230.

das Einlöten der Drähte einen besseren Kontakt, und die Herstellung der vielen Schrauben und Schraubengewinde kommt in

Wegfall. Im allgemeinen ist dem Verlöten der Vorzug zu geben. In den Fig. 221 bis 232 sind verschiedene Verbindungsarten veranschaulicht, dieselben erläutern sich selbst.

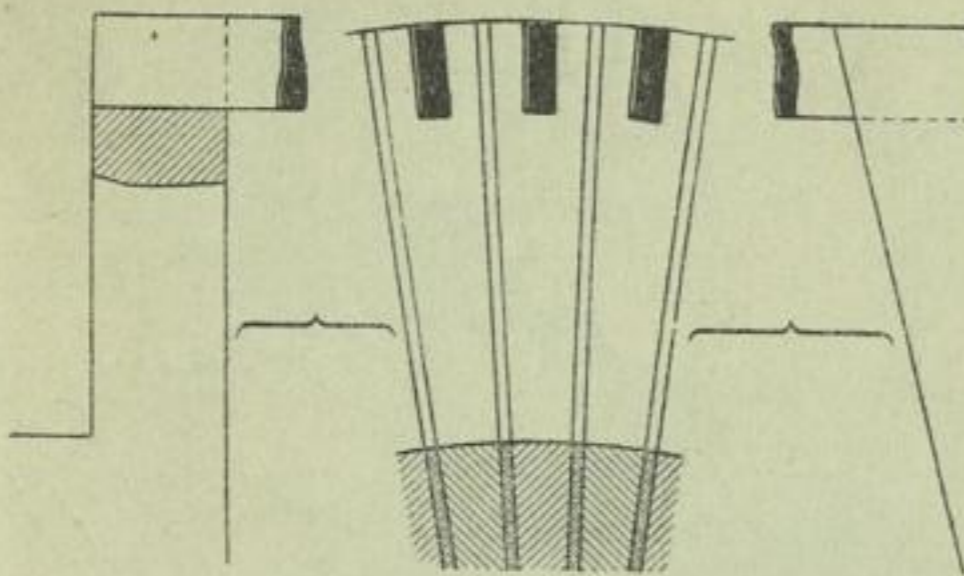


Fig. 231.

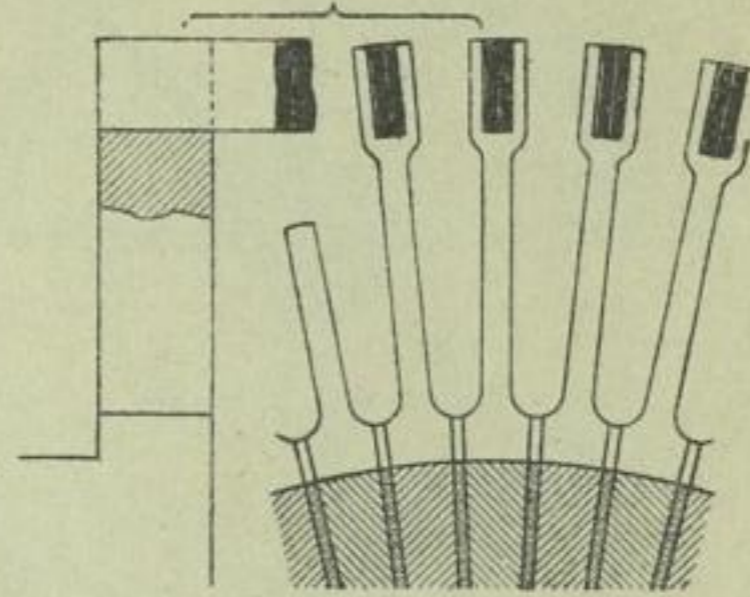


Fig. 232.

In Fig. 226 ist noch angedeutet, wie eine Verkleidung mittelst Draht- oder Schnurband am Kollektorumfange befestigt werden kann. In Fig. 229 sind die Verbindungsgabeln einer Stabwicklung direkt in die Lamellen eingelötet.

### Beispiele für die Konstruktion von Ringankern.

In Fig. 233 ist im Längsschnitte und in Fig. 234 im Querschnitte und in Vorderansicht zunächst ein Anker mit Grammescher Wicklung der Maschinenfabrik Oerlikon abgebildet. Derselbe gehört zu einer vierpoligen Maschine von 40 Kilowatt Leistung bei 570 Volt, 70 Amper und 700 Touren pro Minute. Die Zahl der Armaturdrähte beträgt 960 und die Zahl der Kollektorlamellen 160.

Die Drähte sind am äußeren Umfange des Ringes in zwei und am inneren Umfange in sechs Lagen gewickelt. Am inneren Umfange sind die Spulen durch eingelegte Fiberstege von einander getrennt. Die Seitenflächen des Ringes sind mit Hartholzringen, welche an den Armaturstern festgeschraubt und deren Kanten gut abgerundet sind, bedeckt. Die Papierisolation am äußeren und inneren Umfange überdeckt diese Holzringe auf ein kurzes Stück. Die Kollektorlamellen sind aus hartgezogenem Profilkupfer hergestellt und mit den Armaturdrähten verlötet.

Das Gesamtbild eines fertigen Ankers derselben Konstruktion, und zwar einer zweipoligen 100-Kilowattmaschine für 1000 Volt Klemmenspannung bei 600 Touren gibt Fig. 235.

Fig. 237.

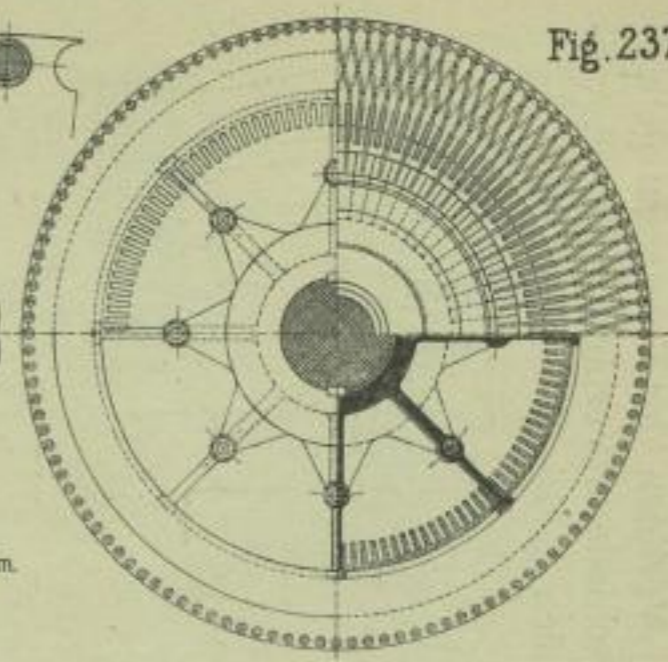


Fig. 234.

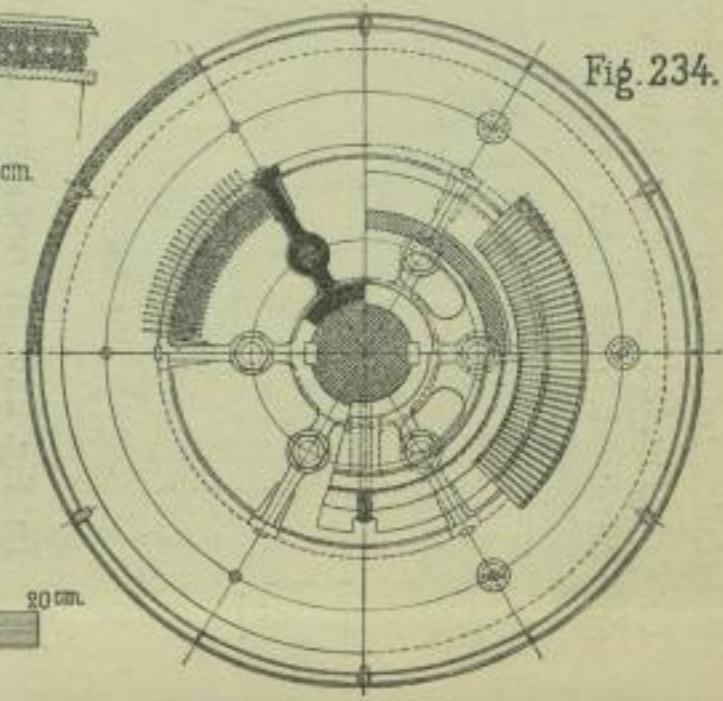


Fig. 236.

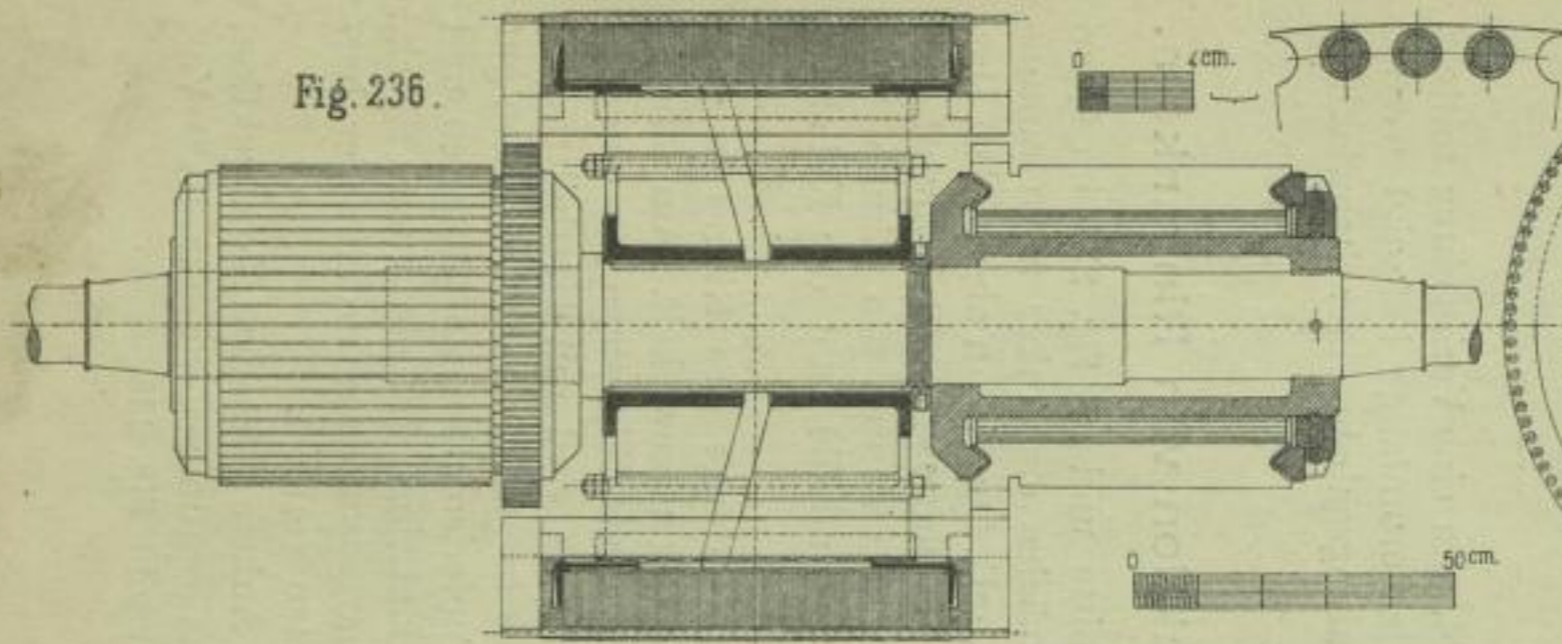
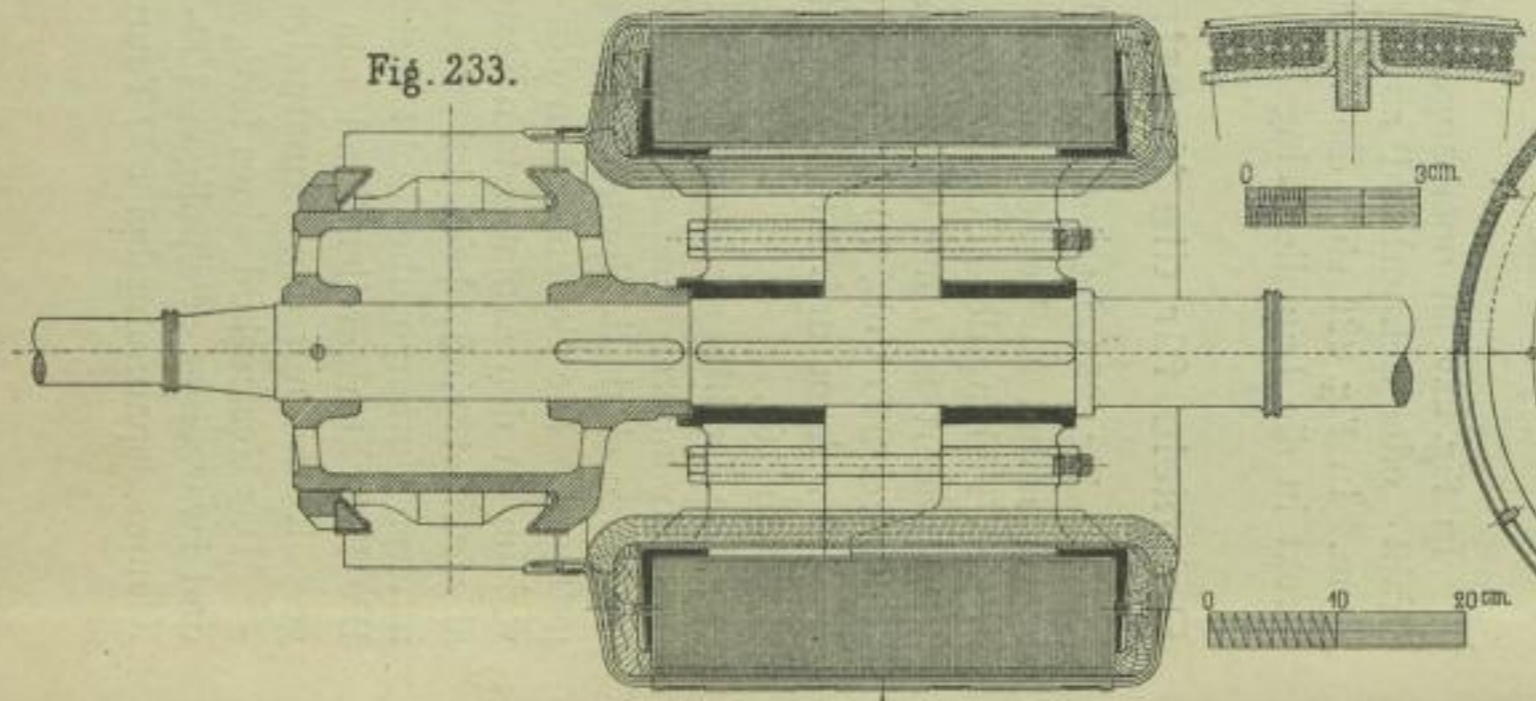


Fig. 233.





Ein Ringanker mit doppelter Wicklung und zwei Kollektoren, welcher von der Maschinenfabrik Oerlikon für die ersten im Aluminiumwerk Neuhausen aufgestellten Maschinen ausgeführt wurde, ist in den Fig. 236 und 237 abgebildet. Die Maschinen sind sechspolig und leisten bei 250 Touren 40 Volt und 3500 Amper. — Am Armaturumfange sind 120 Stäbe von 13,5 mm Durchmesser in gestanzten Löchern isoliert untergebracht; die Verbindung dieser Stäbe zur Ringwicklung erfolgt durch nackte, flache Kupfer-

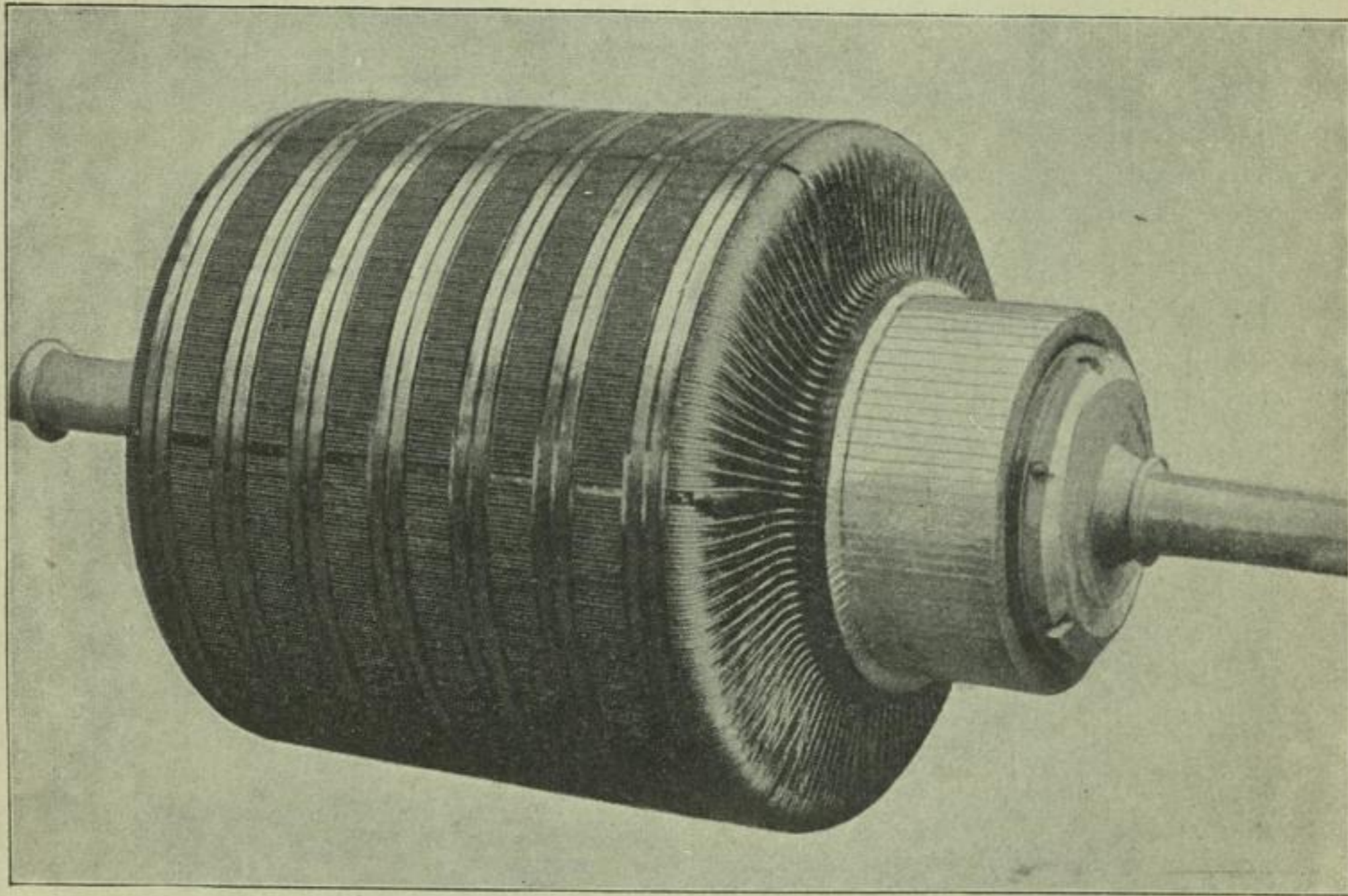


Fig. 235.

lamellen, welche am inneren Umfange in Holzkanälen geführt sind, wie aus der Seitenansicht ersichtlich ist. Jede einzelne Wicklung besteht somit aus 60 Windungen, welche an die 60 Lamellen des betreffenden Kollektors festgelötet sind.

Einem Hochspannungsgenerator für eine Kraftübertragung, ausgeführt von der Maschinenfabrik Oerlikon, ist der in den Fig. 238 und 239 dargestellte Anker entnommen. Derselbe ist für eine Leistung von 220 Kilowatt bei 1300 Volt und 230 Touren pro Minute gebaut. Die Polzahl beträgt 10. Die Wicklung ist nach dem in Fig. 51 gegebenen Schema mit Reihenschaltung ausgeführt.

Fig. 238.

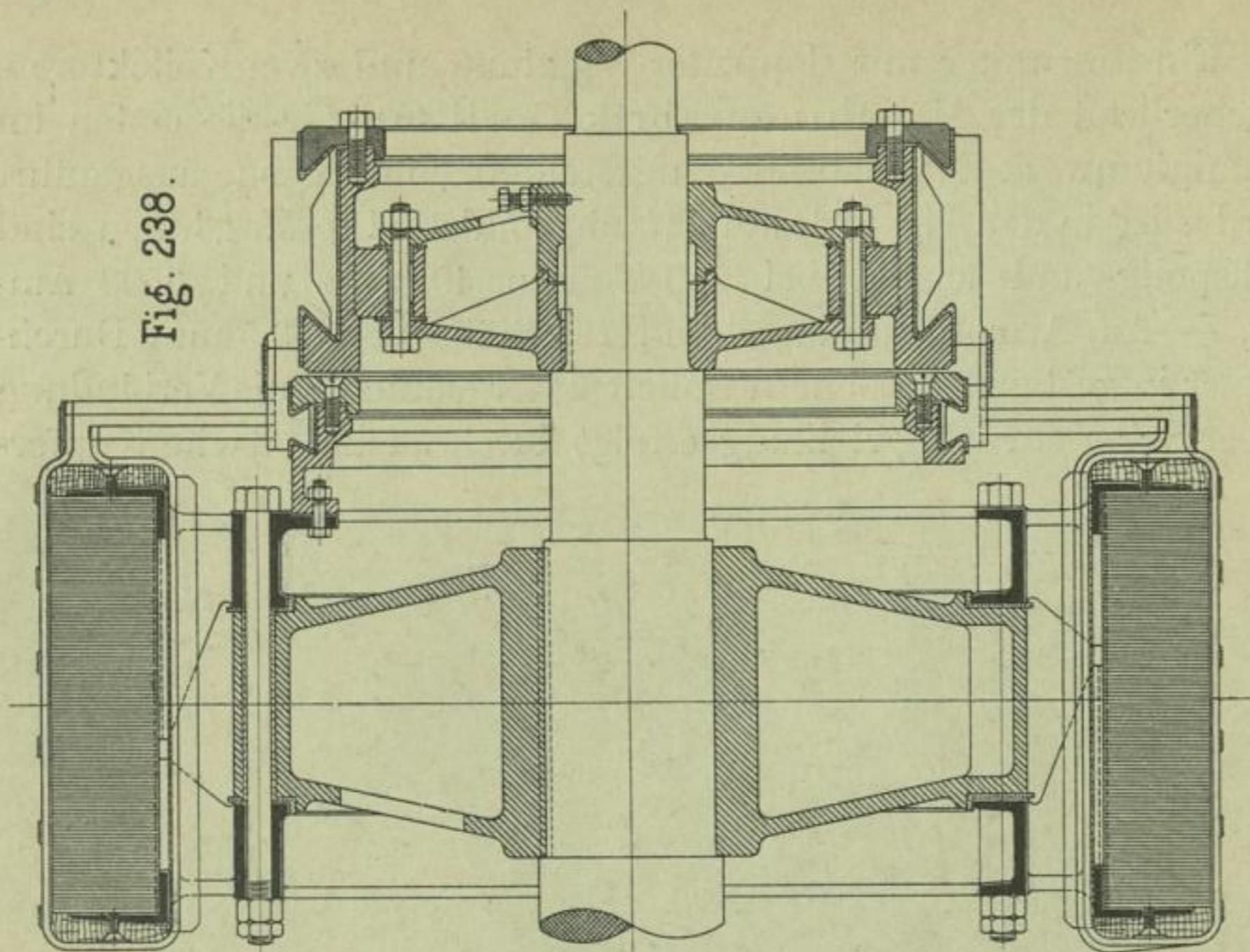
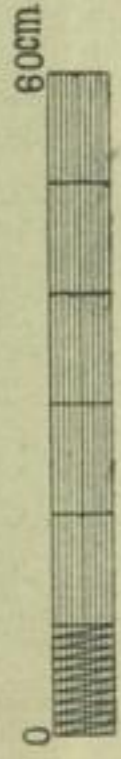
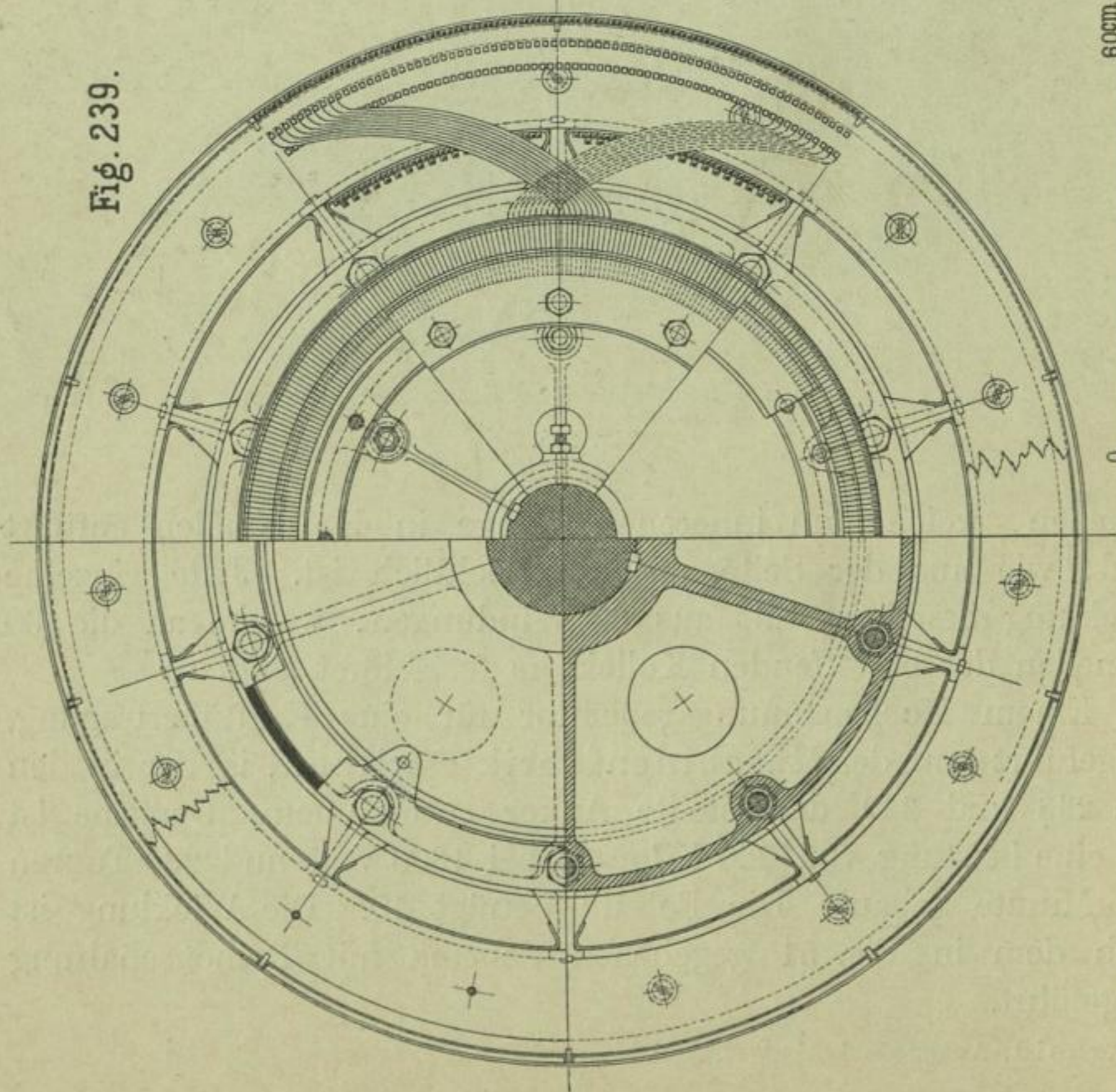


Fig. 239.



Der Armaturkörper besteht zunächst aus einem gusseisernen, auf der Welle festgekeilten Hohlzylinder. Auf diesen sind zwei Bronzesterne mit abwechselnd kurzen und langen Speichen (wie in Fig. 172) isoliert aufgeschraubt. Die Verbindungsschrauben

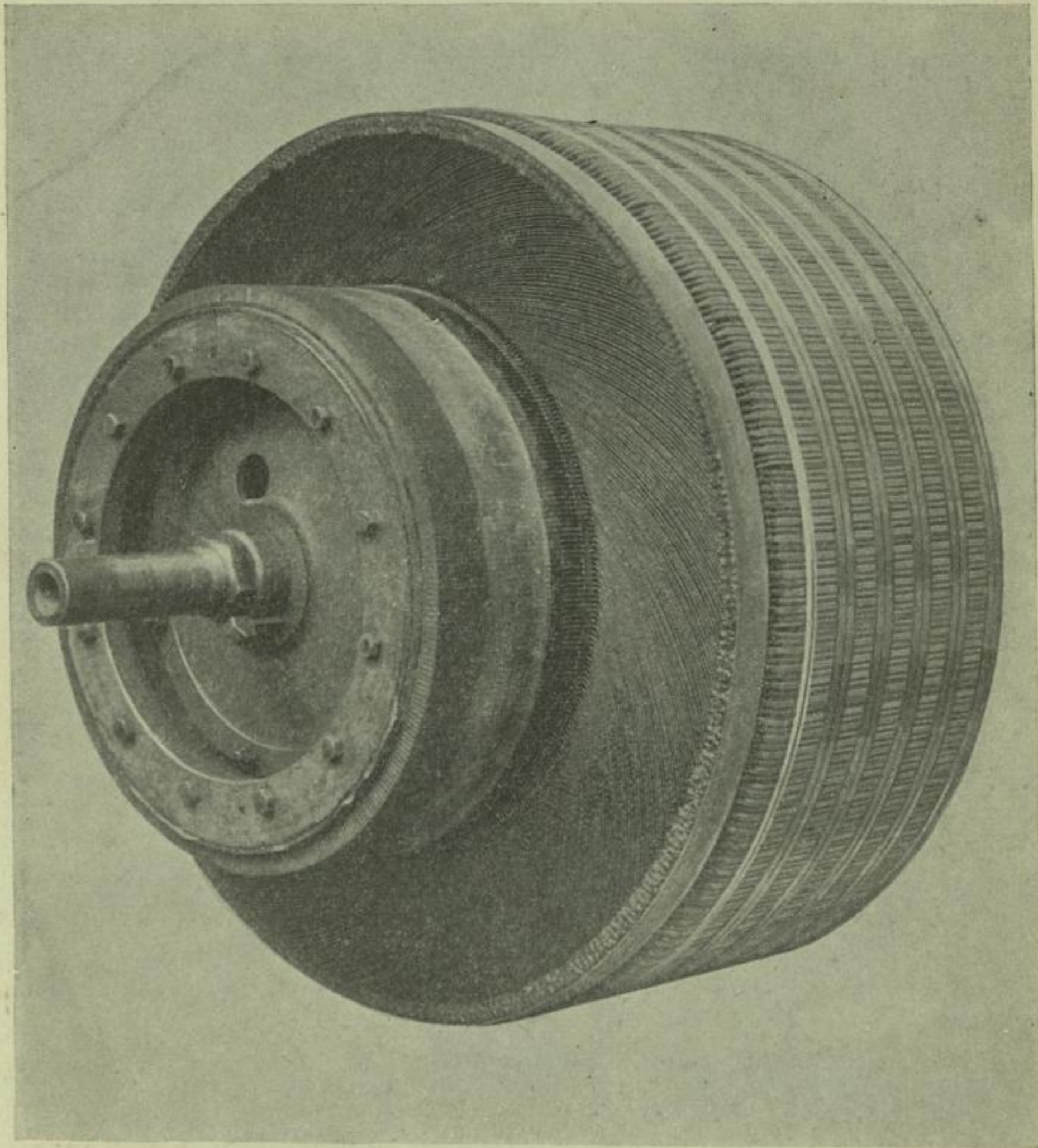


Fig. 240.

dienen zugleich zum Zusammenpressen der aus einzelnen Segmenten zusammengelöteten Blechscheiben des Ankerkernes.

Zur Reihenschaltung der Spulen dient ein Hilfskollektor, in dessen Segmente diejenigen aus Kupferband hergestellten und nach einer Evolvente gebogenen Streifen eingelötet sind, welche

Anfang und Ende von je zwei Spulen verbinden. Der Hilfskollektor ist an dem isolierten Bronzestern befestigt. Die Seg-

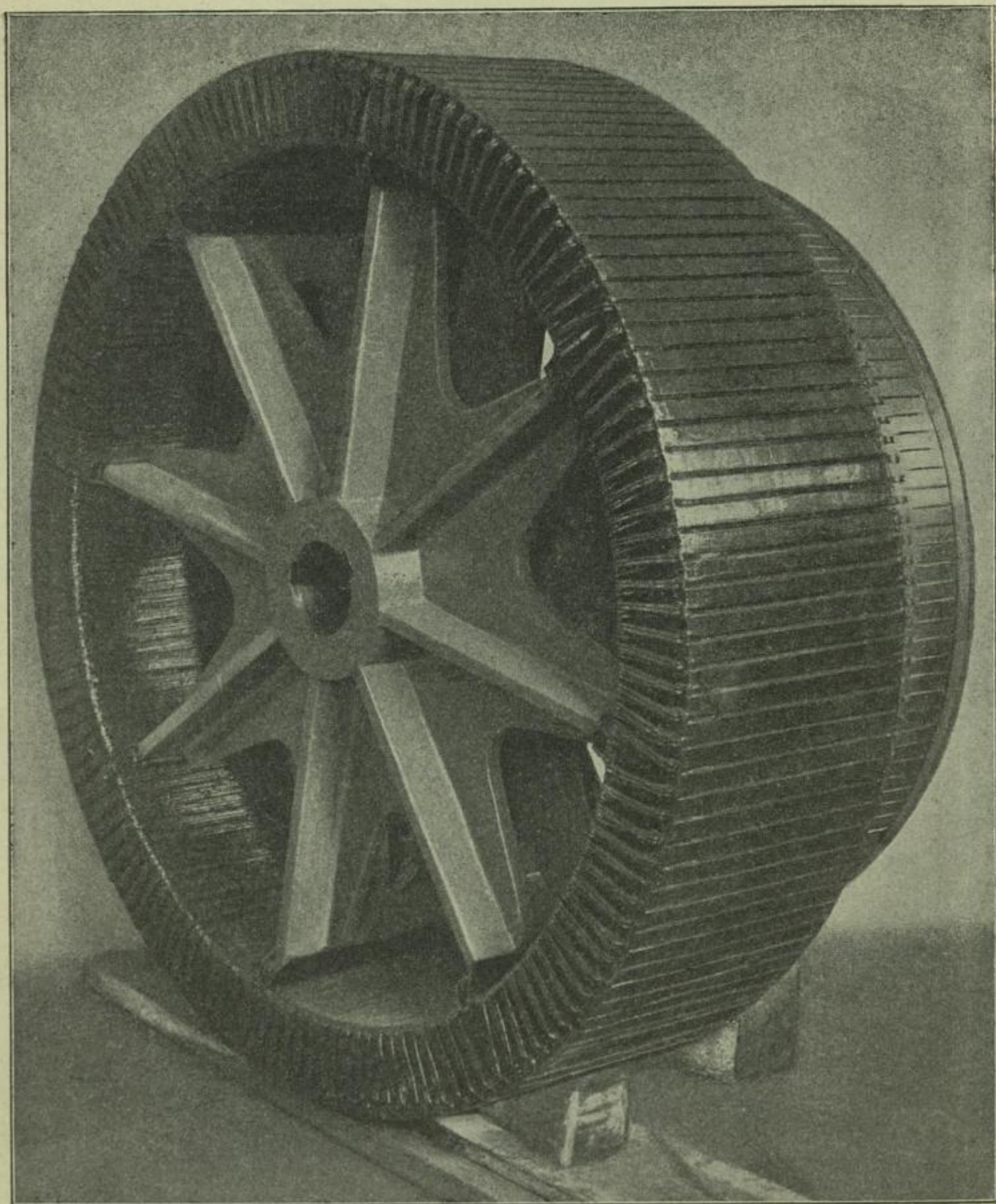


Fig. 241.

mente desselben werden durch eingelötete Kupferstreifen mit den Lamellen des eigentlichen Kollektors verbunden, welcher ebenfalls von der Welle isoliert ist.

Diese Konstruktion ist für eine vertikale Anordnung der Welle, welche mit einer Turbinenwelle direkt gekuppelt wird, bestimmt. — Ein Gesamtbild der beschriebenen Armatur gibt Fig. 240.

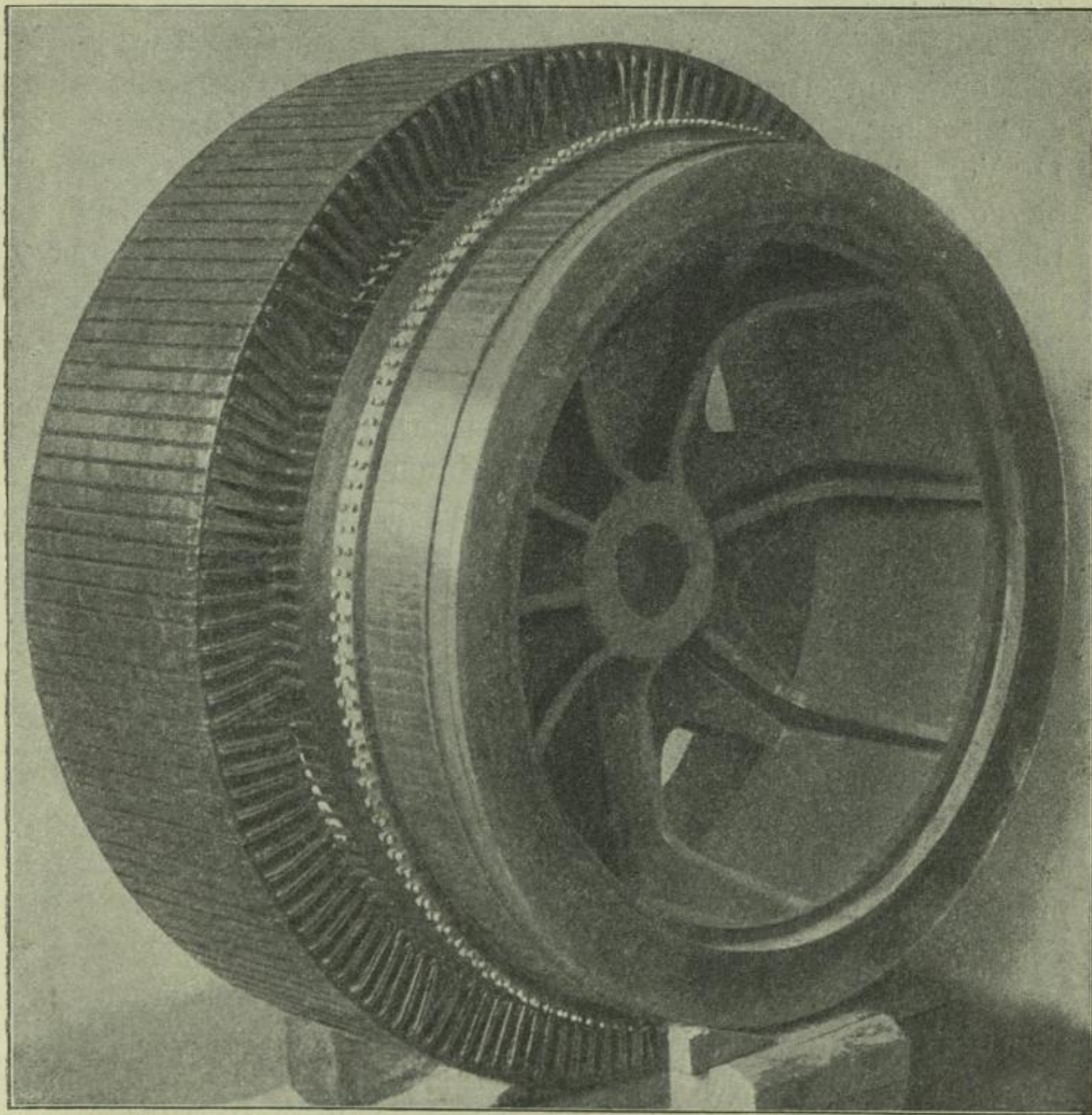


Fig. 242.

In den oben beschriebenen Ringankern ist die Wicklung auf dem glatten Eisenkörper der Armatur befestigt, dieselbe läßt sich auch in offenen oder halb oder ganz geschlossenen Nuten des Ankers legen. Ein Beispiel hierfür gibt der in den Fig. 241 und 242 abgebildete Anker einer Dampfdynamo von 105 Kilowatt Leistung der A. G. E. vorm. O. L. Kummer & Co., Dresden. —

Die Kollektorbüchse ist hier auf einen Cylinder aufgeschoben und befestigt, welcher mit dem Ankersterne in einem Stück gegossen ist. Die Konstruktion des Ankersternes ist in Übereinstimmung mit Fig. 180.

In den Fig. 243 und 244 ist der Ringanker einer Innenpolmaschine von Siemens & Halske dargestellt. Derselbe entspricht einer Maschine Type  $J_{51}$  von 66 Kilowatt Leistung bei 110 Volt und 600 Amper. Die Tourenzahl beträgt 200 pro Minute, die Polzahl 4. Die Armatur hat eine Eisenbreite von 310 mm, eine Eisenhöhe von 82 mm und 516 Windungen. Der innere Kupferbügel der Windungen mißt  $9 \times 5$ , der äußere Verbindungsstab, welcher zugleich Kollektorlamelle ist,  $25 \times 6,4$  mm. In Fig. 244 a ist ein Stück des Ringes in größerem Maßstabe abgebildet. —

Die Eisenbleche des Ringes werden durch 12 Bolzen aus Stahl zusammengesetzt; diese Bolzen sind durch aufgegoßene Bronzehülsen, wie aus Fig. 243 a deutlich zu ersehen, mit dem gußeisernen Armsterne isoliert verbunden. Die Bronzehülsen haben den Zweck, den Ring vom Armsterne auch magnetisch zu isolieren.

Die E. A. vorm. Schuckert & Co. hat früher die Gleichstrommaschinen aller Größen mit Flachringankern ausgeführt, aber nunmehr diese Konstruktion verlassen und baut jetzt die meisten Maschinen mit Trommelanker.

Ein Flachringanker dieser Firma, Type  $J. L. 18$ , für eine Leistung von 400 Kilowatt, 250 Volt, 1600 Amper bei 110 Touren pro Minute, ist in den Fig. 245, 246 und 247 abgebildet. Die Polzahl beträgt 14.

Der Ankerkern ist aus Eisenband hergestellt, welches über Rollen laufend unter starker Anspannung mit Papierzwischenlagen aufgewickelt wird. Das Ende des Bandes wird festgelötet, und außerdem ist der Ring durch radiale Bolzen gehalten. Die Wicklung wird in der Mitte zu beiden Seiten des Ringes durch aufgeschraubte Messingbänder festgehalten, in Fig. 247 ist diese Befestigungsart im Querschnitte und in Seitenansicht besonders dargestellt. Der Ring erhält an dieser Stelle eine Eindrehung, und die Windungen werden in diese Eindrehung abgekröpft, so daß das Messingband nicht über den übrigen Teil der Wicklung vorsteht. — Die nach einwärts vorstehenden Verlängerungen der Kollektorlamellen sind zum Einlöten der Mordeyverbindungen bestimmt.

Fig. 244.

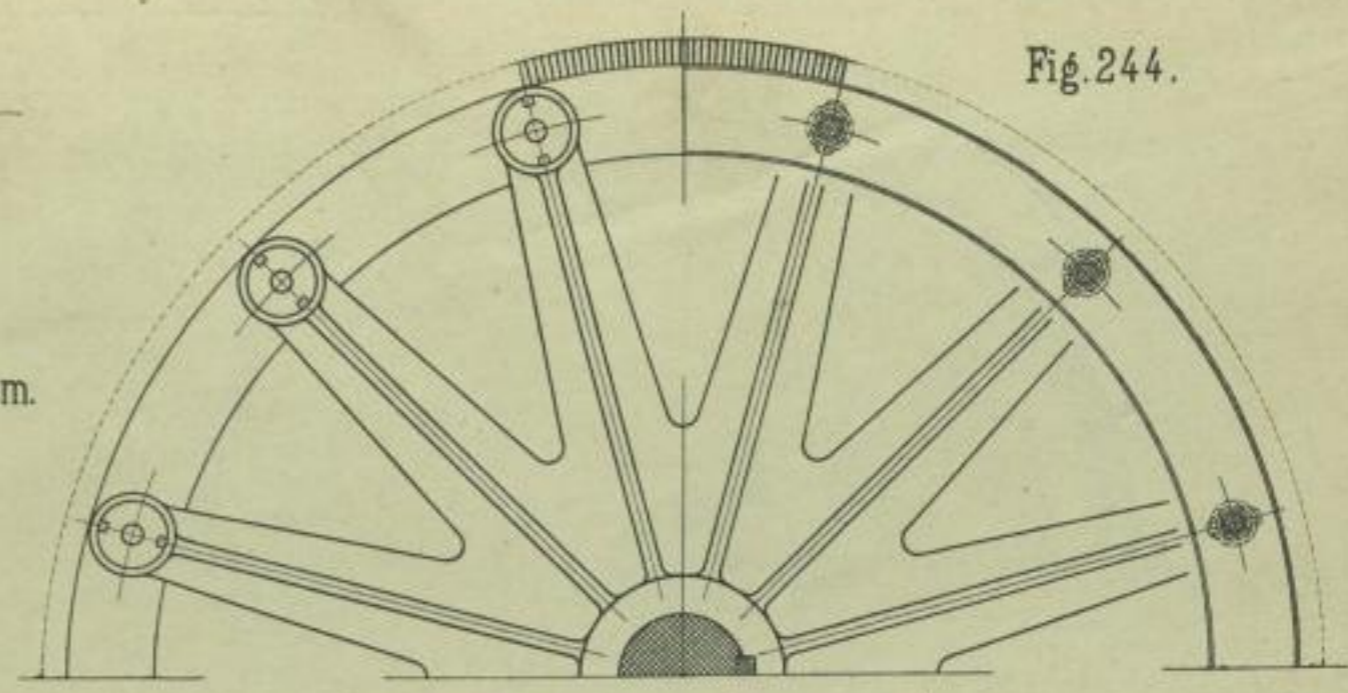


Fig. 244 a.

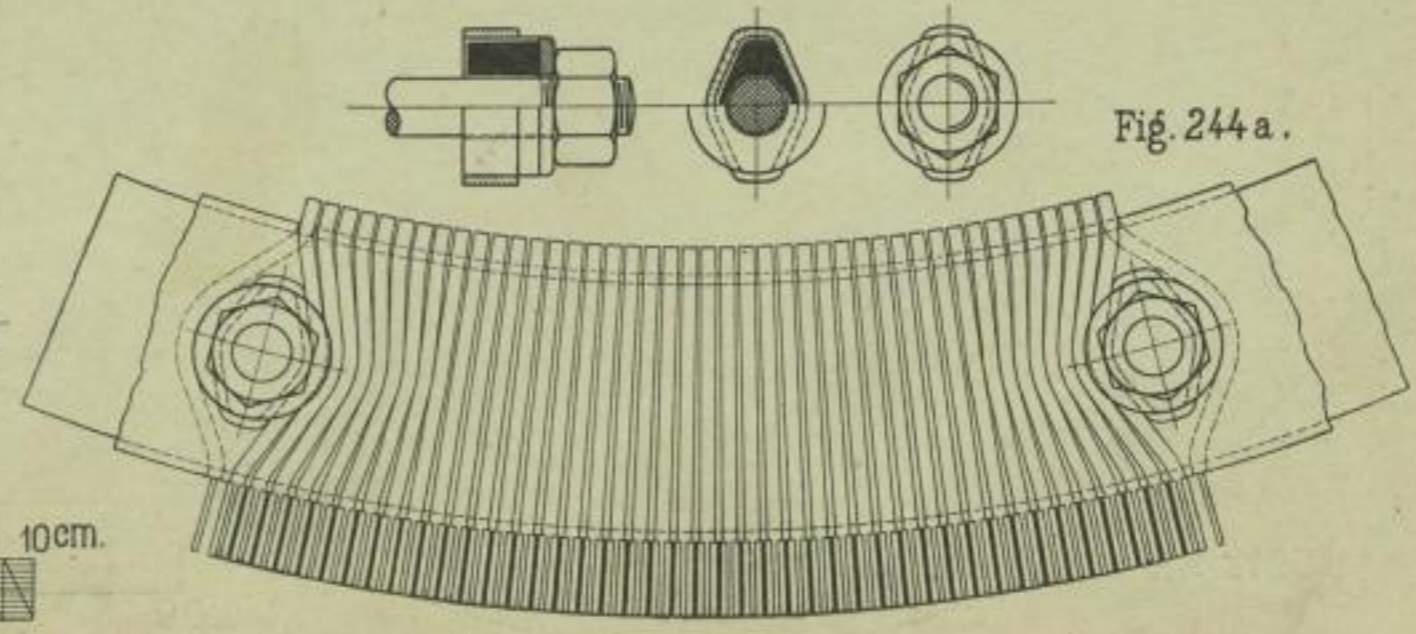


Fig. 243.

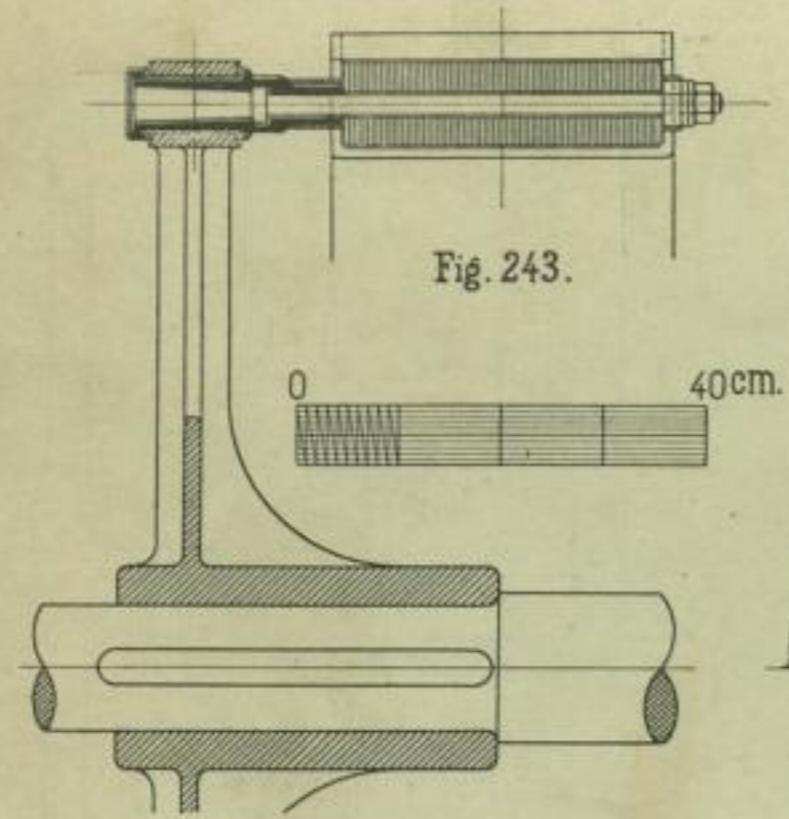
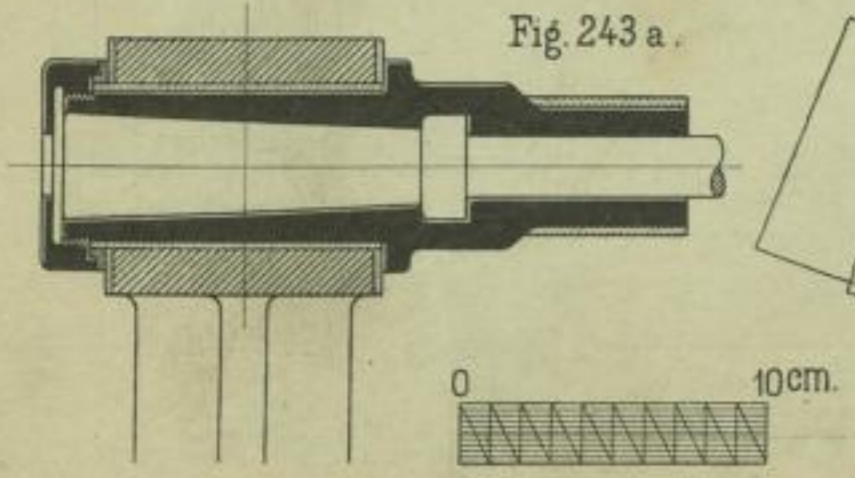


Fig. 243 a.



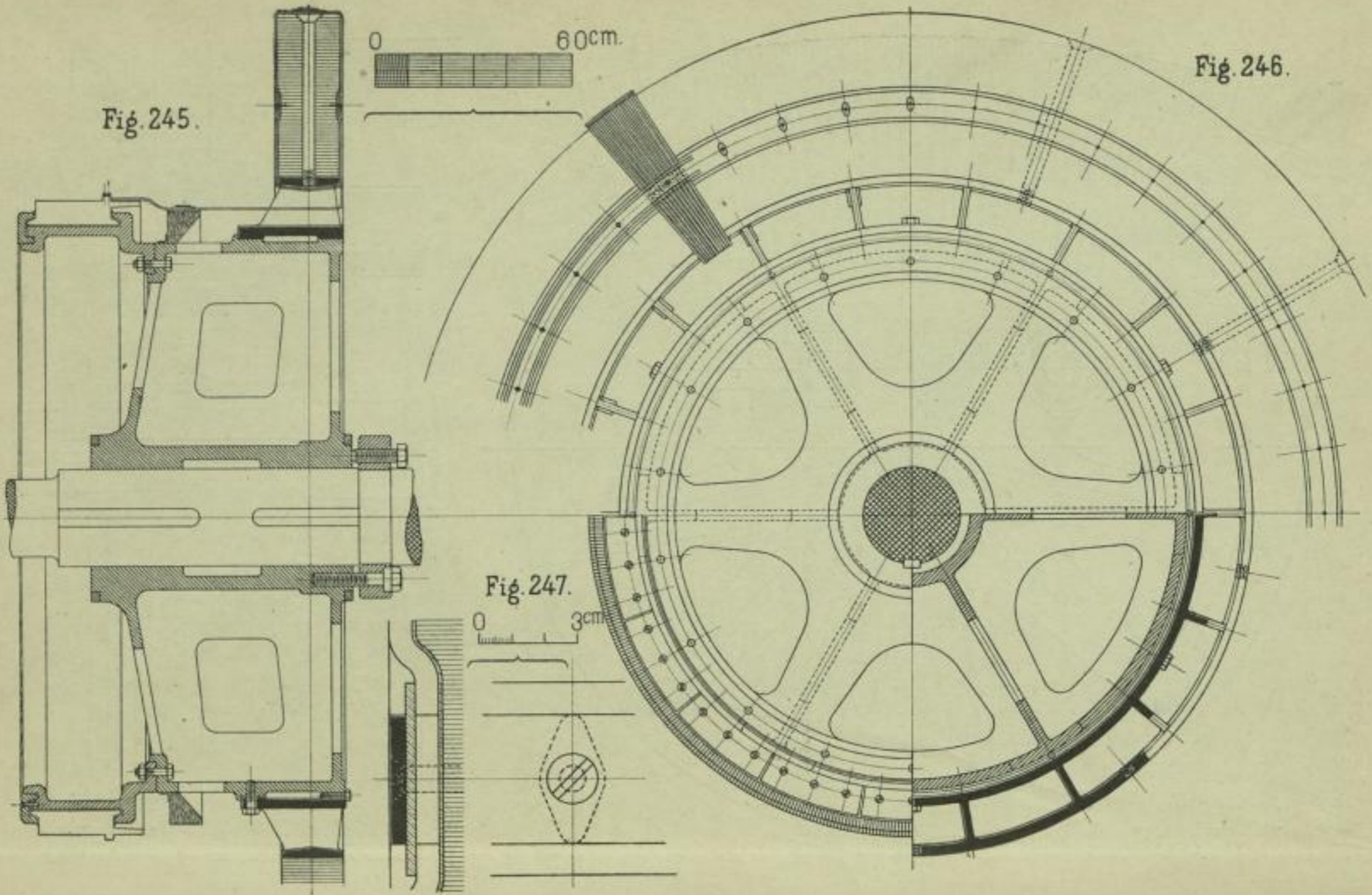


Fig. 245.

Fig. 246.

Fig. 247.



## Beispiele für die Konstruktion von Trommelankern.

Die Ausführung der Wicklung weicht namentlich bei den Trommelankern in mancher Hinsicht von den im ersten Teile dieses Buches dargestellten Schemata ab. Es wird deshalb gerechtfertigt sein, wenn hier zunächst auf einige wesentliche Punkte aufmerksam gemacht wird. —

Hinsichtlich der Art der Ausführung lassen sich die Trommelanker in zwei Gruppen einteilen und zwar in solche mit Drahtwicklung und in solche mit Stabwicklung. Als Drahtwicklung ist eine Wicklung zu bezeichnen, bei welcher eine Spule aus einem Stücke Draht oder aus mehreren parallel geschalteten Drahtstücken hergestellt ist, deren Enden mit den Kollektorlamellen verbunden sind. Bei Stabwicklungen ist dagegen jede Windung auseinzeln Stäben zusammengesetzt. Wir betrachten zunächst die

### Trommelanker mit Drahtwicklung.

Die Reihenfolge, in welcher die Spulen aufgewickelt werden (vergl. Fig. 71), kann eine verschiedene sein.

In Fig. 248 ist die Stirnansicht eines zweipoligen Ankers, von der Kollektorseite aus gesehen, dargestellt. Die Spulenzahl ist = 14 und die Zahl der Wicklungsfelder = 28 angenommen; entsprechend den Schemata Fig. 70 und 72 müssen die Spulen auf den Stirnflächen längs einer Sehne geführt werden.

Wir beginnen mit der Wicklung bei *a*, führen den Draht zunächst auf der vordern Stirnfläche bis *b*, dann auf dem Trommelmantel bis zur hintern Stirnfläche, dort auf die andere Seite der Trommel und nun, rechtwinklig umbiegend, wieder nach vorn bis *c* u. s. f., bis die gewünschte Windungszahl erreicht ist. In der Figur besteht jede Spule aus nur zwei Windungen. Ersetzt man einen dicken Draht durch 2, 3, 4, 6 oder mehr dünnere Drähte, so können diese gemeinsam oder gruppenweise aufgewunden werden.

Ist die Spule *A* auf diese Weise hergestellt, so wickeln wir der Reihe nach, je ein Wicklungsfeld überspringend, die Spulen *B*, *C*, *D* . . . . . *O*; wenn die letzte Spule *O* fertiggestellt ist, sind sämtliche Wicklungsfelder besetzt, und die Vereinigung der freigebliebenen Drahtenden in der angegebenen Weise liefert die 14 Abzweigungen zum Kollektor.

Ist die Zahl der Wicklungsfelder gleich der Spulenzahl (Fig. 80), so wickeln wir, nur von Feld zu Feld fortschreitend, in derselben Weise je eine Spule. Nachdem die halbe Spulenzahl beendet, sind sämtliche Wicklungsfelder besetzt; die zweite Hälfte der Spulen wird nun über die erste hinweggewickelt. Je zwei benachbarte Drahtenden sind mit einem Kollektorsegmente zu verbinden.

Soll die Verbindung mit den Kollektorsegmenten einem der Schemata Fig. 74, 79, 80 und 81 entsprechen, so thut man besser,

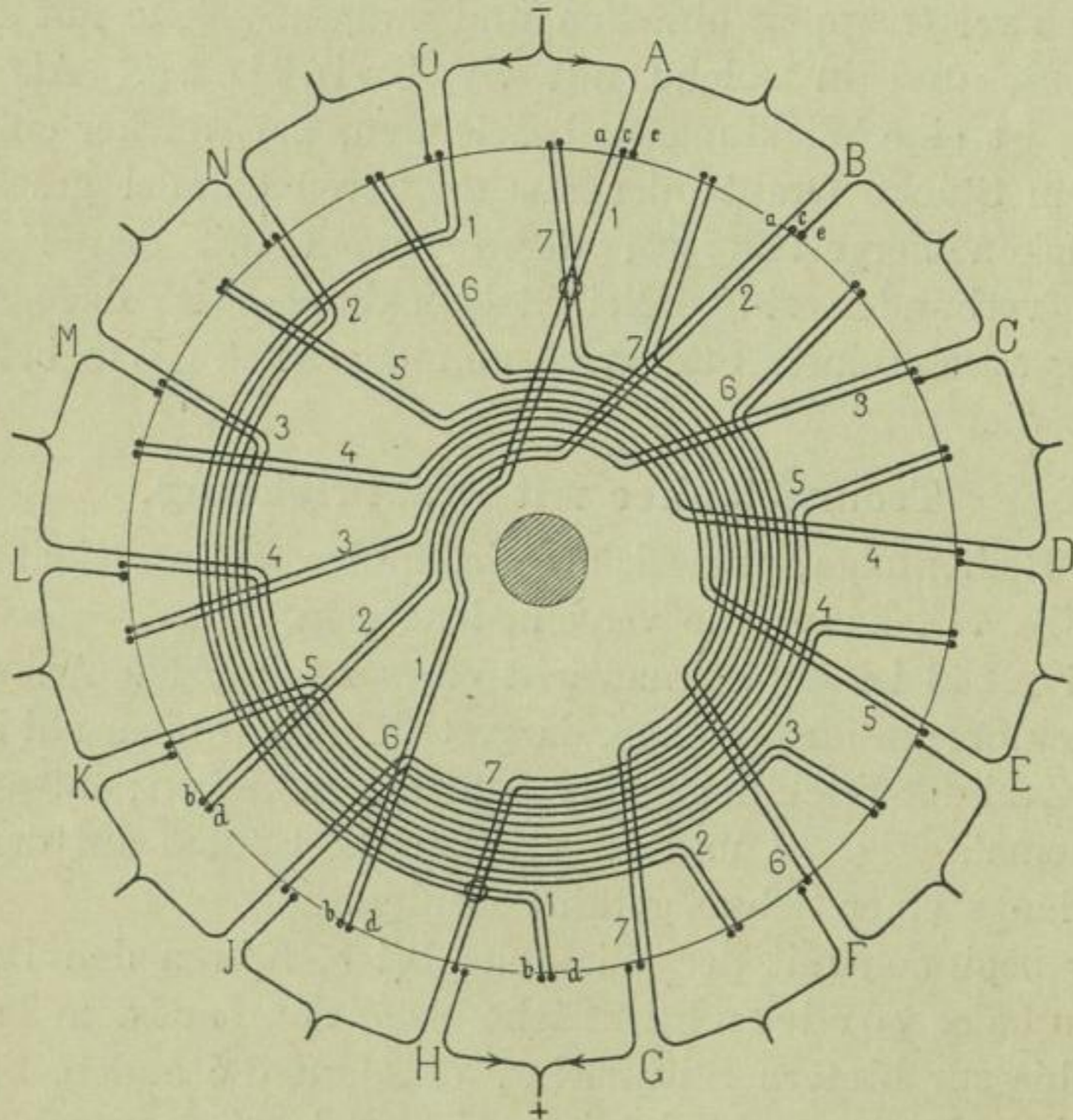


Fig. 248.

die beiden Enden *a* und *e* in Fig. 248 einer Spule nicht auf dieselbe Seite der Trommel zu führen, sondern mit der Wicklung gleich bei *b* zu beginnen. Die eine Hälfte der vorstehenden Drahtenden wird dann nach rechts, die andere nach links abgebogen und entsprechend den erwähnten Schemata mit dem Kollektor verbunden.

Vielfach wird auch derart verfahren, daß man die Spulenanfänge *a* gleich beim Beginne der Wicklung einer Spule mit dem Kollektor verbindet bzw. vorläufig in die Nute der Lamelle

einlegt, und den halben Wicklungsschritt (z. B.  $a-1$  Fig. 74) ausführt; die Enden werden bis zur Fertigstellung aller Spulen freigelassen und mit diesen dann die zweite Hälfte des Wicklungsschrittes (z. B.  $1'-b$  Fig. 74) ausgeführt. Die in einer Nute der Kollektorlamellen liegenden Drahtenden werden nun mit diesen verlötet bzw. festgeschraubt.

Eine bessere Verteilung der Drahtmassen auf den Stirnflächen des Ankers und ein besseres Aussehen der Wicklung wird erreicht,

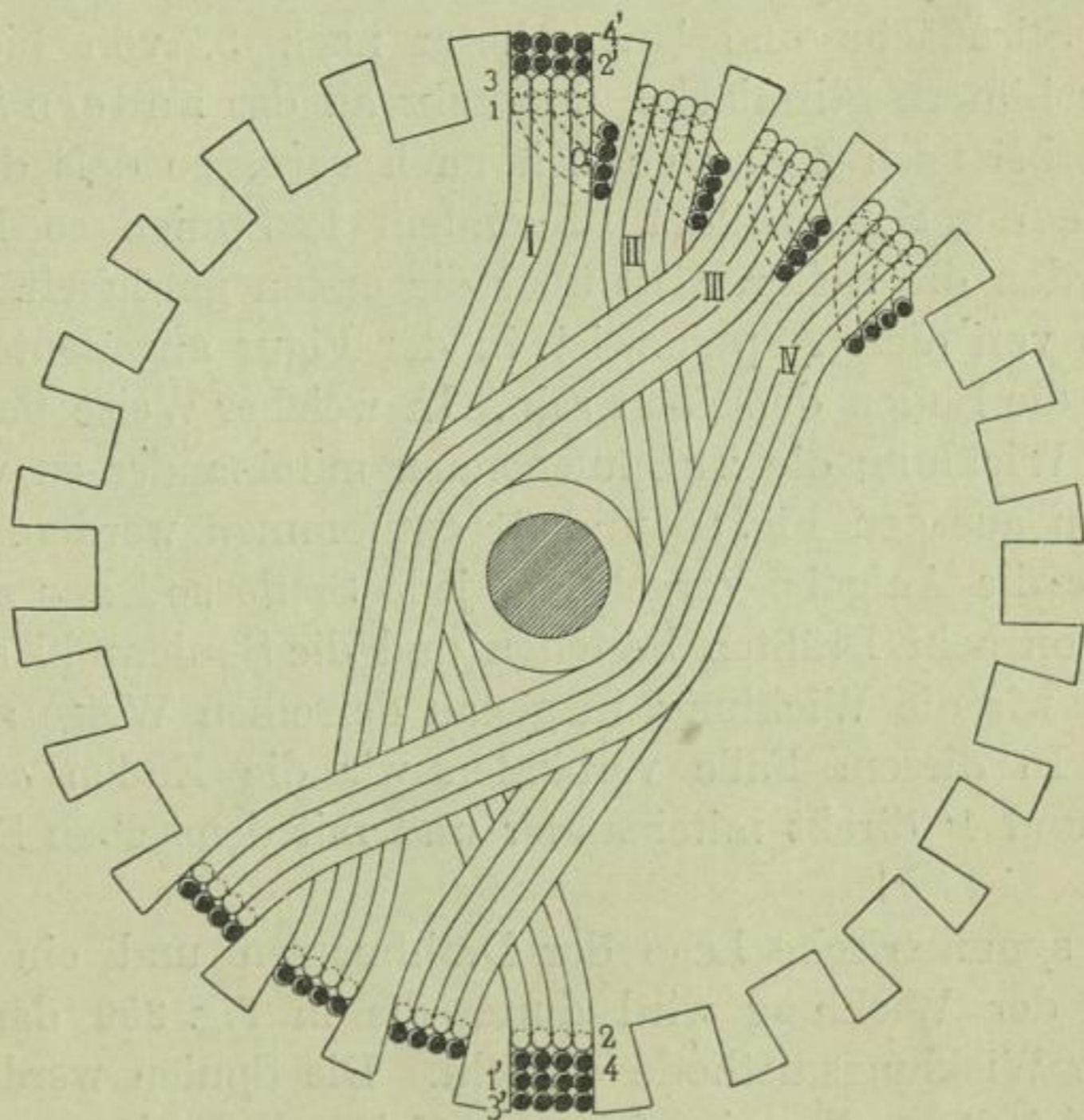


Fig. 249.

wenn wir nicht, wie in Fig. 248, die Windungen stets auf derselben Seite der Ankerwelle vorbeiführen, sondern wenn wir dieselben auf beide Seiten der Welle verteilen. Ein Nachteil dieser Wicklungsart besteht darin, daß dieselbe an den Stirnflächen mehr Raum beansprucht. Bei dickdrähtigen Wicklungen macht sich dieser Übelstand besonders bemerkbar, derselbe läßt sich aber durch Anwendung mehrerer dünner Drähte an Stelle eines dicken vermeiden.

Um hierzu ein Beispiel zu haben, nehmen wir an, es sollen auf eine Trommel, deren Umfang in 24 Wicklungsfelder geteilt

ist, 24 Spulen gewickelt werden. Jede Spule soll aus zwei Windungen von vier Drähten, deren Durchmesser etwa 1,5 mm betragen mag, bestehen. Die Verbindungen mit dem Kollektor sind nach dem Schema Fig. 80 auszuführen.

In Fig. 249 ist die Lage der vier ersten Spulen angegeben. Dieselben werden in der Reihenfolge I, II, III, IV hergestellt. Man beginnt mit den vier Drähten gleichzeitig in *a*, wickelt zunächst die Lage 1, führt die Drähte auf der hintern Stirnfläche in das gegenüberliegende Wicklungsfeld nach 2, dann nach der vordern Stirnfläche und längs dieser nach 3, von hier wieder nach der hintern Stirnfläche, nunmehr an der andern Seite der Welle vorbei nach 4 und endlich nach vorn, so daß die Lage 4 das Ende der Spule bildet. Nachdem 12 Spulen so hergestellt sind, werden die weiteren 12 über die ersten gewickelt.

Eine von diesen Spulen ist in der Figur angedeutet, 1' und 4' sollen die Enden derselben sein. In welcher Weise nach fertiggestellter Wicklung die 24 Spulenden miteinander zu verbinden sind, kann aus den Fig. 80 und 81 entnommen werden.

Hätte die Aufgabe vorgelegen, jede Spule soll aus zwei Windungen von acht Drähten bestehen und die Spulenzahl sei = 12, so hätten wir die Wicklung in genau derselben Weise ausführen können. In diesem Falle verbinden wir die Enden *a* und 4', ferner 4 und 1' direkt miteinander und mit demselben Kollektorsegment.

Eine symmetrische Lage der Drahtmassen und ein schönes Aussehen der Wicklung wird durch die in Fig. 250 dargestellte zweipolige Wicklungsmethode erreicht. Die Spulen werden paarweise gewickelt, und zwei aufeinander folgende Spulenpaare bilden einen Winkel von 90° oder nahezu 90°. In der Figur ist angenommen, daß die Enden *a* und *e* einer Spule, wie in Fig. 248, auf dieselbe Seite der Trommel gelegt werden.

Wir beginnen mit dem Spulenpaar I; hierbei ist darauf zu achten, daß die Enden *a* und *e* der ersten Spule auf die eine und die Enden *a* und *e* der zweiten Spule auf die entgegengesetzte Seite der Trommel zu liegen kommen. Dann folgen die Spulenpaare II, III, IV ... bis VII. Die Trommelachse liegt jedesmal zwischen den Spulen eines Paares.

Wäre bei ebenfalls 28 Wicklungsfeldern die Spulenzahl = 28, so müßte, nachdem die obigen sieben Paare gewickelt sind, über

jedes Paar in derselben Reihenfolge ein zweites gewickelt werden, und zwar so, daß z. B. die freien Enden des über I gewickelten Paares mit  $bd$ ,  $bd$  zusammenfallen.

Wird dagegen beabsichtigt, wie vorher 14 Spulen aber in zwei Wicklungslagen herzustellen, so werden die zu einem Paare gehörenden Spulen, bei derselben Lage der Drahtenden, einfach übereinander gewickelt.

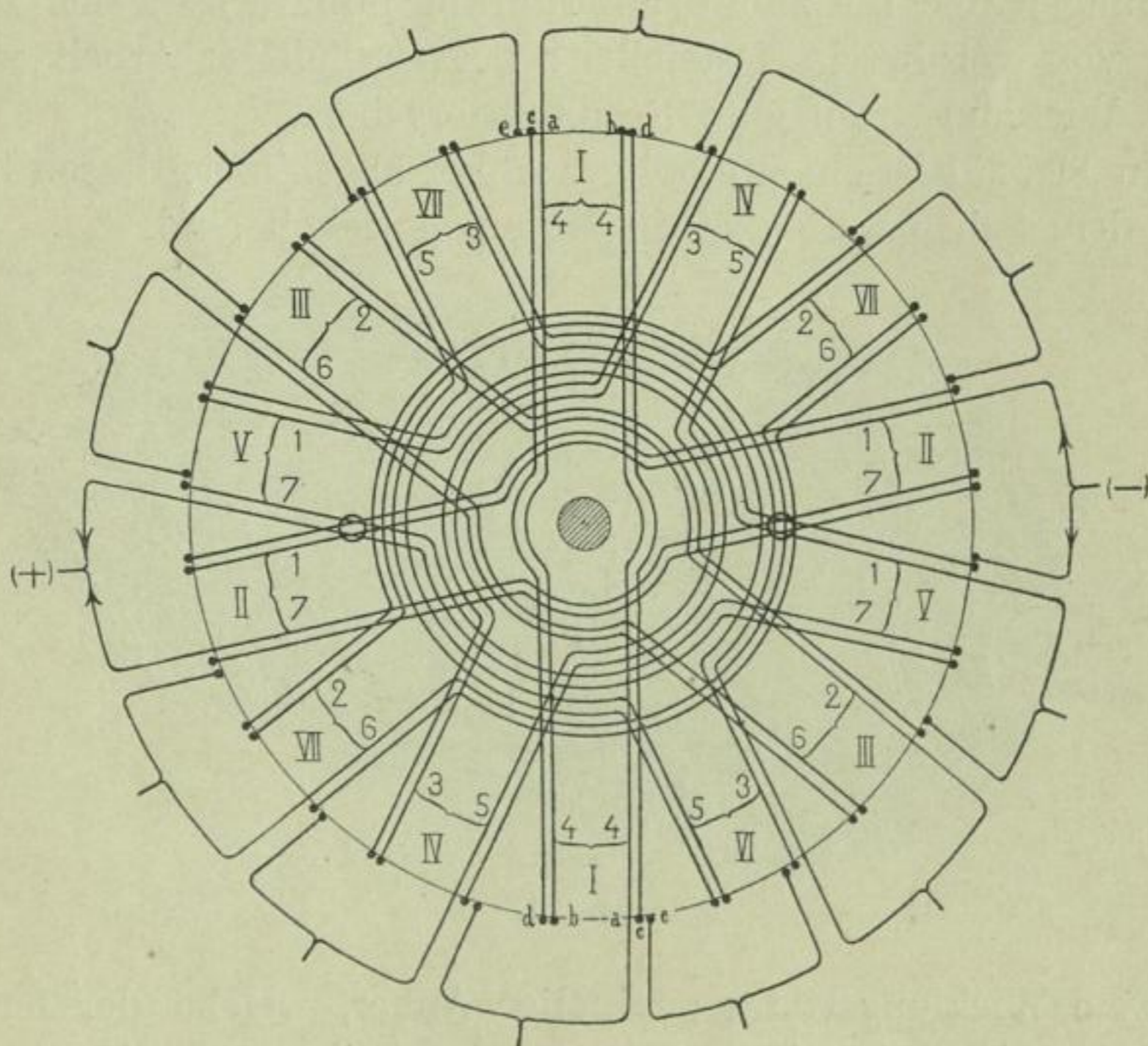


Fig. 250.

Führen wir schliesslich Ende und Anfang benachbarter Spulen zu je einem Kollektorsegmente, so ergibt sich die richtige Schaltung.

Dicke Drähte ersetzt man auch bei dieser Wicklung besser durch mehrere dünne.

Um zu veranschaulichen, wie die Stromspannung in den Spulen von der negativen bis zur positiven Bürste zunimmt, sind in den Fig. 248 und 250 die Spulen von der negativen Stromabnahmestelle ausgehend von 1 bis 7 nummeriert, so daß die Zahlen einen ungefähren Maßstab für die Höhe der Spannung darstellen. Die Differenz der Zahlenwerte zweier sich berührenden Spulen wird somit der Spannungsdifferenz zwischen denselben ungefähr

proportional sein. Je weniger Kreuzungspunkte mit hohen Spannungsdifferenzen eine Wicklung ergibt, um so besser wird dieselbe sein.

Sowohl in Fig. 248 als 250 findet zwischen den Spulen größter Spannungsdifferenz, nämlich zwischen 1 und 7, eine Kreuzung statt, ebenso zwischen 7 und 2, 6 und 1 u. s. f., so daß beide Wicklungen in dieser Hinsicht fast gleichwertig sind. Die genaue Lage der Windungen und die Zahl der Berührungspunkte läßt sich freilich nicht von vornherein feststellen; bei sorgfältiger Arbeit werden beide Wicklungsarten gute Resultate ergeben.

In Fig. 251 ist ein zweipoliger Anker abgebildet, dessen Drähte nach dem Schema Fig. 250 in Nuten gewickelt sind.

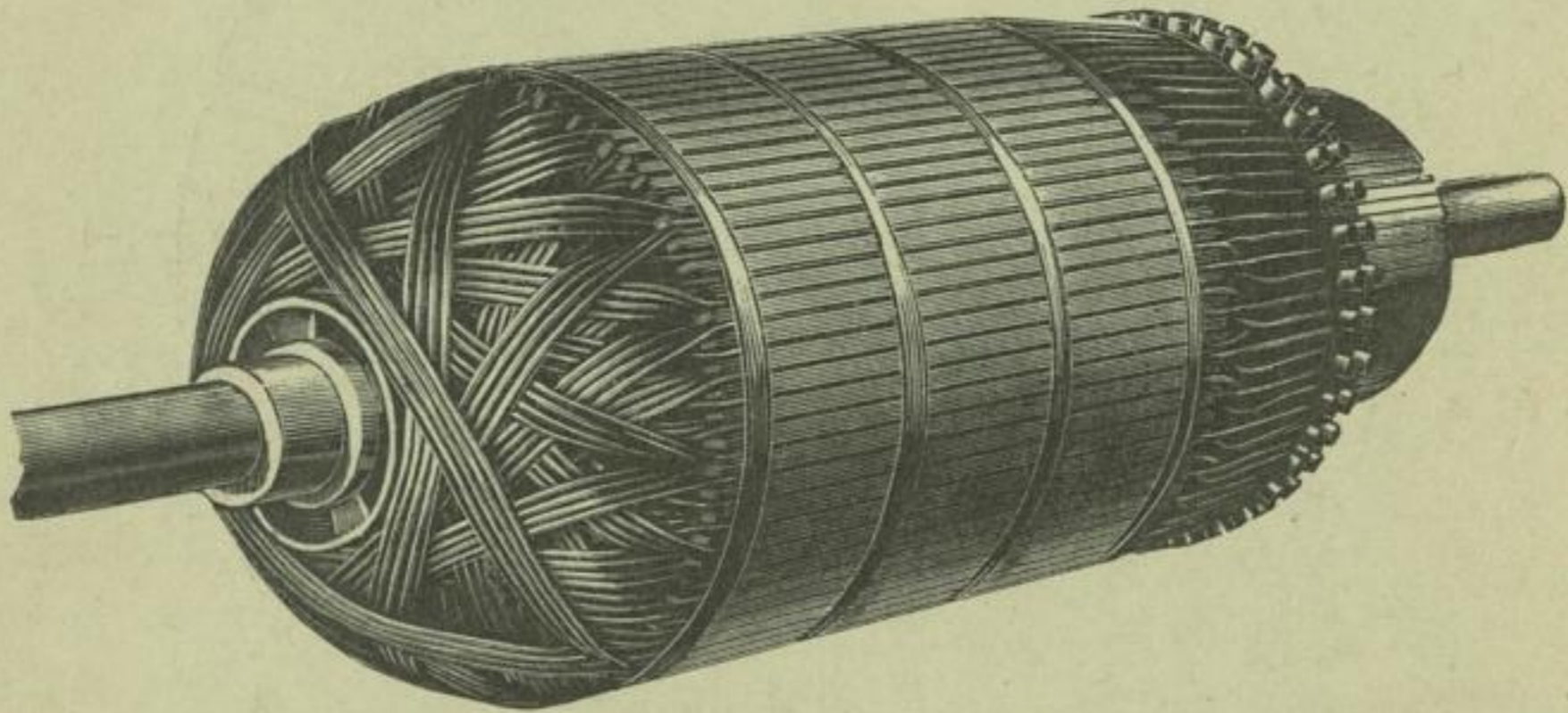


Fig. 251.

Eine Wicklungart für zweipolige Anker, welche der fertigen Wicklung ebenfalls ein gutes Aussehen gibt und die von der E. A. G. vorm. Lahmeyer & Co. ausgeführt wird, ist in Fig. 252 dargestellt. Bei dieser Wicklungsart wird, wenn wir uns wieder auf Fig. 74 oder Fig. 80 beziehen, der Anfang einer Spule beim Beginne der Wicklung in die Nuten des Kollektors eingelegt und der halbe Wicklungsschritt ( $a - 1$  Fig. 74) zurückgelegt; das Ende einer Spule wird dagegen zunächst nicht zur Kollektorseite geführt, sondern man leitet sämtliche Spulenenden auf der hintern Seite bis zur Welle und läßt dieselben dort in genügender Länge vorstehen. Nachdem sämtliche Spulen fertiggestellt sind, werden die auf der hinteren Stirnseite liegenden Drähte mit einer Lage aus Tuch oder Prefspan bedeckt und nunmehr die freien Drahtenden der Reihe nach aufgenommen; die zweite Hälfte des Wicklungs-

schrittes (1'—*b* Fig. 74) wird auf der hintern Seite ausgeführt und die Drähte werden längs den betreffenden Nuten zum Kollektor geführt. Nun können die Drahtbänder aufgelegt und der Anker fertiggestellt werden.

Die Konstruktion von zweipoligen Ankern mit Drahtwicklung ist in den Fig. 253 bis 258 dargestellt.

Die Fig. 253 und 253a veranschaulichen einen Nutenanker der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Lahmeyer & Co. in Frankfurt und zwar Modell AII für 110 Volt, 45 Amp. bei 1200 Touren pro Minute. Die Kollektorlamellzahl beträgt 38, der

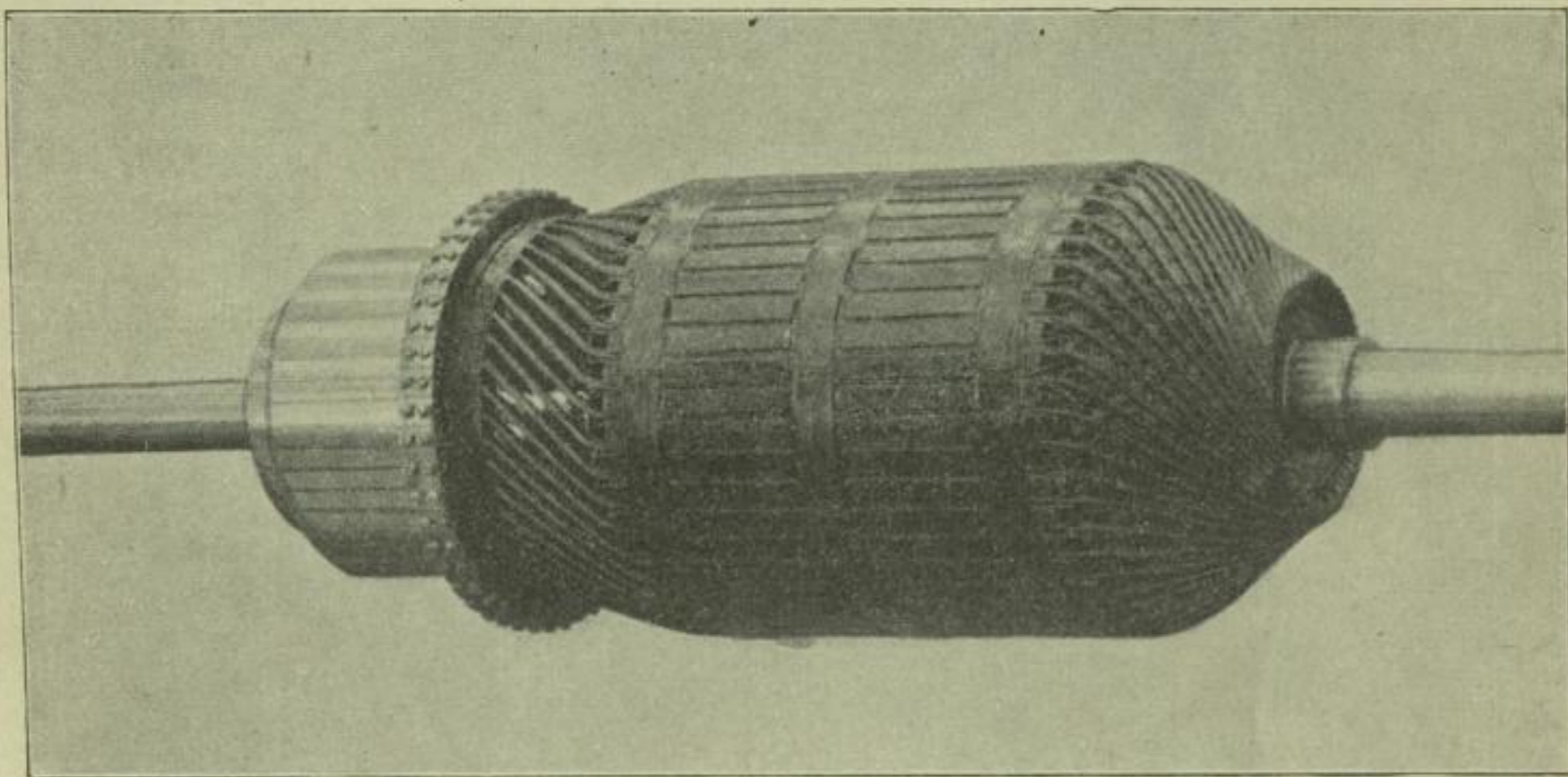


Fig. 252.

Ankerdurchmesser ist 200 mm bei 200 mm Länge, und es sind 38 gefräste Nuten von 22 mm Tiefe und 4,4 mm Breite vorhanden. Der Durchmesser des Ankerdrahtes beträgt 2,5 mm. Die Form der Nuten und die Lage der Drähte ist in Fig. 253 b in größerem Maßstabe dargestellt.

Ein glatter Trommelanker mit zwei Drahtlagen und vier Treibstützen ist in den Fig. 254 und 255 abgebildet. Die Blechscheiben reichen ebenfalls bis zur Welle, und die Endscheiben sind aus Messinggufs hergestellt.

Einen zweipoligen Nutenanker der Maschinenfabrik Oerlikon für eine Leistung von 120 Volt, 32 Amp. bei 1200 Touren pro Minute geben die Fig. 256 und 258.

Fig. 253.

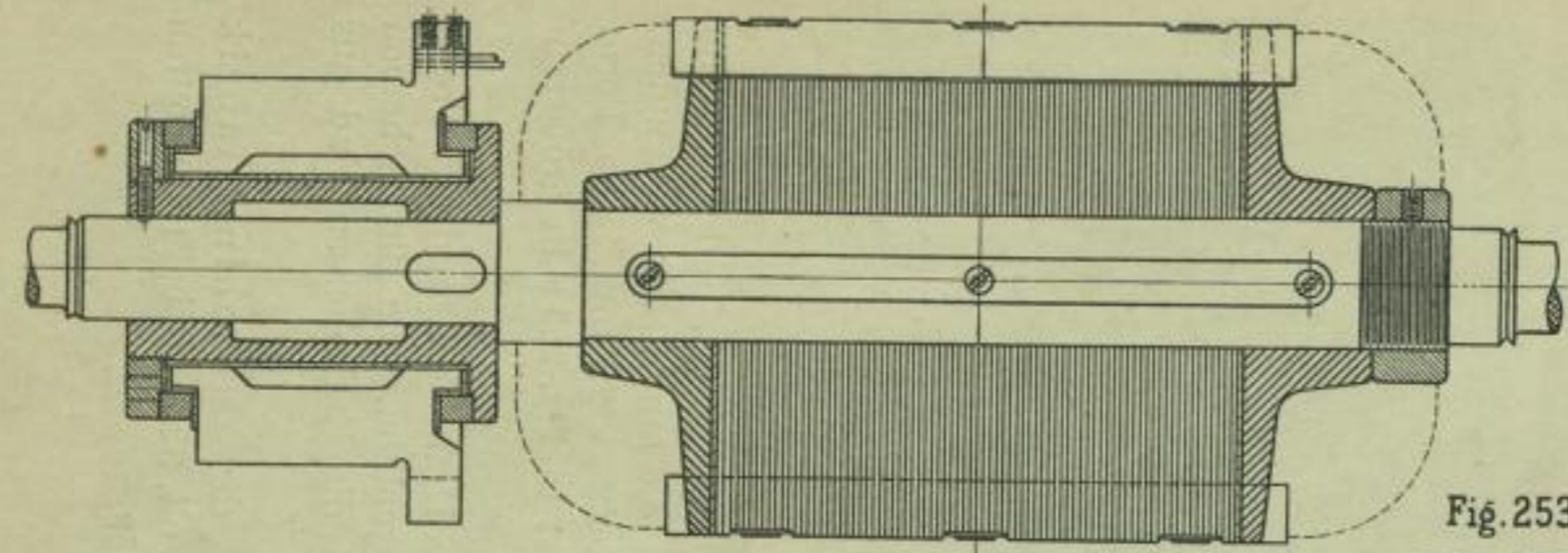


Fig. 253a.

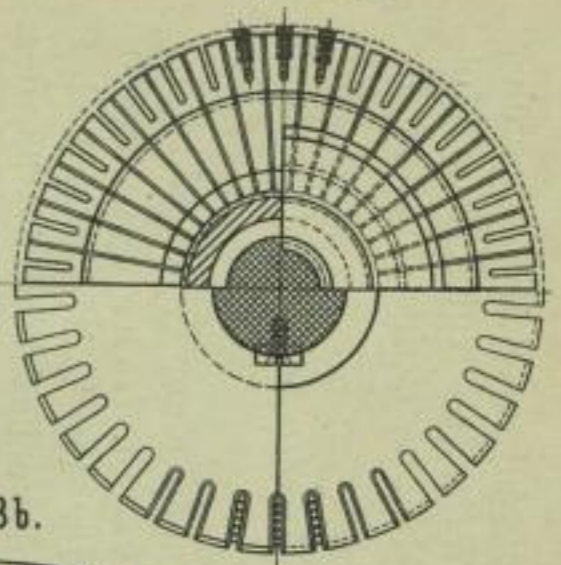


Fig. 253b.

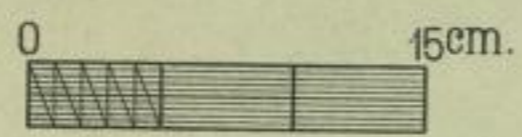
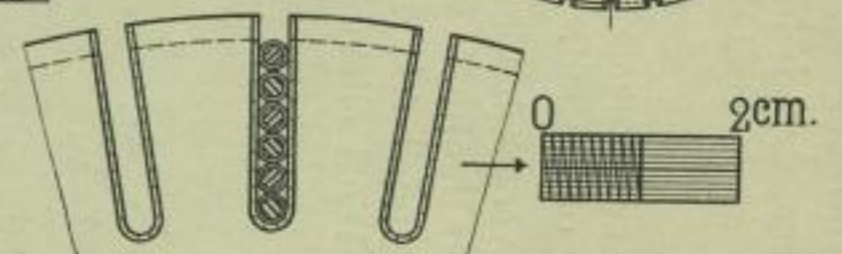


Fig. 254.

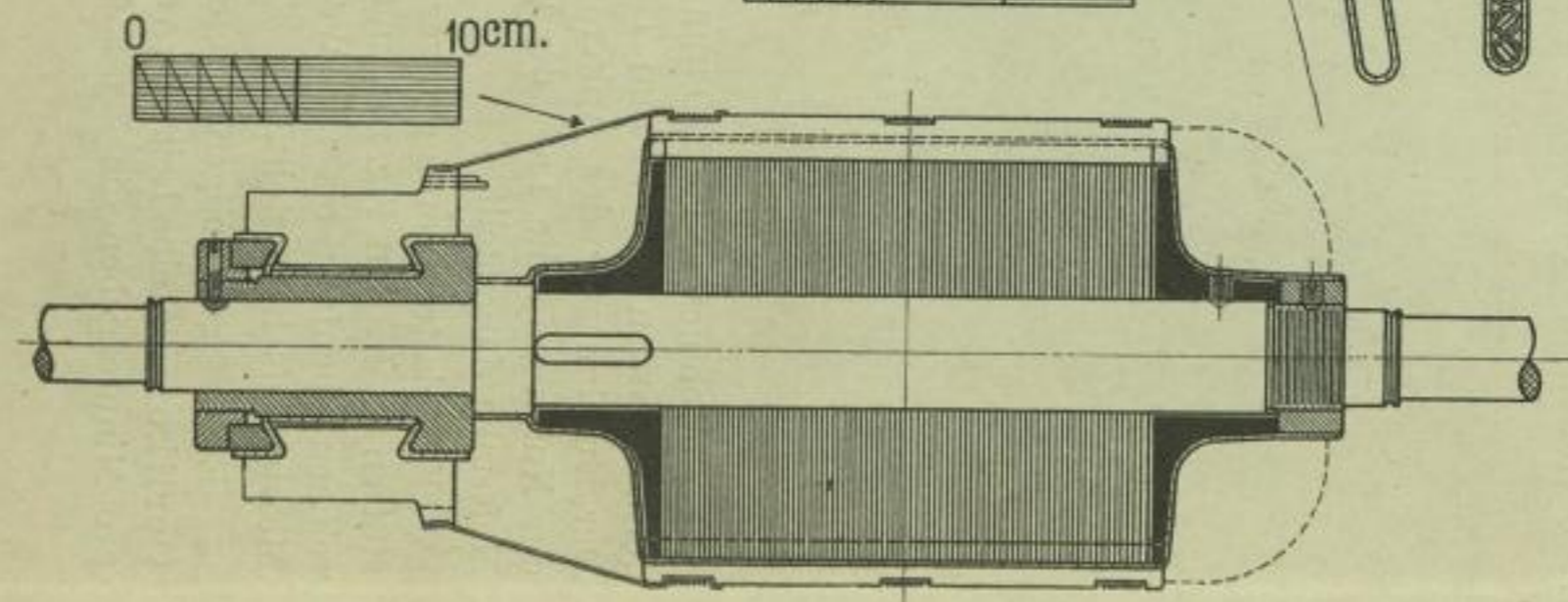
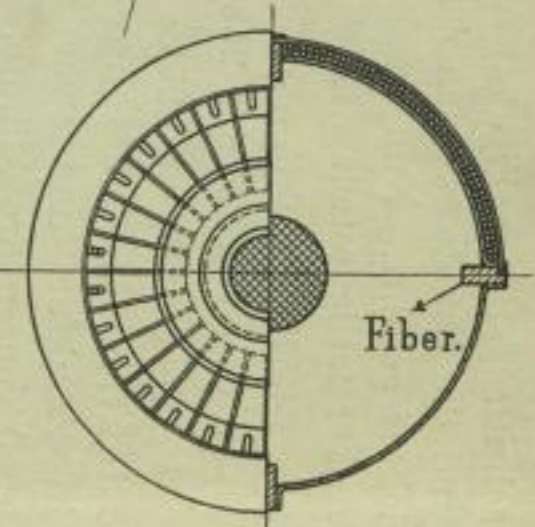


Fig. 255.



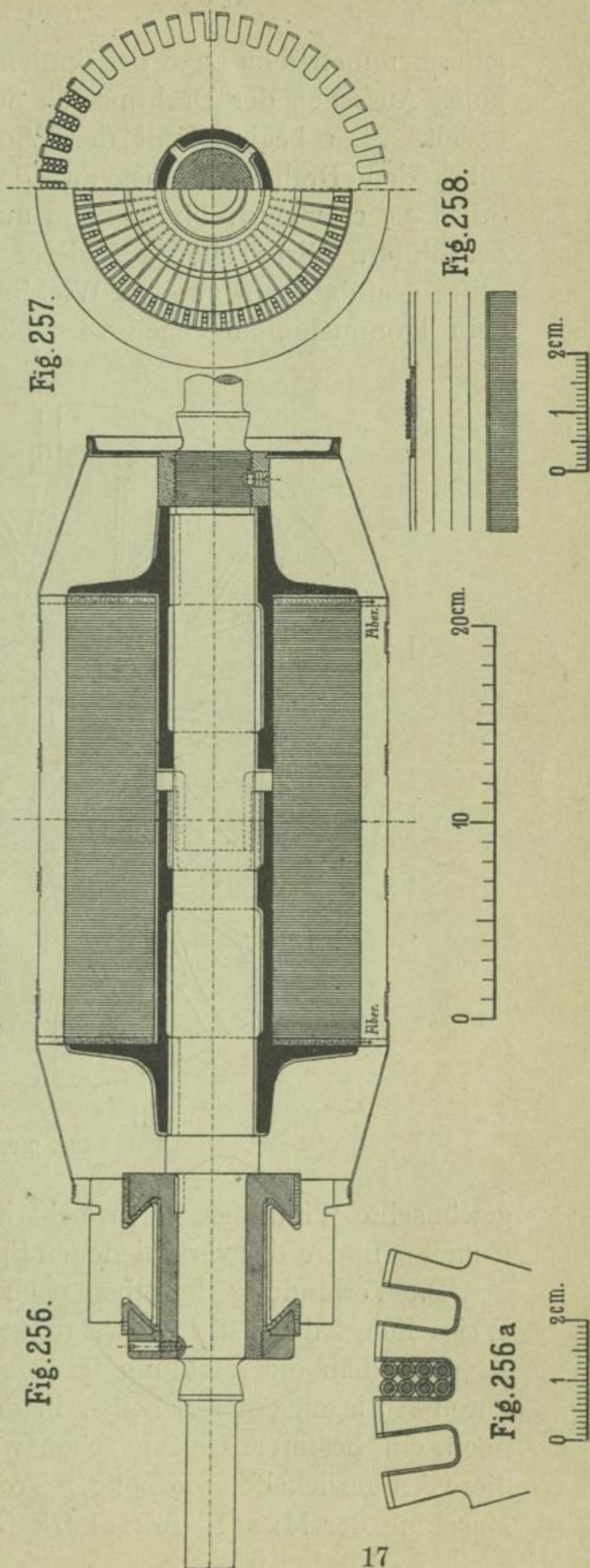


Die Wicklung ist auf beiden Seiten des Ankers mit Tuch verkleidet; zum Festhalten des Tuches ist auf der hinteren Seite eine Messingscheibe an die Schraubenmutter festgenietet. Der Ankernern ist seitlich durch Fiberscheiben abgeschlossen, welche an dieser Stelle, wo die Isolation der Wicklung am ehesten Beschädigungen ausgesetzt ist, von Nutzen sind.

Dieselben Betrachtungen, die wir oben für zweipolige Wicklungen angestellt haben, lassen sich auf mehrpolige Wicklungen anwenden. Wir können die Spulen sowohl in der im Schema aufeinander folgenden Ordnung als auch kreuzweise wickeln.

Um eine bessere und sichere Lage des Drahtes zu erhalten, werden eine Anzahl eiserne Stifte, die mit isolierendem Material überzogen sind, in die Stirnflächen des Ankers eingesetzt. Dieselben dienen den Spulen als Stützpunkte. In Fig. 259 ist eine vierpolige Wicklung für zwölf Spulen dargestellt. Die Reihenfolge, in welcher die Spulen gewickelt sind, ist folgende: 1—1', 4—4', 7—7', 10—10', 3—3', 6—6', 9—9', 12—12', 2—2', 5—5', 8—8', 11—11'; es wird auf diese Weise eine

Arnold. Ankerwicklungen, 2. Aufl.



ganz symmetrische Lage der Spulen, eine gute Verteilung und ein gutes Aussehen der Drahtmassen auf den Stirnflächen des Ankers erzielt. Man beginnt mit der Wicklung bei  $a$  (s. Spule 1—1'), führt den Draht zunächst auf der vordern Stirnfläche, zwei Stifte  $q q$  erfassend, bis  $b$ , dann auf dem Trommelumfang nach der hintern Stirnfläche, auf dieser entlang, wiederum durch zwei Stifte gestützt, zum zweiten Wicklungsfelde der Spule, dann auf dem Trommelumfang nach vorn bis  $c$  und fährt so fort, bis die

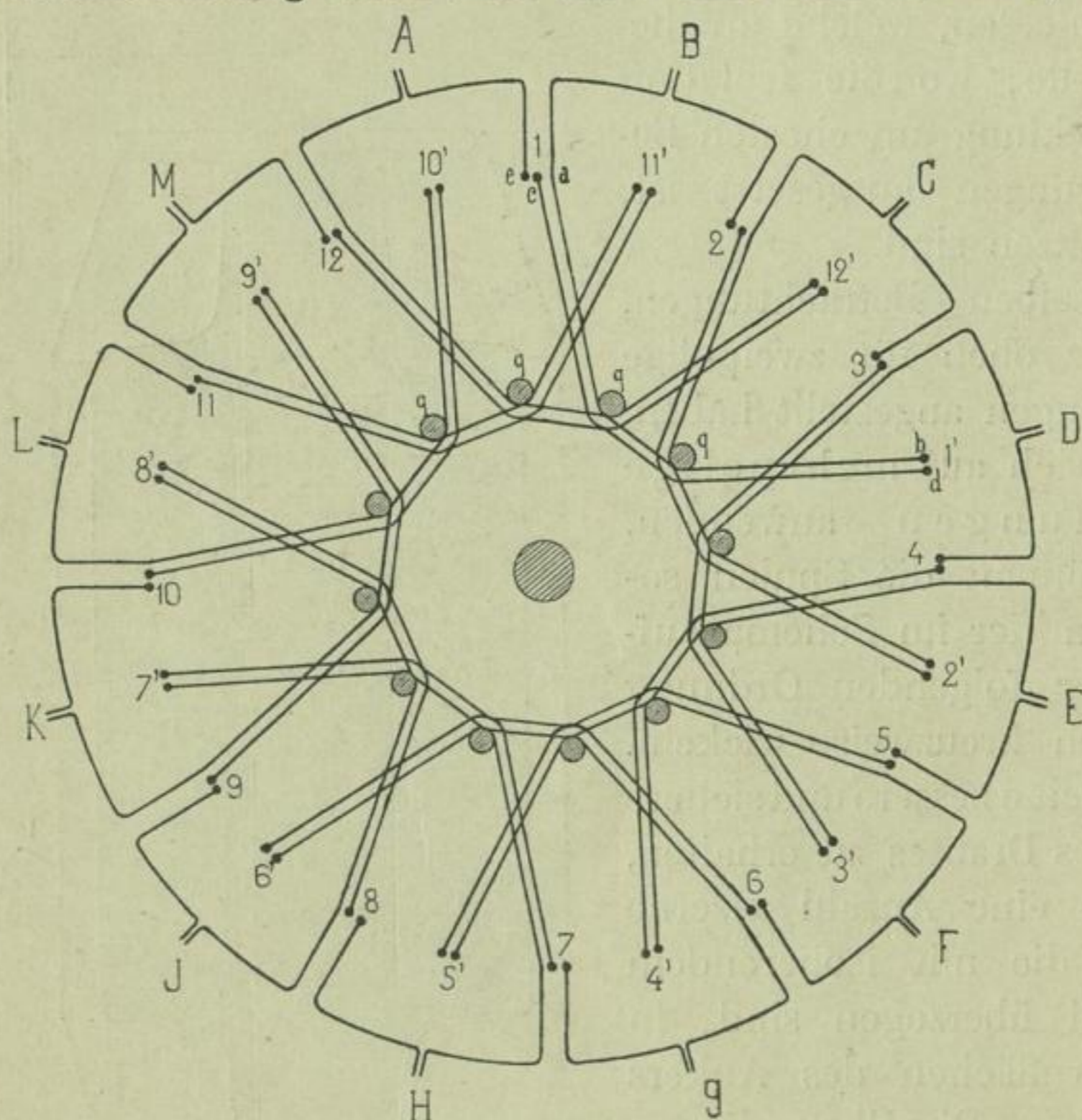


Fig. 259.

gewünschte Windungszahl erreicht ist. Auf eine richtige Lage der Enden  $a$  und  $e$  der verschiedenen Spulen ist besonders zu achten.

Die Verbindung derselben nach der in der Figur angegebenen Weise liefert dann die Abzweigungen  $A, B, C \dots$  zum Kollektor.

Nachdem die Wicklung fertiggestellt ist, kann den Stiften  $q, q$  durch Auflegen einer Scheibe, in deren Löcher die Stifte passen, noch ein besserer Halt gegeben werden. Die Ansicht eines auf diese Art gewickelten vierpoligen Trommelankers einer 20 Kilowatt-Maschine der Maschinenfabrik Oerlikon gibt Fig. 260.

Bei den Trommelankern mit Drahtwicklung ist die Isolation der Spulen unter sich an beiden Stirnflächen der Trommel mit großer Sorgfalt auszuführen, da zwischen benachbarten Spulen die volle Klemmenspannung der Maschine als Spannungsdifferenz auftritt. Um eine gute Isolation zu erhalten, wird Ölpapier, schellackierte Leinwand oder Baumwolle, Seide, Micanittuch, gummiertes Tuch u. s. f. zwischen die einzelnen Spulen eingewickelt.

Eine solche Wicklung ist für niedrige Spannungen etwa bis 300 Volt und bei ganz sorgfältiger Wicklung durch geübte Hand

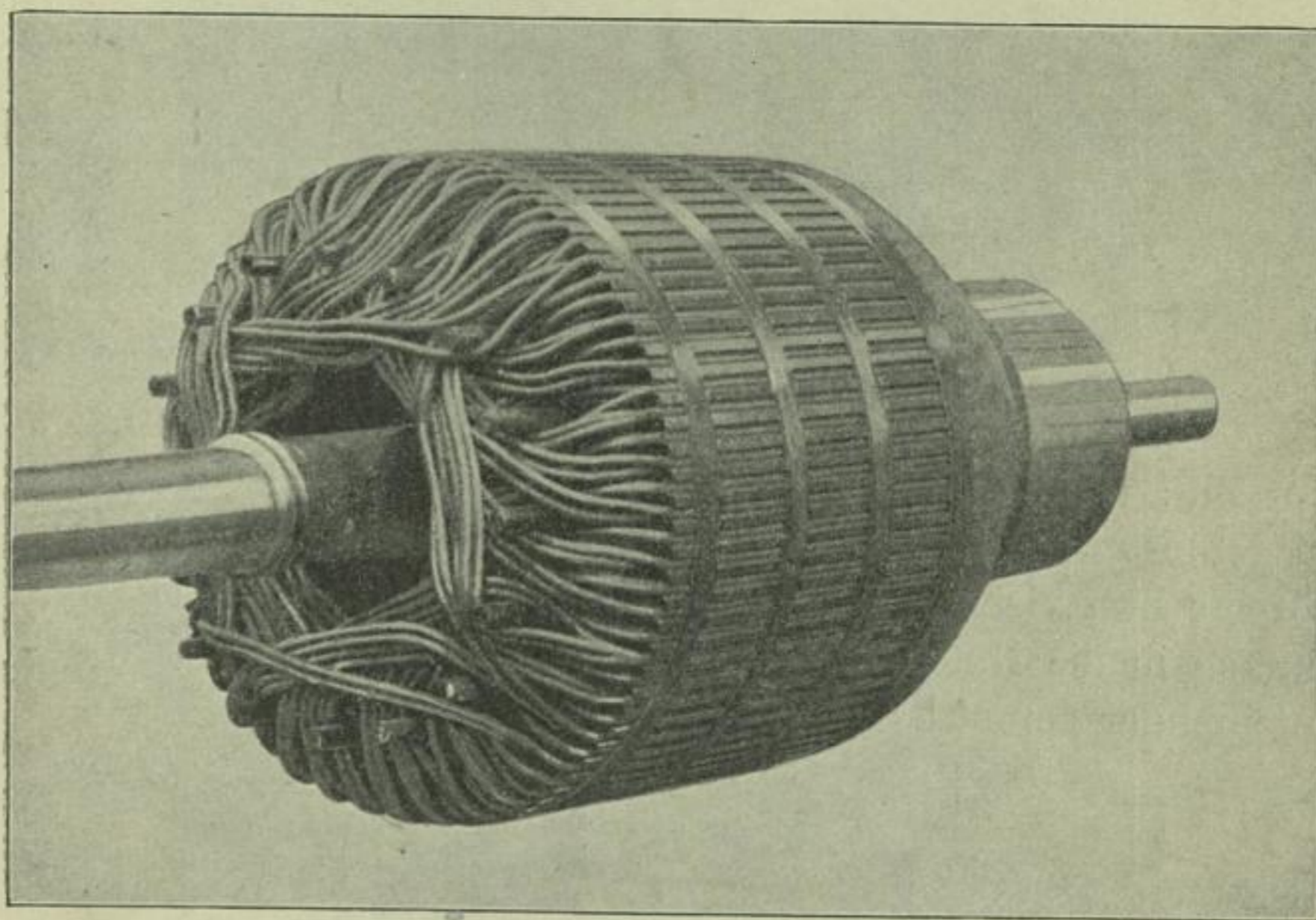


Fig. 260.

für Spannungen bis 600 Volt anwendbar. Ein sauberes Herstellen der Wicklung ist wegen des Verbrauches an Isoliermaterial und des Festhaltens desselben an der richtigen Stelle in letzterem Falle schon recht schwierig.

Es sind nun für die Ausführung der Drahtwicklungen eine Reihe von Konstruktionen entstanden, welche diese Übelstände teilweise oder ganz vermeiden. Ich erwähne zunächst den in Fig. 261 dargestellten Trommelanker für Trambahnmotoren der Westinghouse Electric Co., Pittsburg. Links ist der ungefräste und rechts der gefräste, aber unbewickelte Ankerkörper abgebildet, während in der Mitte der fertige vierpolig bewickelte Anker liegt.

Jede Spule wird einzeln, und bevor man sie in die Nuten einlegt, hergestellt. Der Draht wird zu dem Zwecke auf einem Rahmen, entsprechend der Nutenform des Ankers, aufgewickelt, mit einem isolierenden Gewebe und Glimmereinlage sorgfältig bewickelt, mit einem isolierenden Anstrich versehen und getrocknet.

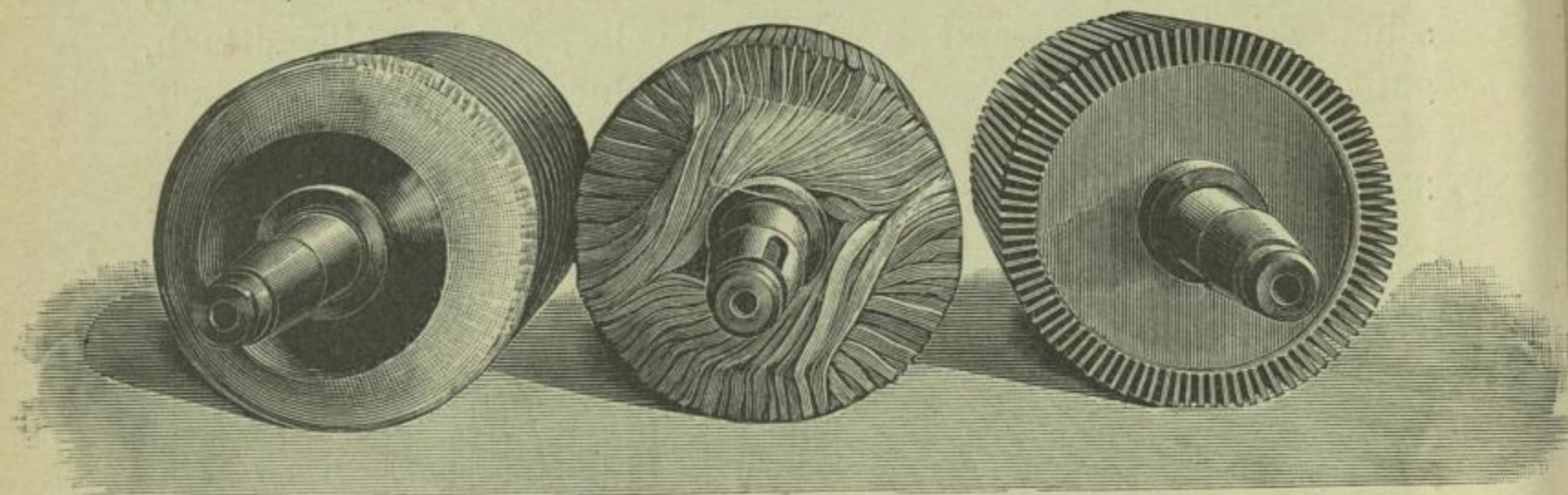


Fig. 261.

Diese getrennte Fabrikation der Spulen und Ankerkörper hat zwei Vorteile: erstens kann die Isolation der Spulen sehr sorgfältig ausgeführt werden, und zweitens nimmt die Bewicklung des Ankerkörpers nun viel weniger Zeit in Anspruch. Die Spulen werden einfach in die Nuten eingebracht und auf beiden Stirnseiten fest aufeinander geprefst.

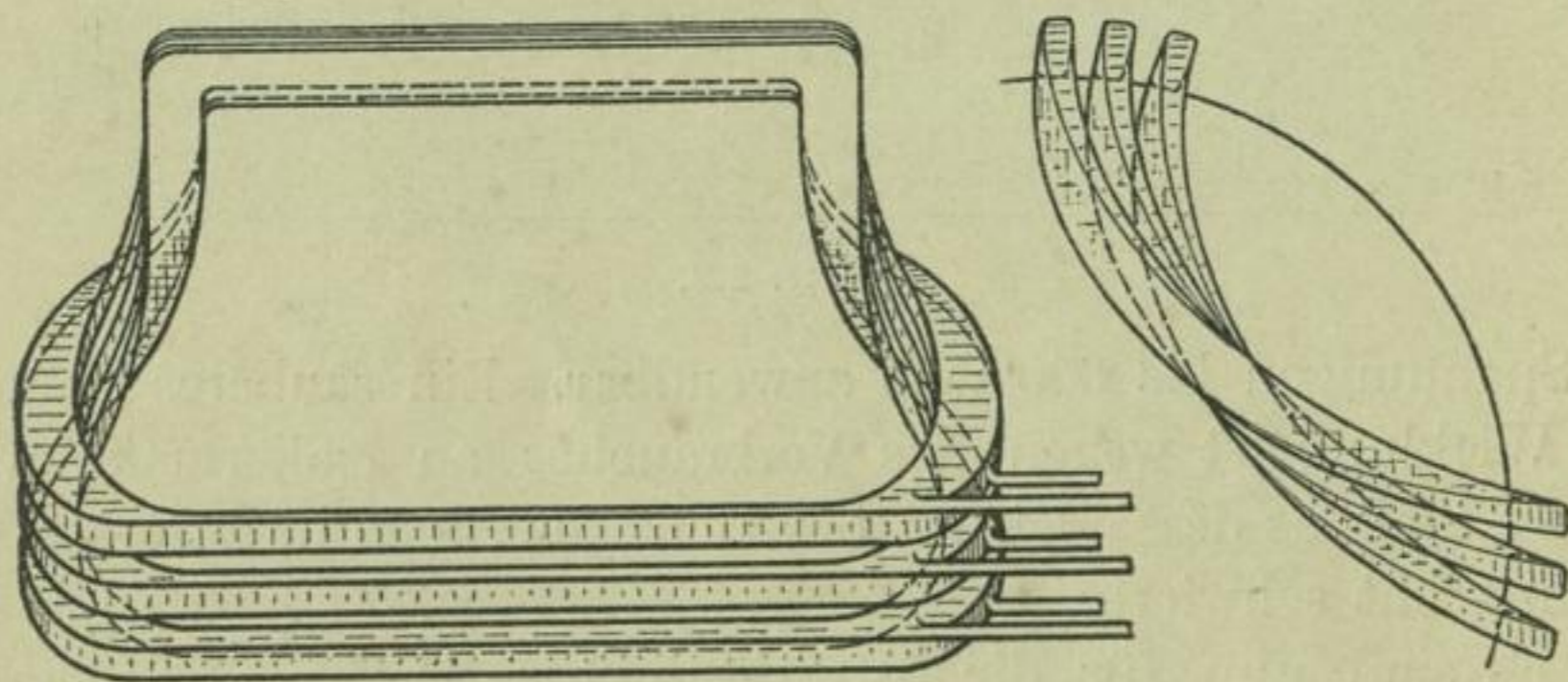


Fig. 262.

**Trommelanker mit Drahtwicklung nach Schablonen.** Mit dem Namen Schablonenwicklung belegt man eine solche Wicklung, deren Spulen vor dem Aufbringen auf die Armatur einzeln nach einer Schablone hergestellt werden und dabei eine Gestalt erhalten, welche unverändert auf dem Armaturkörper befestigt werden kann.

Die oben erwähnte Wicklung der Westinghouse Co. ist daher nur zum Teil eine Schablonenwicklung, weil die Spulen bei dem Befestigen die ursprüngliche Gestalt verlieren.

Die ersten Trommelanker mit Schablonenwicklung sind von R. Alioth & Co. in Basel ausgeführt worden; im D. R. P. Nr. 34783 vom 17. März 1885 ist diese Wicklung beschrieben.

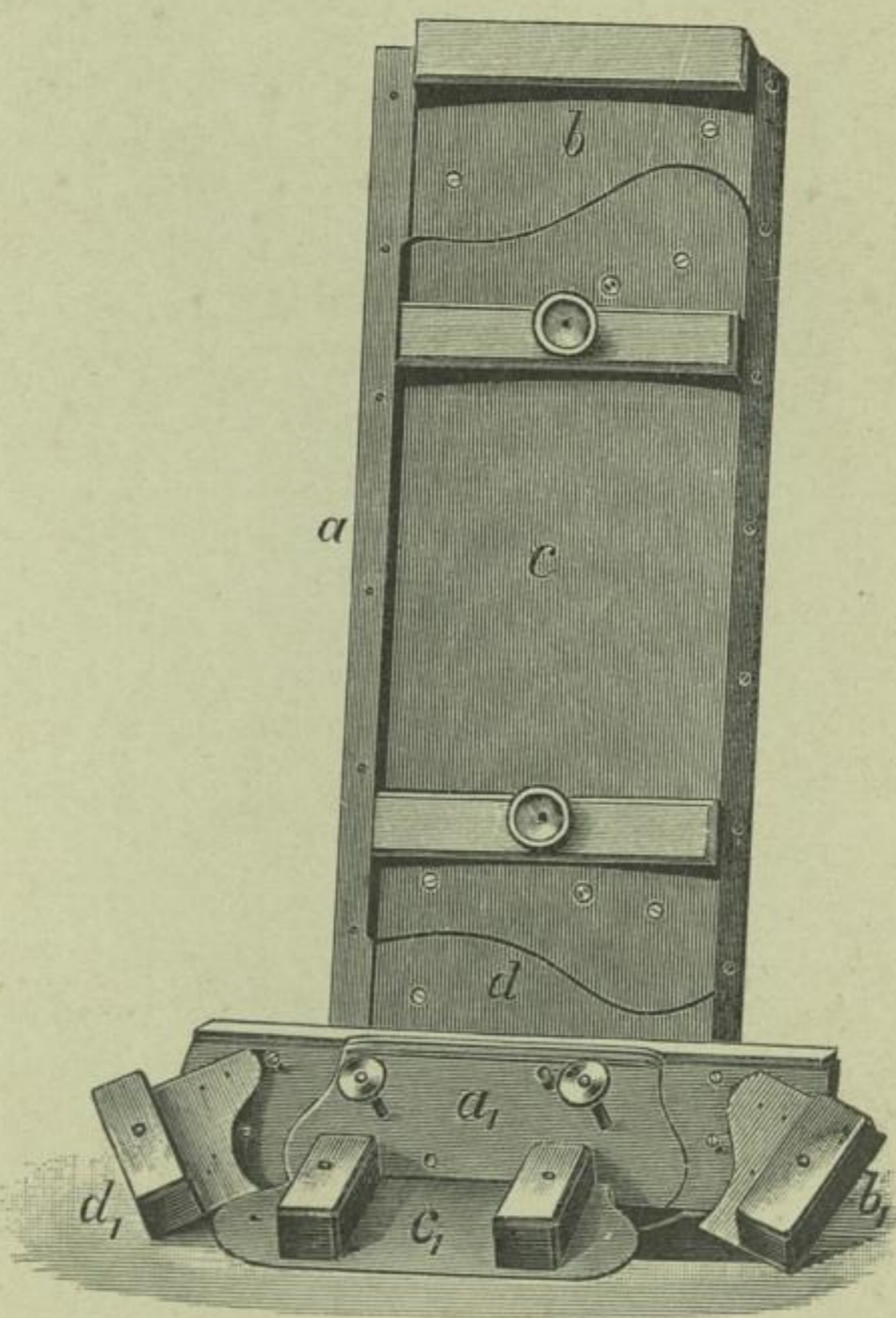


Fig. 263.

Die Gestalt von drei aufeinander folgenden Spulen ist in Fig. 262 gezeichnet. Dieselben werden auf hölzernen Schablonen von der in Fig. 263 dargestellten Bauart gewickelt. Die Schablone besteht im wesentlichen aus vier Teilen, einer Bodenplatte *a* und drei aufgeschraubten Teilen *b*, *c* und *d*. In der Figur ist am Fuße der stehenden Schablone eine zweite auseinandergeschraubte Schablone *a*<sub>1</sub>, *b*<sub>1</sub>, *c*<sub>1</sub>, *d*<sub>1</sub> dargestellt.

Die geschweiften Teile der Spule werden zwischen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $a$ ,  $c$ ,  $d$  freigelassen, während diejenigen Drähte, die an den Umfang der Armatur zu liegen kommen, längs den geraden Seiten

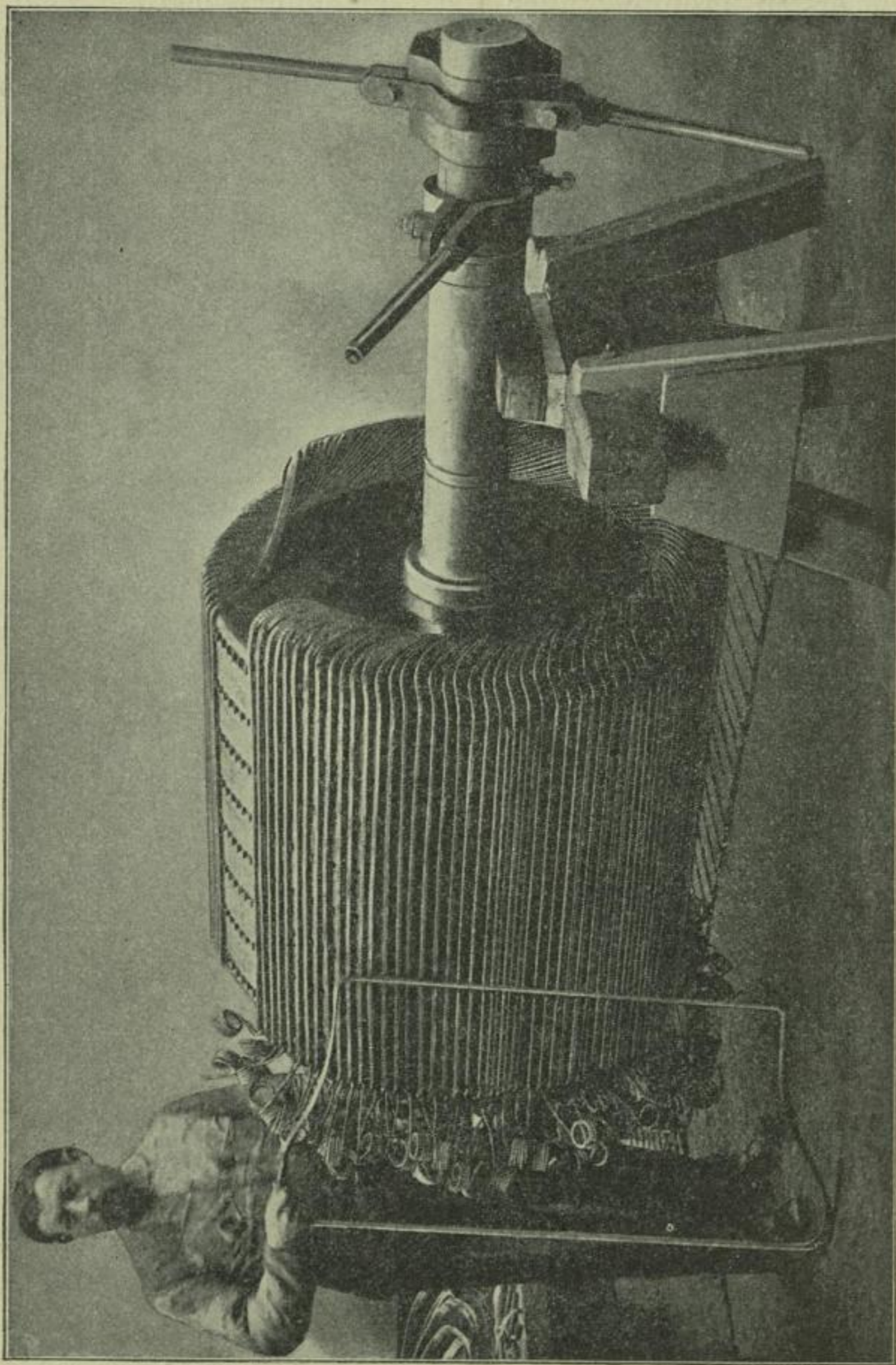


Fig. 264.

von  $c$  gewickelt werden. Um die Spule herausnehmen zu können, müssen die Teile  $b$ ,  $c$  und  $d$  entfernt werden. Die Bestimmung der Spulenform und das Aufzeichnen der Schablone gehört in das

Gebiet der darstellenden Geometrie, bietet aber bei einiger Übung keine besondern Schwierigkeiten.

Die so hergestellten Spulen werden mit Schellack bestrichen und für hohe Spannungen vorher noch mit Baumwollband umwickelt und dann getrocknet.

In Fig. 264 ist veranschaulicht, wie die Spulen zu einer ganzen Wicklung zusammengesetzt werden; eine Spule hält der Wickler in der Hand. Die Figur stellt den Anker einer sechspoligen 300pferdigen Maschine für 180 Touren und 660 Volt Spannung dar. Die E. A. Alioth hat diese Wicklung bis zu Spannungen von 1500 Volt ausgeführt.

Wie aus der Figur ersichtlich, bilden die Spulen auf beiden Seiten der Armatur starke Wülste, deren Hohlraum ungefähr kreisförmig ist. Als Treibstützen dienen 8 Reihen kleiner Eisenkeile, welche in ausgestanzte Nuten der Armaturbleche eingetrieben sind.

Ist die Wicklung soweit vollendet, daß die letzten Spulen an die zuerst aufgebrachten anstossen (in der Figur fehlen noch 3 Spulen, bis dieser Umstand eintritt), so müssen die ersten wieder abgehoben werden, damit die in diese Spulen eingreifenden Seiten der noch fehlenden Spulen eingeschoben werden können.

Die Schablonenwicklung von R. Eickemeyer, D.R.P. Nr. 54413 vom 14. Februar 1888 gehört zu den bekanntesten und vielfach angewandten Schablonenwicklungen.

Die Eickemeyer-Wicklung ist wohl dem Gedanken entsprungen, die Vorzüge der später zu besprechenden Stabwicklungen auf Drahtwicklungen zu übertragen. Die mittels Schablonen hergestellten Spulen nach Eickemeyer und die aus Stäben zusammengefügtten Spulen haben übereinstimmende Form; in beiden Fällen sind die Querverbindungen der Spulen an den Stirnflächen der Trommel derart in zwei Ebenen untergebracht, daß eine Berührung der sich kreuzenden Drähte vermieden wird.

In den Fig. 265 und 266 ist die Gestalt der Spule eines zweipoligen Trommelankers mit vier Windungen abgebildet. Die Seiten *a* und *b* liegen am Umfange und die Seiten *c*, *e* und *d*, *f* auf den Stirnseiten der Trommel. Die Seite *a* der Spule ist länger als die Seite *b*, so daß, wenn die verschiedenen Spulen auf den Anker aufgesetzt werden, die Seite *b* jeder Spule zwischen den Seiten *c*, *d* der anderen Spule hindurchgeht. Die auf den Stirn-

flächen liegenden Seiten *c*, *e* und *d*, *f* sind nach Kreisevolventen gekrümmt; aus Fig. 266 ist das ersichtlich. In der Mitte ist der Draht abgekröpft, so daß bei dem Zusammensetzen der Wicklung

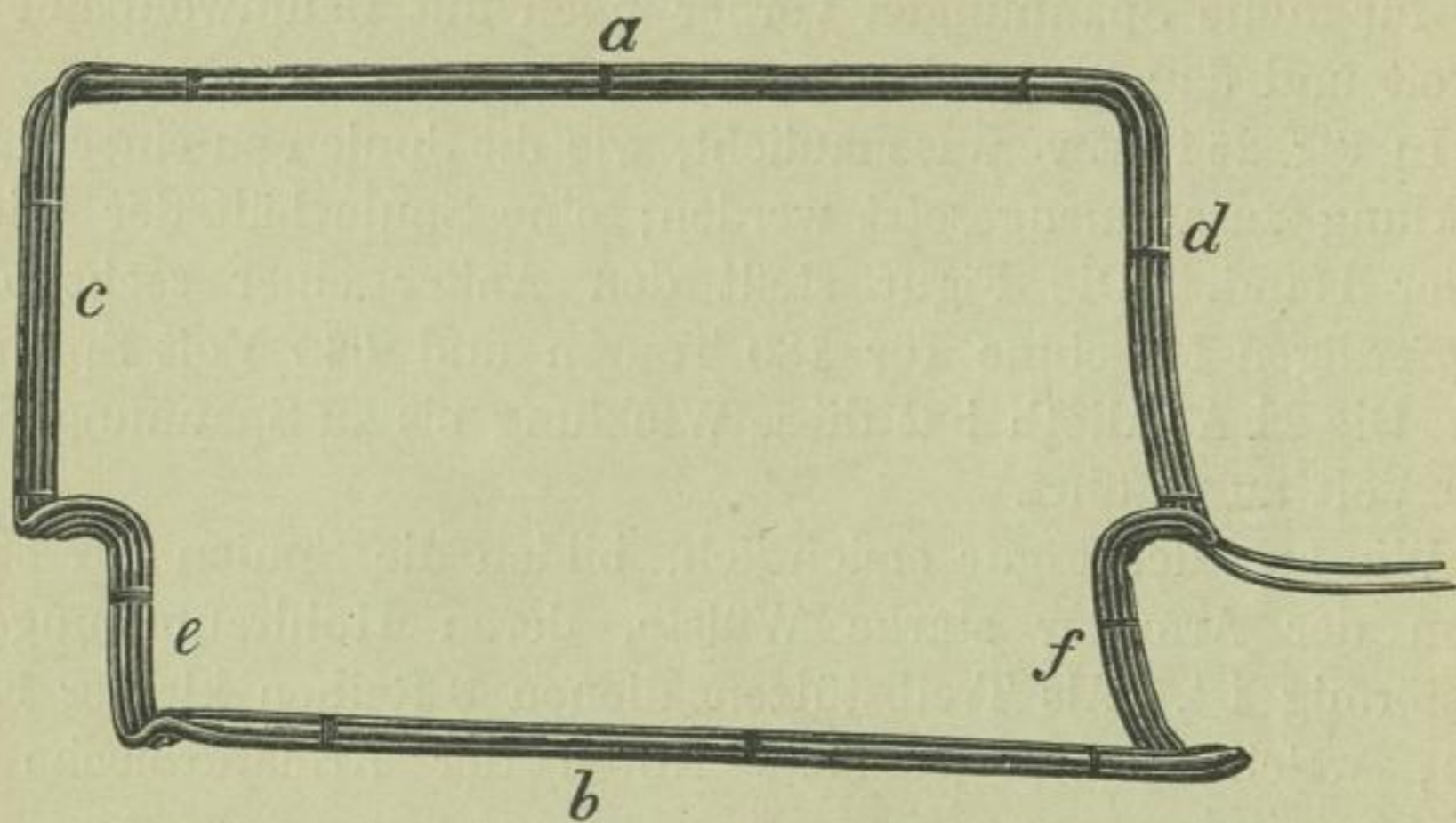


Fig. 265.

die Seiten *c*, *d* in die eine und die Seiten *d*, *f* in die andere Ebene zu liegen kommen, wodurch eine Berührung der sich kreuzenden Drähte vermieden wird.

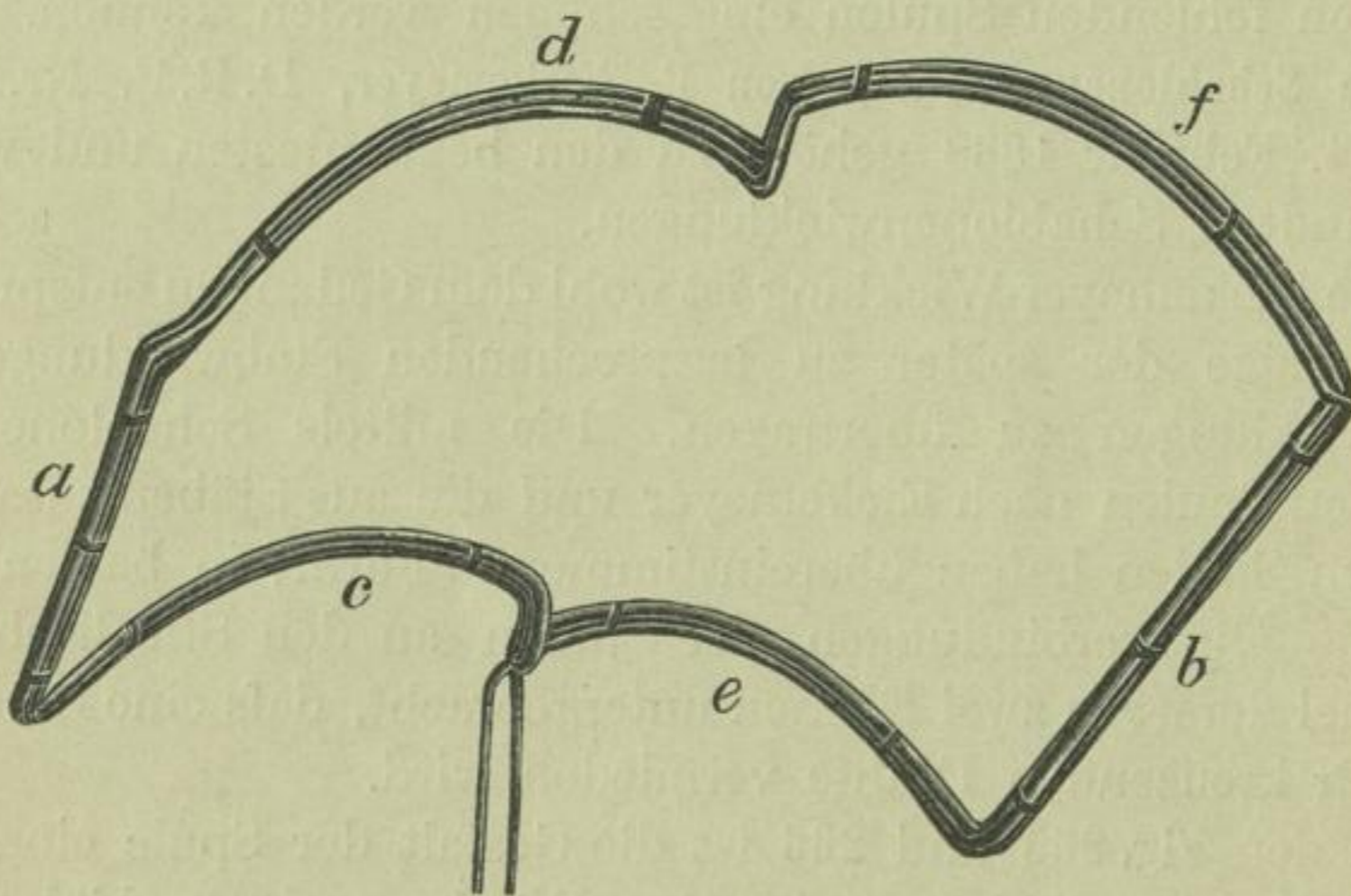


Fig. 266.

Am Umfange der Trommel (Seiten *a* und *b*) liegen zwei Drähte übereinander und zwei nebeneinander, an den Seitenflächen müssen dagegen die vier Drähte übereinander gewickelt werden, damit hier sämtliche Drahtspulen Platz finden.



Denkt man sich die Spule in die Papierebene flach gedrückt, und die Drähte auch am äußern Umfange übereinander gewickelt, so erhält man Fig. 267. Um in der Spule selbst nur eine Kreuzung der Windungen zu erhalten, muß in der angegebenen Weise gewickelt werden; auf der *b*-Seite folgen die Windungen 1, 2, 3 von innen nach außen und auf der *a*-Seite von außen nach innen aufeinander; die Windung 4 kreuzt dann zum Schlusse in der Ecke *ac* die Windungen 1, 2, 3. — In Fig. 265 liegen auf

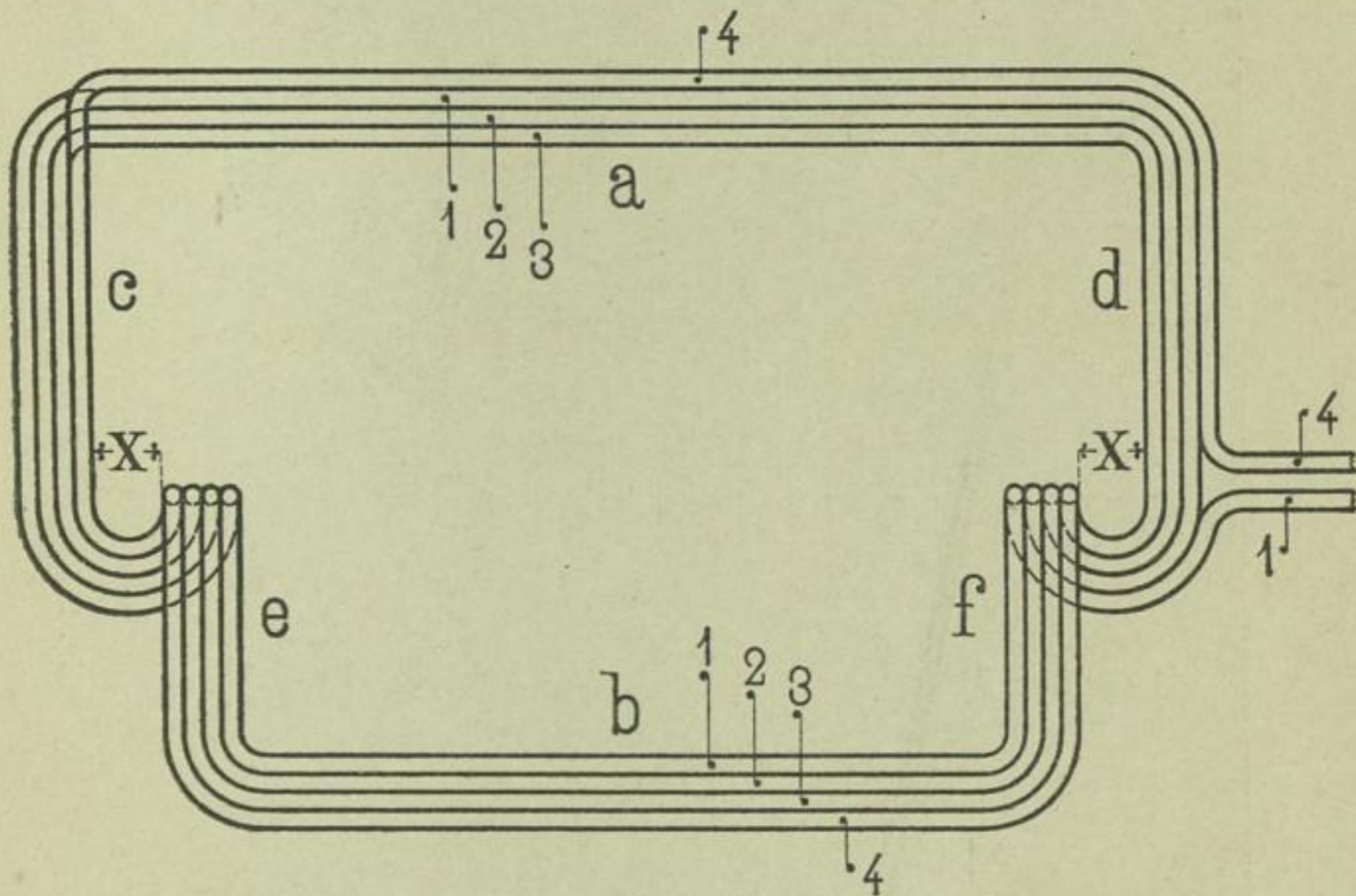


Fig. 267.

der Seite *a* die Windungen 1, 2 und 3, 4, und auf Seite *b* die Windungen 2, 1 und 3, 4 in radialer Richtung am Trommelumfange übereinander.

Die Schablone, auf welcher die oben abgebildeten Spulen hergestellt wurden, ist in Fig. 268 dargestellt, und Fig. 269 gibt den zugehörigen Anker mit Kollektor, aber ohne Drahtbänder, ausgeführt in der Maschinenfabrik Oerlikon. Um die Windungen auf der Seite *a* (Fig. 267) in verkehrter Reihenfolge wickeln zu können, bedient man sich passender Einlagen. In Fig. 268 sind der Schablone solche aus Blech verfertigte Einlagen beigelegt.

Nach den oben gemachten Angaben habe ich in den Fig. 270 und 271 einen Trommelanker mit Eickemeyer-Wicklung entworfen und in den Fig. 272 und 273 die dazu passende Schablone beigelegt.

Am Ankerumfange liegen 480 Drähte, welche in 40 Spulen von je 6 Windungen eingeteilt sind; der Kollektor erhält somit 40 Lamellen. Diese Drahtzahl muß am Ankerumfange in drei

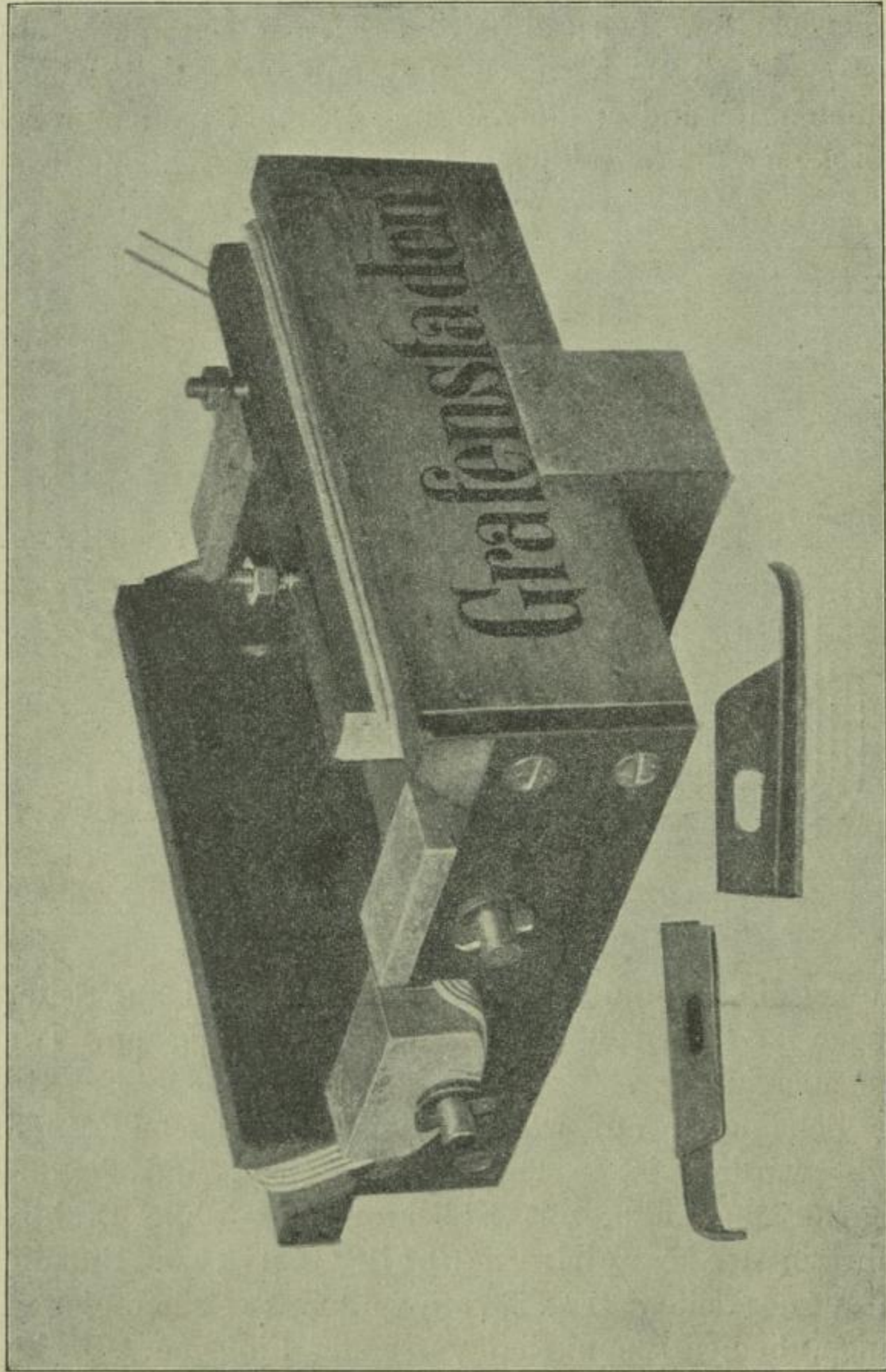


Fig. 268.

Lagen angeordnet werden; an den Stirnflächen des Ankers ist, wie die Konstruktion der Fig. 270 ergibt, dagegen für sämtliche Drähte nur dann Platz, wenn hier 6 Drähte übereinander gewickelt werden.

Wenn die Spulenform auf diese Weise bestimmt ist, kann zur Konstruktion der Schablone geschritten werden, welche der ermittelten Spulenform genau anzupassen ist. In Fig. 272 ist der Grundriss, in Fig. 273 die Ansicht von  $N$  aus gesehen und in Fig. 274 der Längsschnitt  $MN$  der Schablone aufgezeichnet.

Dieselbe besteht aus einem Rahmen, der durch die Holzstücke  $A, K, B$  und die Eisenbleche  $L, L_1$  gebildet wird. An den Eisenblechen sind zwei äußere Formstücke aus Blei oder Zinn  $C, D$  und zwei innere  $E, F$  mittels Bolzen und Keil befestigt. Die Stärke

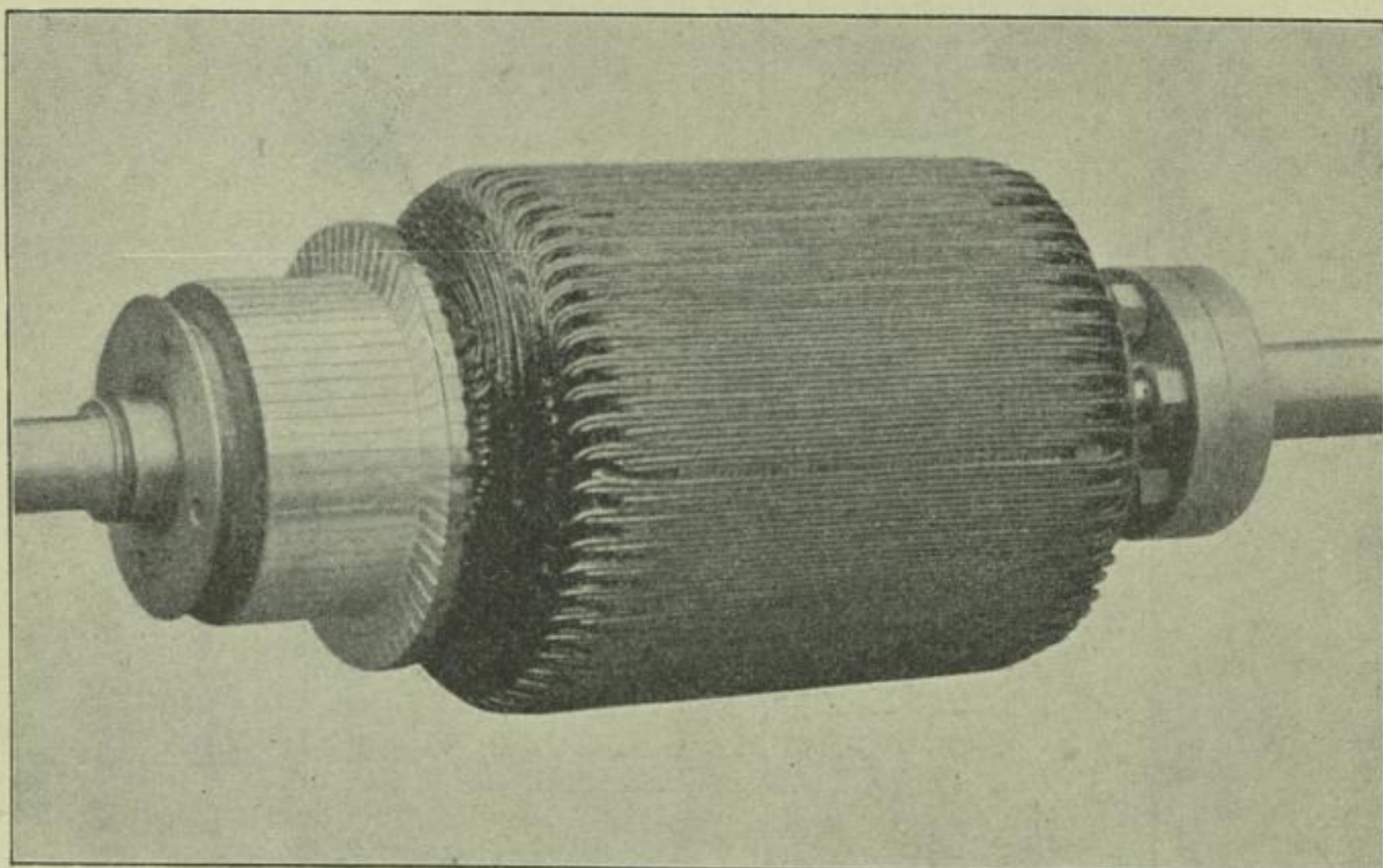


Fig. 269.

der Eisenbleche wird entsprechend dem Abstände der Spulen  $\alpha$  (Fig. 271 und 267) gewählt, und die Formstücke werden nach der in Fig. 270 festgelegten Form der Kreisevolvente bearbeitet.

Beginnt man mit der Wicklung der Spule bei  $M$ , so wird der Draht zunächst in den zwischen  $D$  und  $F$  freigelassenen Schlitz eingeklemmt und dann wie folgt geführt: Nach der Innenseite des Rahmens, um das Formstück  $F$ , längs der Seite  $B$ , um das Formstück  $E$ , nach der Außenseite des Rahmens, um das Formstück  $C$ , längs der Seite  $A$ , um das Formstück  $D$ , nach der Innenseite des Rahmens u. s. f. Man beginnt natürlich mit der Windung, welche an den Blechen  $L$  und  $L_1$  anliegt. Die großen Buchstaben der Fig. 272 entsprechen der Lage nach den kleinen Buchstaben der Fig. 265.

Fig. 271.

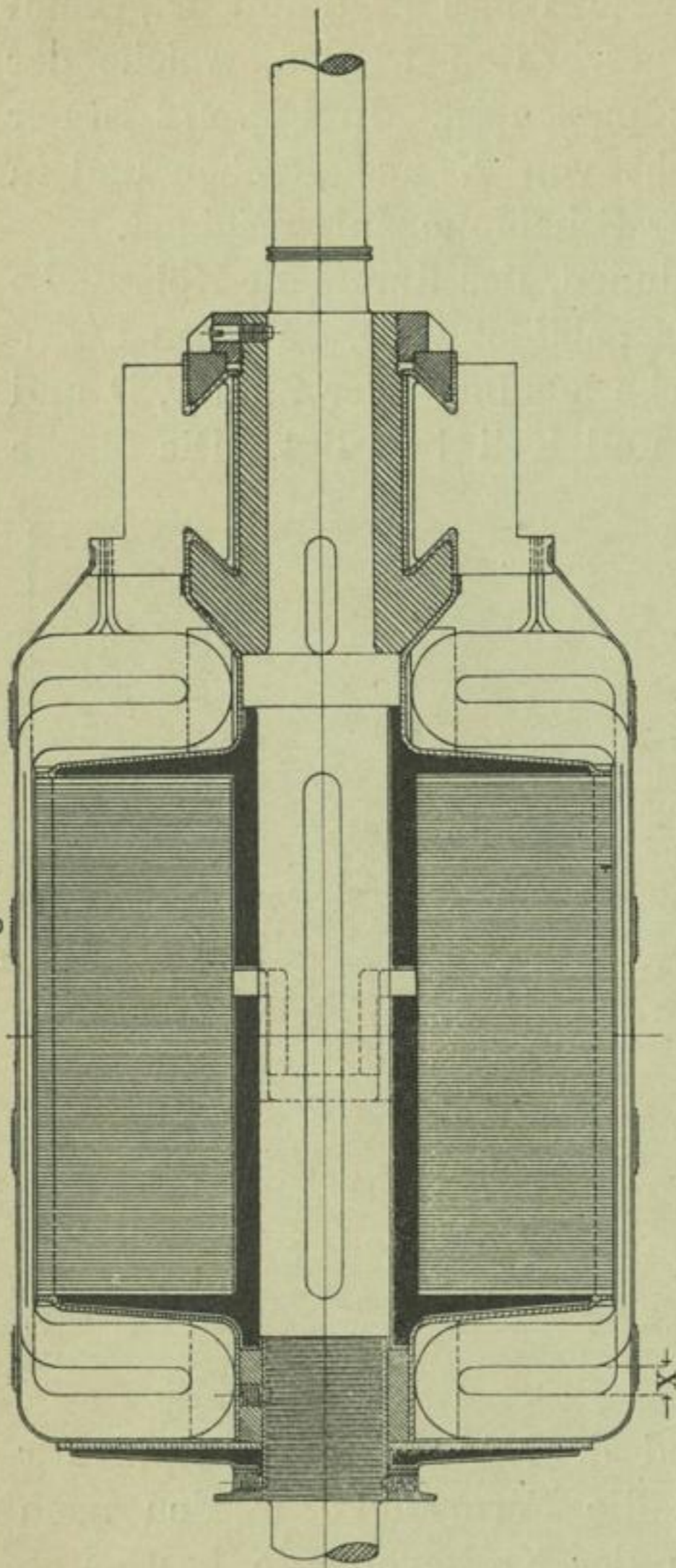


Fig. 270.

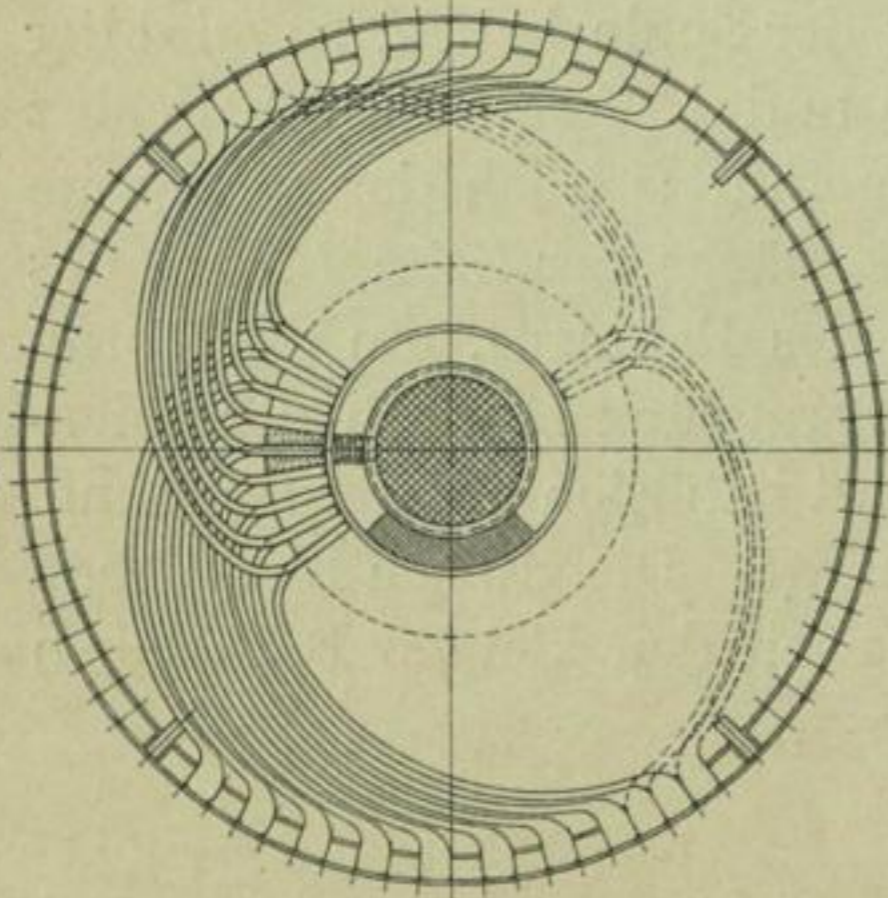


Fig. 272.

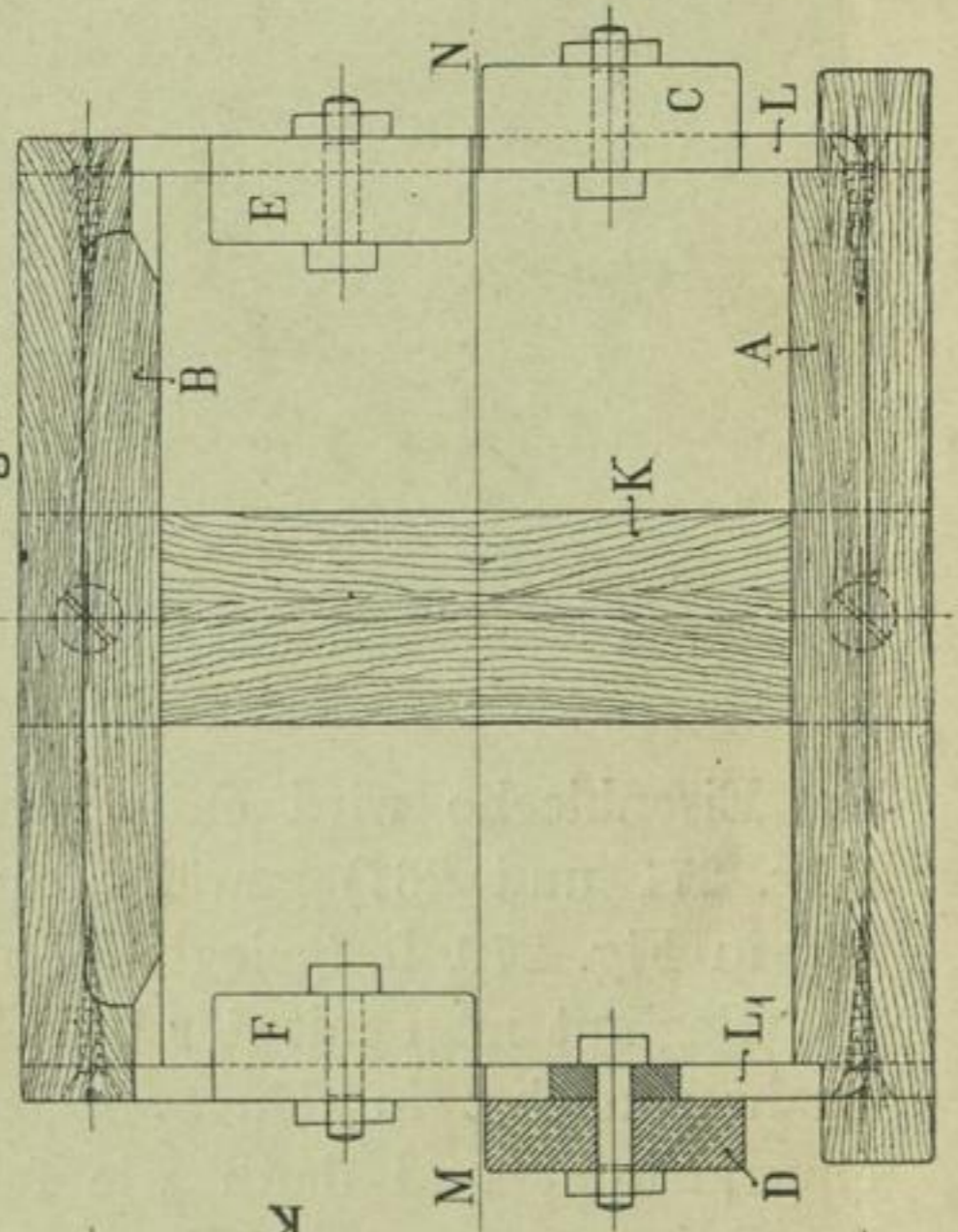


Fig. 273.

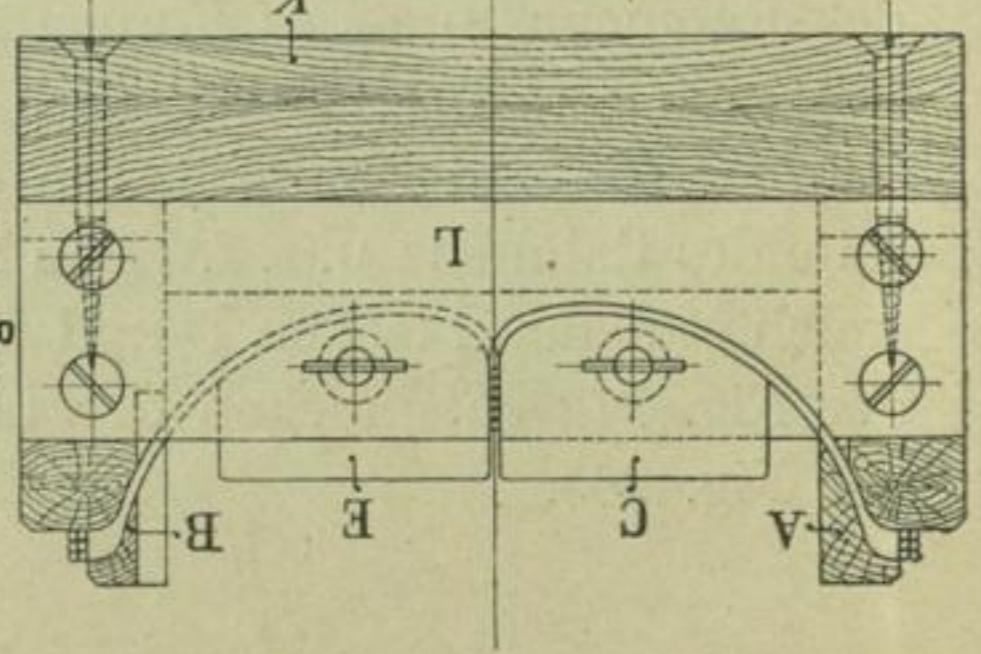
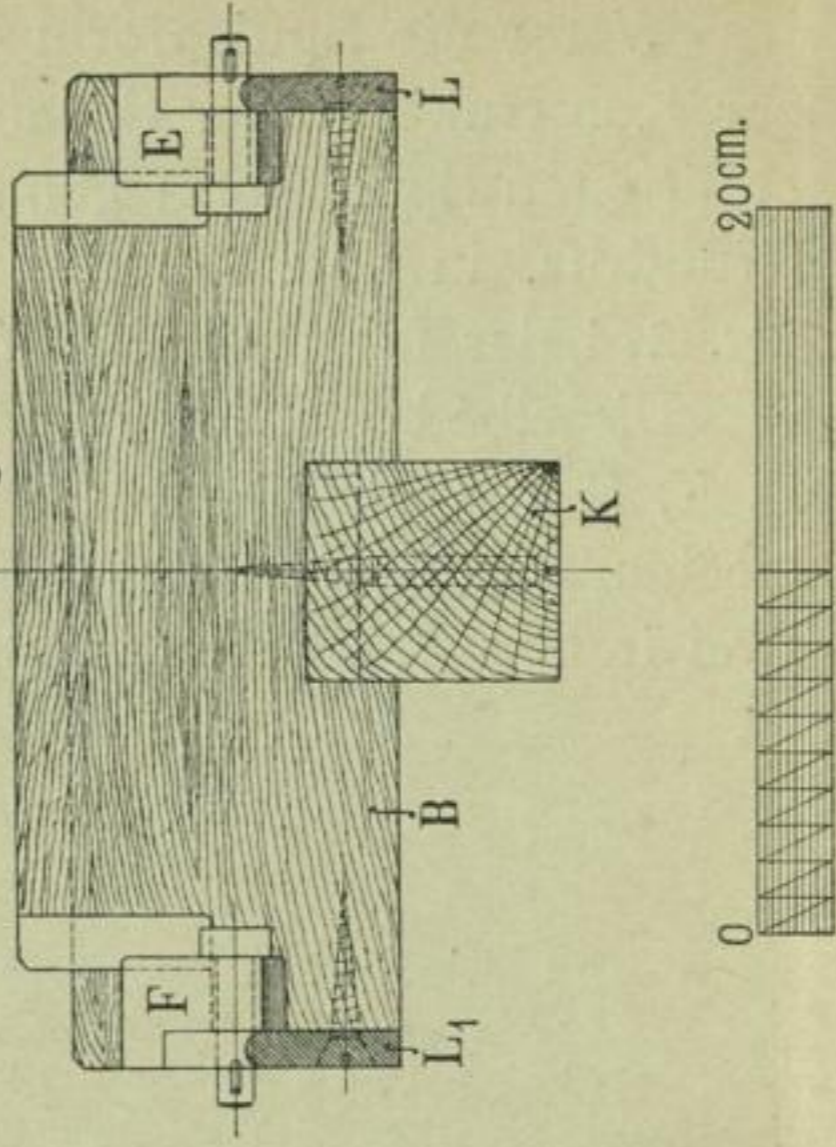


Fig. 274.



Um die Spule aus dem Rahmen entfernen zu können, müssen die Formstücke *C*, *D*, *E* und *F* entfernt werden; vorher versieht man die Spule mit kleinen Schnurbändern, welche die Drähte in der gegebenen Lage festhalten. Die Spulen werden nun mit Schellack oder einer Gummilösung bestrichen, getrocknet und dann auf dem isolierten Armaturkörper befestigt.

**Die Schablonenwicklung der E. A. G. vorm. Lahmeyer & Co.** Eine sehr schöne und einfach auszuführende Schablonenwicklung führt obige Firma für vier- und mehrpolige Anker mit Drahtwicklung aus. In Fig. 275 ist ein vierpoliger Anker einer normalen Gleichstrommaschine, Modell B VI, von 110 Volt, 135 Amper Leistung bei 800 Touren pro Minute, im ungefähren Maßstabe von 1:11 abgebildet.

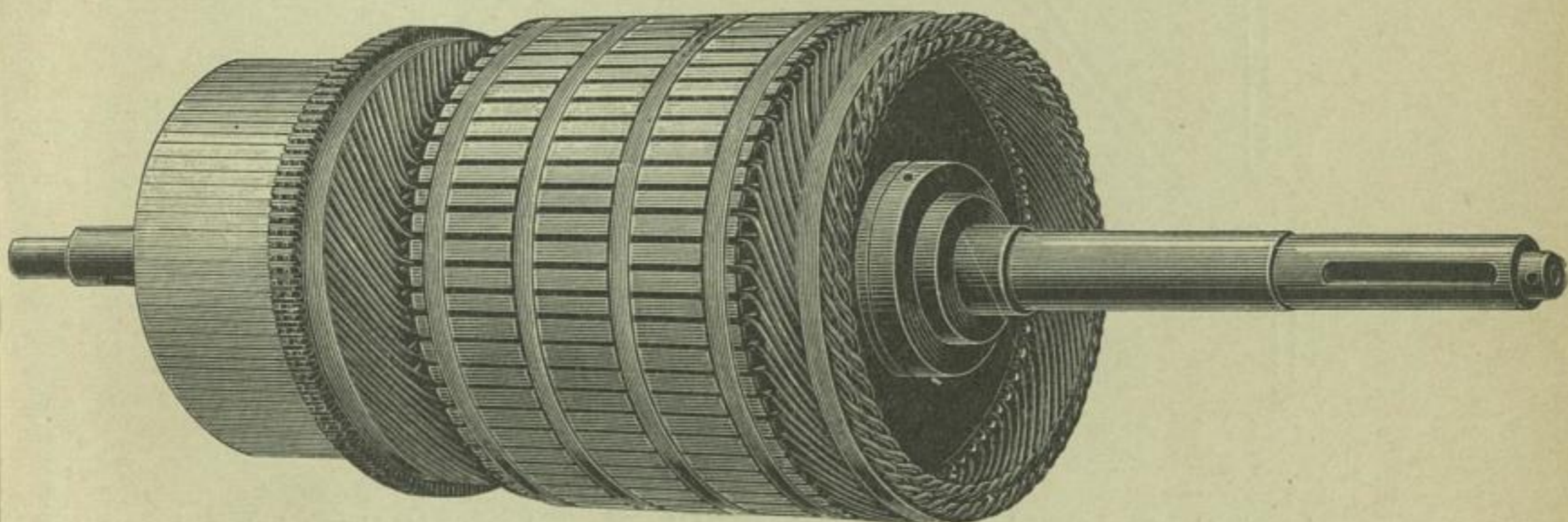


Fig. 275.

Die Wicklung dieses Ankers besteht aus vier Drahtlagen, in jeder Nut liegen somit vier Drähte übereinander, die gesamte Drahtzahl beträgt 256, die Nutenzahl 64 und die Kollektorlamellenzahl 128. — Jede der 128 Armaturspulen besteht aus einem Stück Draht, welches mittels einer einfachen Vorrichtung in die Form Fig. 276 geprefst wird. Denkt man sich nun die Spulen fortlaufend von 1 bis 128 numeriert, so werden zuerst die ungeraden Spulen 1, 3, 5... in die Nuten eingelegt, diese bilden die innere Wicklungslage; dann folgen die Spulen mit geraden Nummern, diese bilden die äußere Wicklungslage mit je zwei Drähten pro Nut. Die einzelnen Lagen und Drähte können hierbei nach Wunsch isoliert werden.

Die Spulen werden so an den Kollektor angeschlossen, daß abwechselnd gerade und ungerade (oder äußere und innere) Spulen

aufeinander folgen (vgl. Fig. 82); die einzelnen Armaturzweige haben dann stets gleiche Länge und gleichen Widerstand.

Außer der leichteren Auswechselbarkeit und der leichteren Kontrolle der Spulen hat diese Wicklungsart den Vorteil, daß die Spulen außerhalb der Nuten des Ankers völlig frei liegen und daher sehr gut ventiliert sind.

Dieselbe Wicklung läßt sich auch an 64 Kollektorlamellen anschließen. In diesem Falle werden die Anfänge der ungeraden Spulen direkt mit den Enden der geraden Spulen verbunden, und die Anfänge der geraden und die Enden der ungeraden Spulen zum Kollektor geführt.

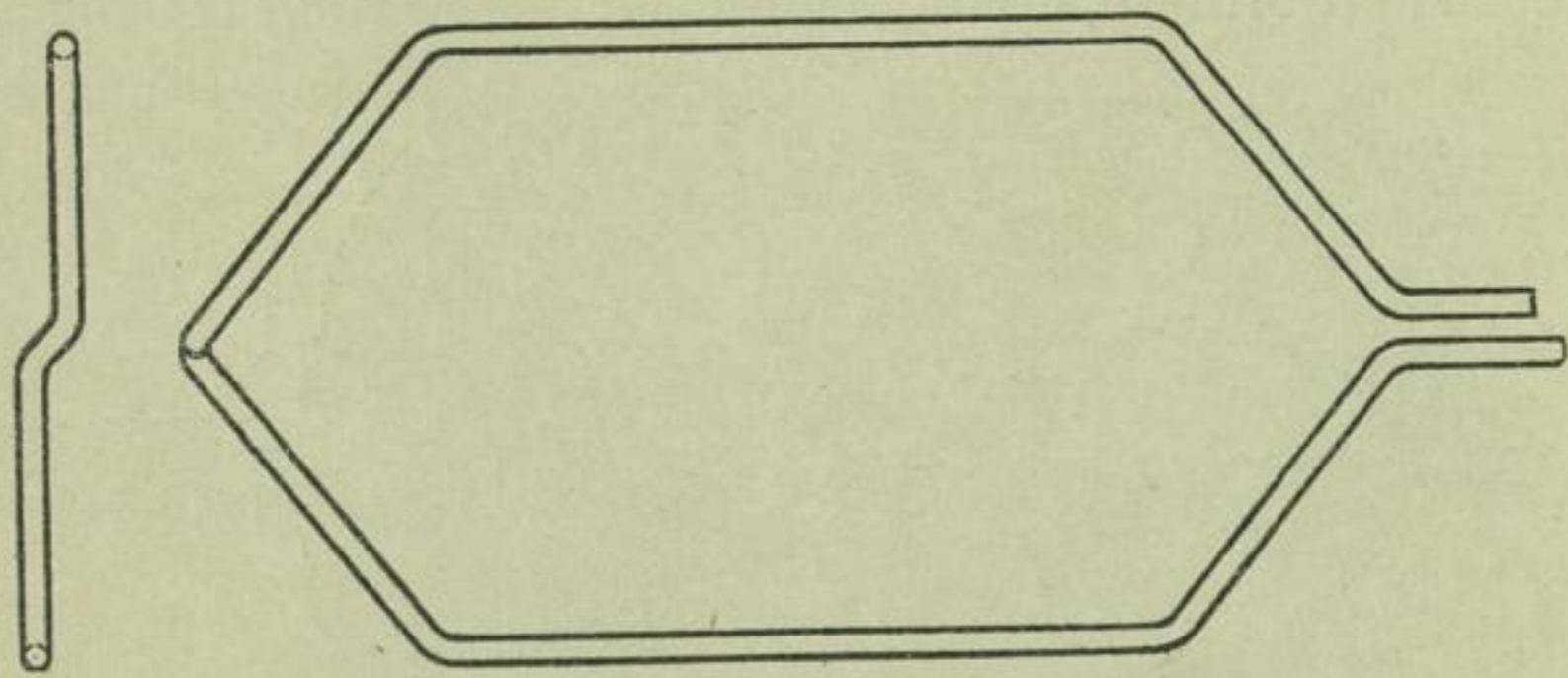


Fig. 276.

Anstatt eine Spule aus nur einer Windung herzustellen, können natürlich auf geeigneten Schablonen, wie bei der Eickemeyer-Wicklung, mehrere Windungen genommen werden.

Das Charakteristische dieser Schablonenwicklung ist, daß die Wicklung lediglich am Trommelumfang, d. h. ohne die Drähte nach der Achse zu abzukröpfen, ausgeführt wird.

**Trommelanker mit Drahtwicklung in zwei Lagen.** Eine Wicklung, welche von der Maschinenfabrik Oerlikon in früheren Jahren mehrfach für Trommelanker mit hoher Spannung ausgeführt wurde, veranschaulichen die Fig. 277 bis 280. In den Fig. 277 bis 279 ist die Konstruktion eines Ankers des sechspoligen Doppelmotors der bekannten Kraftübertragung der Spinnerei in Schaffhausen<sup>1)</sup> abgebildet. Die Ankerdimensionen entsprechen der Aufnahme einer Leistung von 250 Amper, 600 Volt, bei ca. 300 Touren pro Minute.

<sup>1)</sup> Beschrieben in der Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, Jahrg. 1893 Band XXXVII.

Fig. 277.

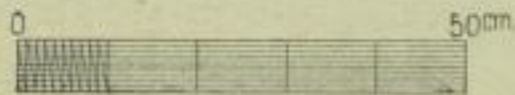
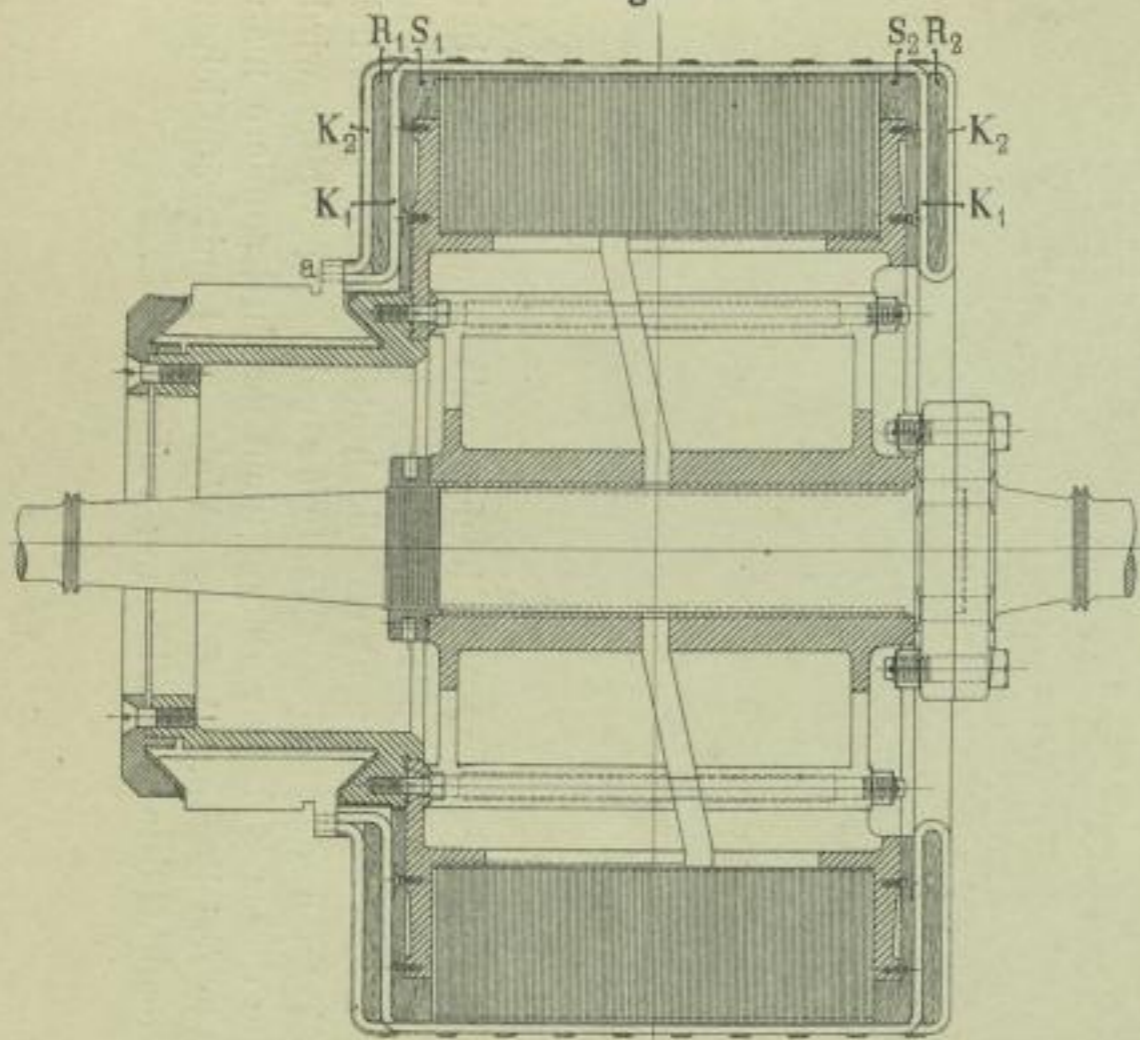


Fig. 278.

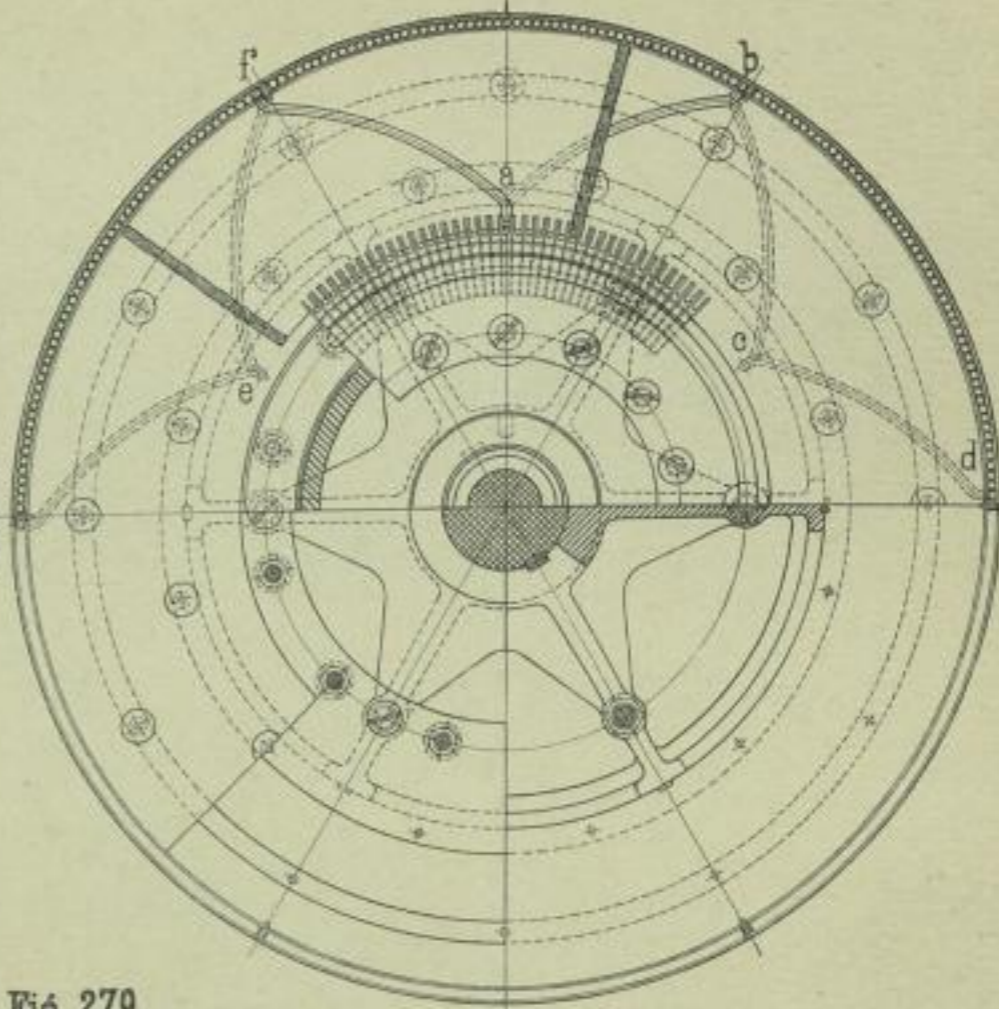
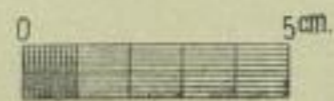
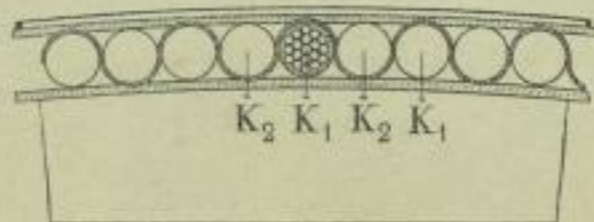


Fig. 279.



Trommelanker mit Drahtwicklung in zwei Lagen.

Die Wicklung ist als Reihenschaltung mit Kabeln, welche auf beiden Seiten der Trommel in zwei getrennten Ebenen liegen, ausgeführt. Zunächst werden die beiden Seiten der Trommel mit den Holzscheiben  $S_1$  und  $S_2$  (Fig. 277) und der Ankerumfang mit mehreren Papierlagen bedeckt, dann kann die erste Lage der

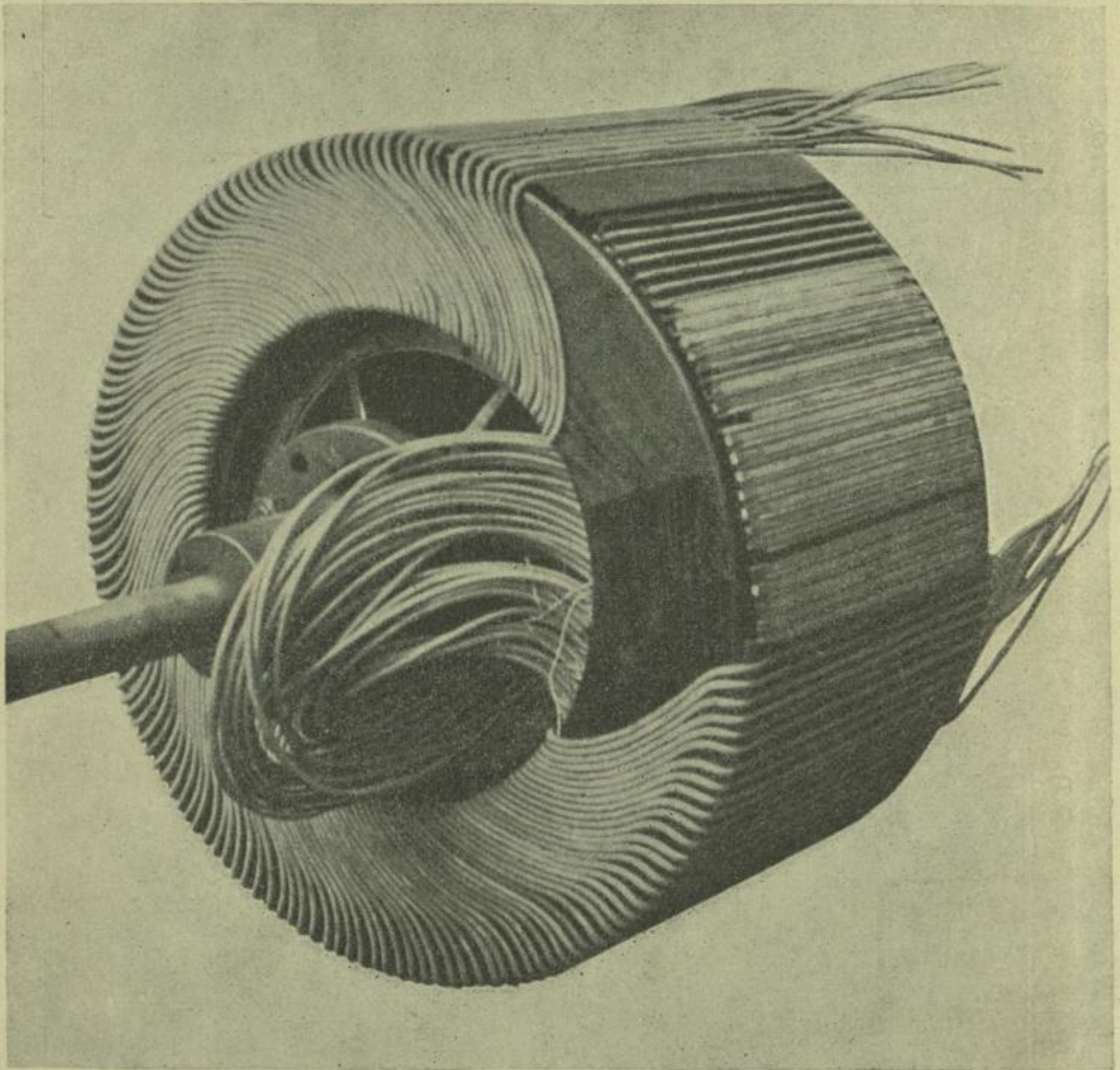


Fig. 280.

Wicklung hergestellt werden. Man beginnt mit dem Kabel  $K_1$  bei  $a$  (Fig. 278), biegt dasselbe mit Hilfe einer Holzschablone nach der Kreisevolvente  $ab$  und geht auf die hintere Seite, dort wird das Kabel  $K_1$  nach der Kreisevolvente  $bc$  gebogen; weiter wird die Wicklung dieses Kabels vorläufig nicht geführt, sondern man läßt das Ende frei liegen. Auf diese Weise wird mit sämtlichen Kabeln die erste Hälfte der Wicklung vollendet.



Am Armaturumfang ist erst die halbe Anzahl der Drähte vorhanden, und zwischen je zwei Drähten muß Platz für einen Draht der zweiten Wicklungshälfte gelassen werden, vorläufig können die Zwischenräume durch Holzstäbchen ausgefüllt werden.

Nun werden die Holzscheiben  $R_1$  und  $R_2$  aufgelegt, und die hinten freistehenden Kabelenden  $K_2$  werden der Reihe nach aufgenommen, hinten längs einer Kreisevolvente  $cd$  oder  $ef$  und vorn nach einer Kreisevolvente  $fa$ , entsprechend dem geforderten Wicklungsschritte, geführt. Auf den Seitenflächen sind nun die Kabel  $K_1$  und  $K_2$ , zwischen denen die volle Klemmenspannung als Spannungsdifferenz vorhanden ist, durch die Holzscheiben  $R_1$  und  $R_2$  getrennt. Die Spannungsdifferenz zwischen zwei benachbarten Kabeln derselben Lage ist nur gering. Am äußeren Umfange werden die Kabel  $K_1$  und  $K_2$  (Fig. 279) durch die Zwischenlage von gummiertem Tuch oder einem anderen passenden Material ebenfalls sorgfältig isoliert.

Fig. 280 stellt einen in der Ausführung begriffenen Anker dar, mit der Ansicht von der dem Kollektor entgegengesetzten Seite. Die erste Wicklungshälfte ist ganz vollendet und die zweite zum größten Teil; die Holzscheibe  $S_2$  und mehrere freistehende Kabelenden sind noch sichtbar.

Die zwei Lagen  $K_1$  und  $K_2$  können anstatt wie hier nebeneinander am Ankerumfang auch übereinander gewickelt werden.

Dieselbe Wicklungsart wird von der Westinghouse Electric Co., Pittsburg für Nutenanker angewendet.

Fig. 281 gibt das Bild des in Arbeit befindlichen Ankers eines Trambahngenerators dieser Firma. Die Armatur ist aus Blechen zusammengesetzt, welche mit halbgeschlossenen Zähnen versehen sind. In den Zahnücken, welche elliptischen Querschnitt haben, liegen übereinander je zwei aus Papier und Glimmer zusammengesetzte Röhren, welche zur Aufnahme der Kupferleiter bestimmt sind.

In Fig. 281 ist die unterste Wicklungslage soeben beendet worden. Die Drähte oder Kabel liegen in den unteren Röhren; dieselben sind auf beiden Seiten um den halben Wicklungsschritt abgebogen und werden auf beiden Seiten durch einen Holzring gehalten; die Enden stehen frei vor. Durch das Zurücklegen der längeren Enden, welche durch die oberen Röhren der Zahnücken geschoben werden, und auf jeder Seite die zweite Hälfte des Wicklungsschrittes ausführen, wird die zweite Wicklungslage beendet.

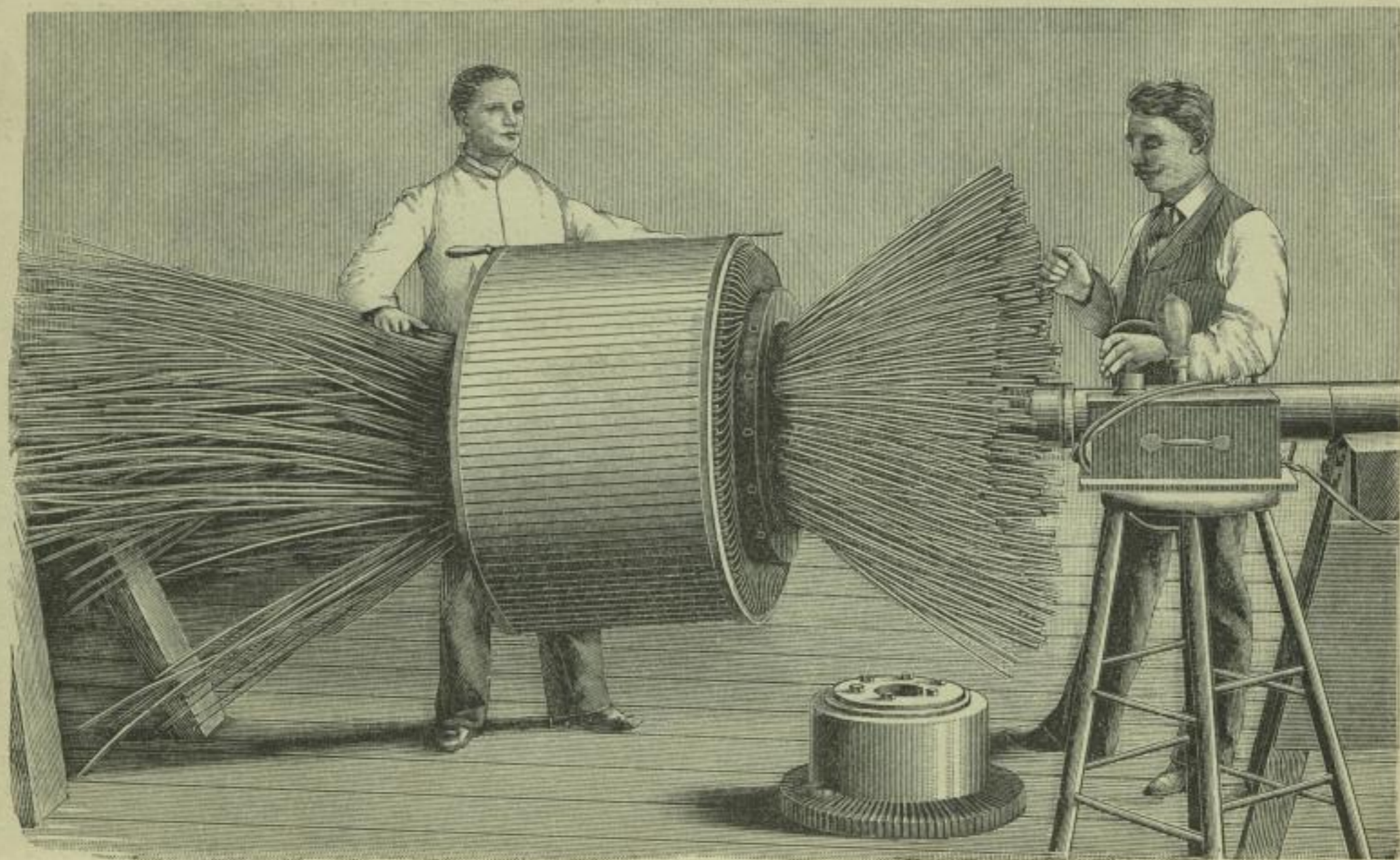


Fig. 231.

Diese Wicklungen der Maschinenfabrik Oerlikon und der Westinghouse Electric Co. ließen sich, und zwar in gewissen Fällen zweckmäßiger, ohne seitliche Abkröpfung der Drähte ausführen, so daß dieselben ebenso, wie in Fig. 275, ganz am äußeren Umfange der Trommel liegen.

### Trommelanker mit Stabwicklung.

Die Drahtwicklungen sind nur so lange bequem auszuführen, als der Drahtquerschnitt gewisse Grenzen nicht überschreitet; diese Grenze hängt zum Teil auch von der Größe der Armatur ab. In den

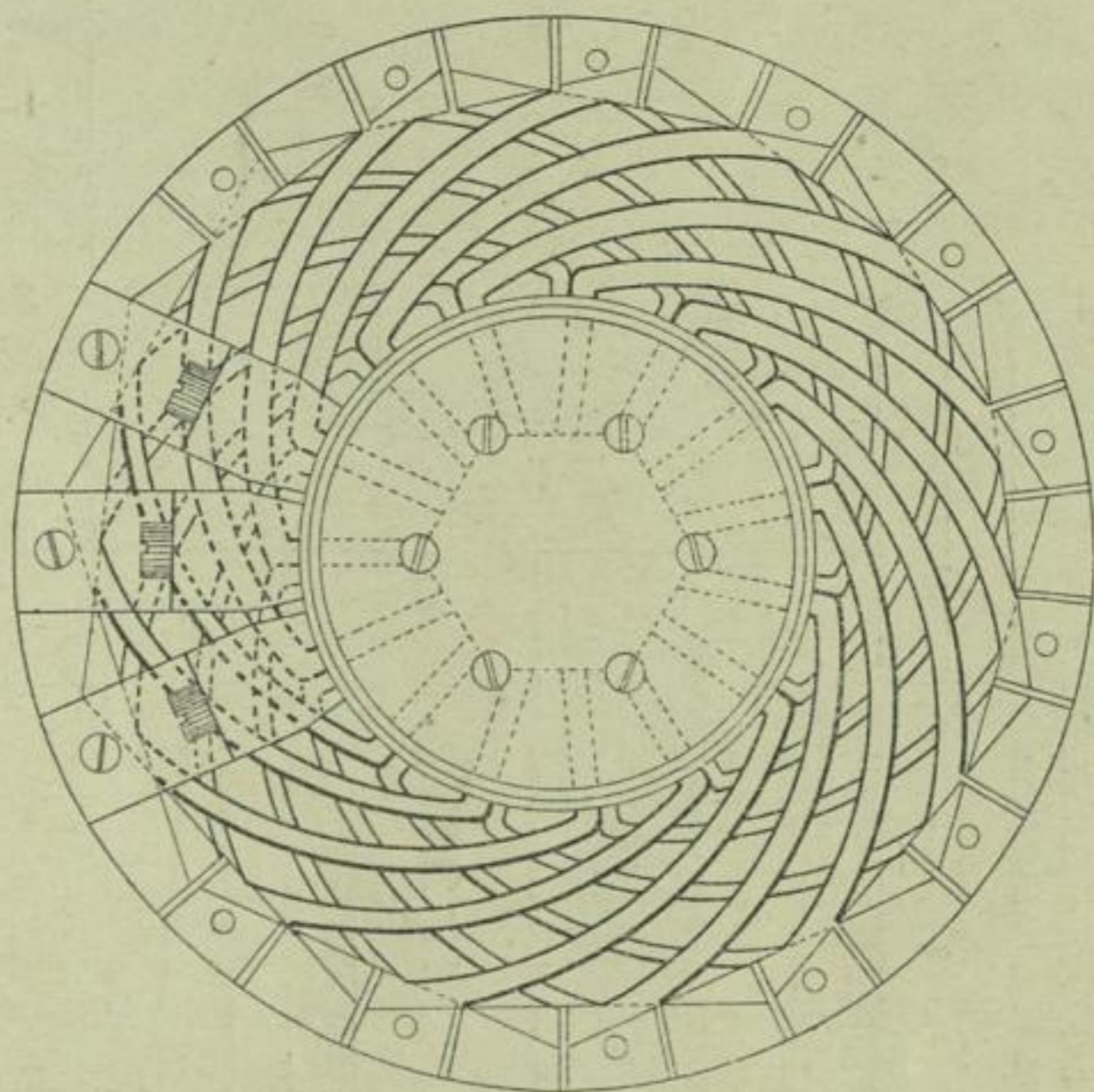


Fig. 282.

letzten Jahren haben sich die Stabwicklungen allgemein eingebürgert; dieselben ermöglichen nicht allein eine bequeme Herstellung der Wicklung für große Querschnitte, sondern zugleich eine Anordnung der Stäbe in getrennte Wicklungsebenen, daher eine vorzügliche Isolation und ein leichteres Auswechseln schadhaft gewordener Teile.

Die erste Wicklung dieser Art hat die Firma Siemens & Halske<sup>1)</sup> für Anker, die zur Lieferung sehr starker Ströme von niedriger Spannung bestimmt waren, ausgeführt. Die Stirnansicht eines solchen Ankers ist in Fig. 282 abgebildet.

<sup>1)</sup> Vergl. Elektrotechn. Zeitschrift 1881, Bd. II. S. 55.

Fig. 284.

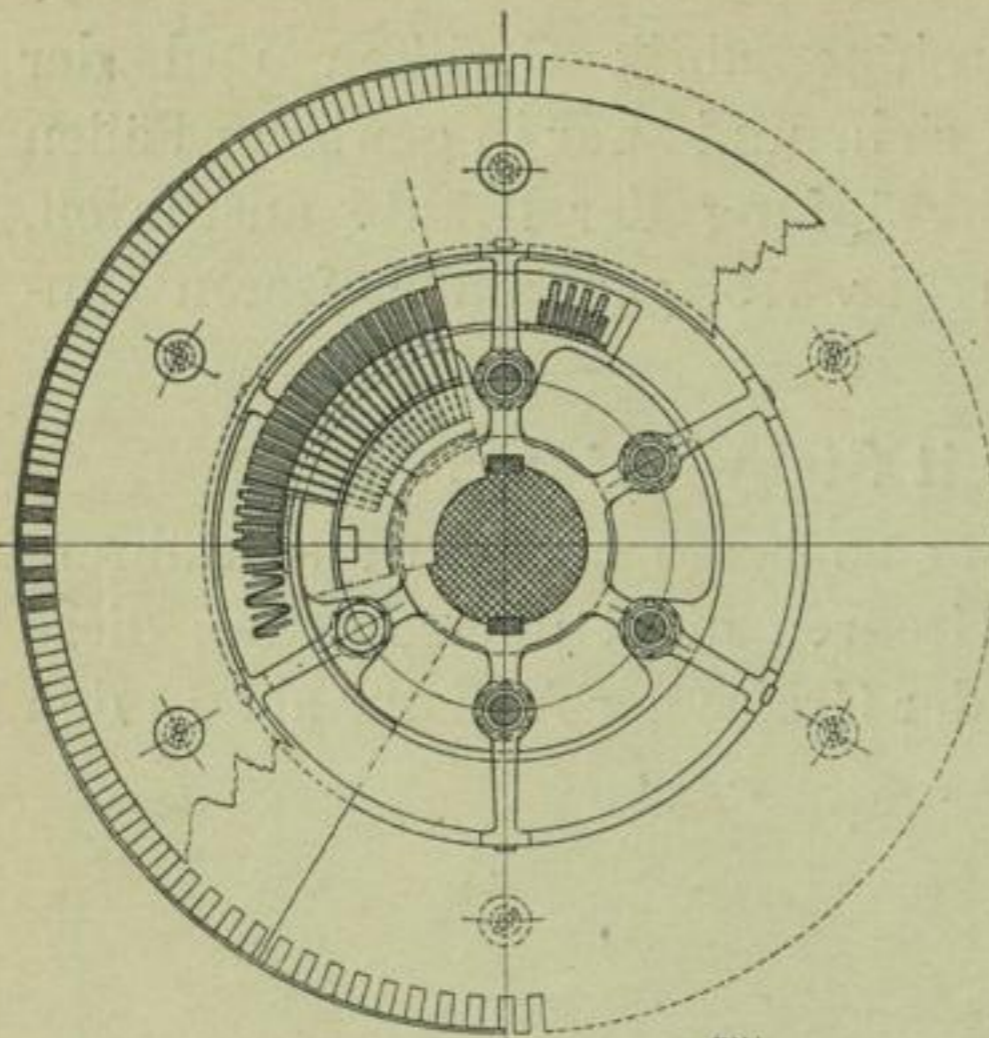


Fig. 285.

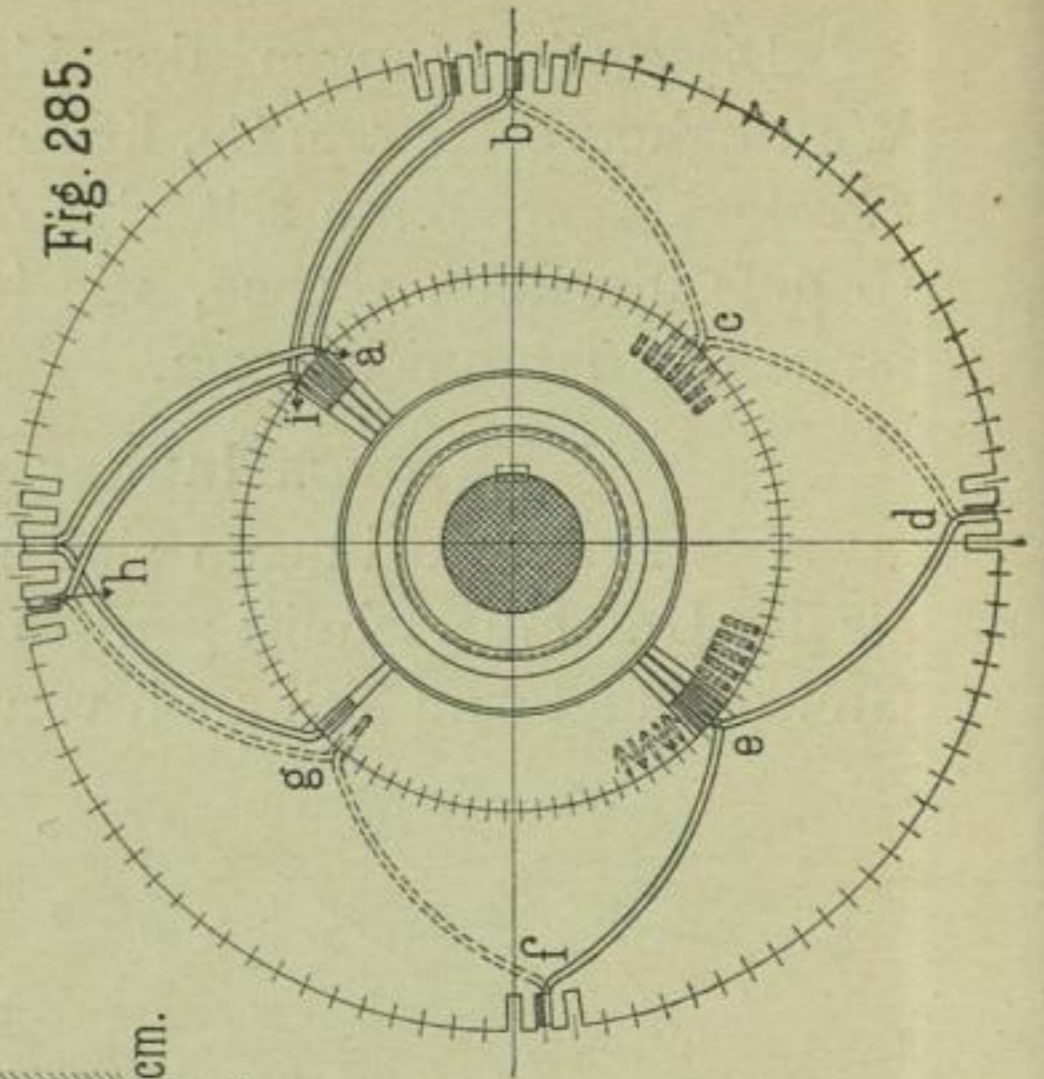


Fig. 283.

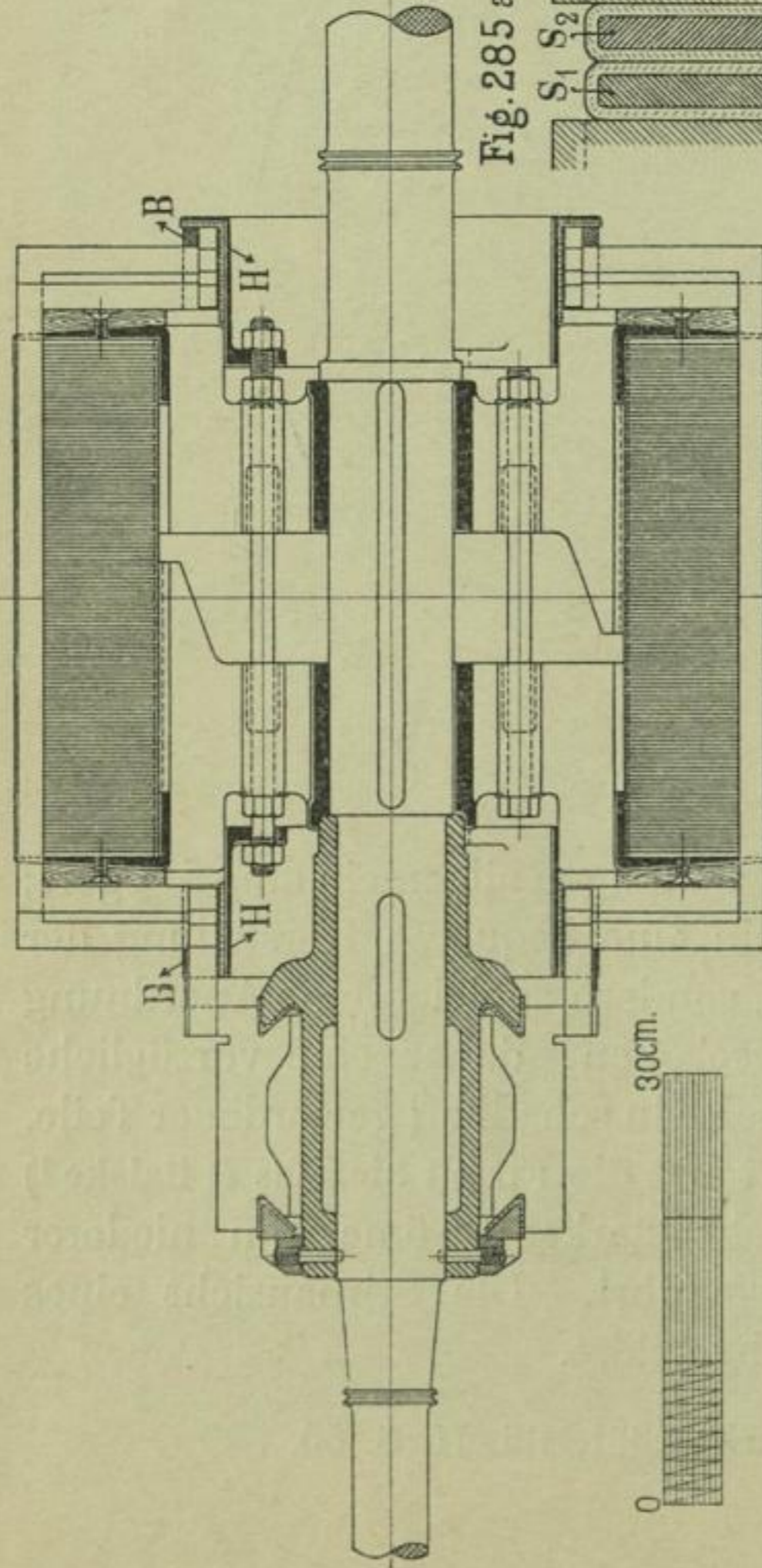


Fig. 285 a.

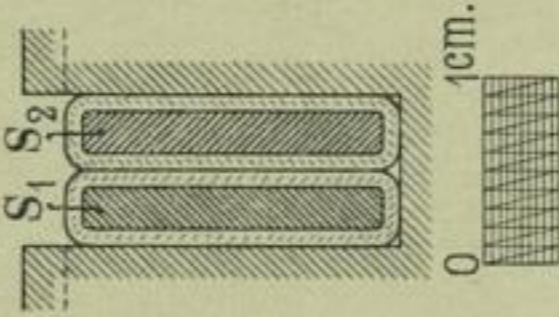


Fig. 283 a.

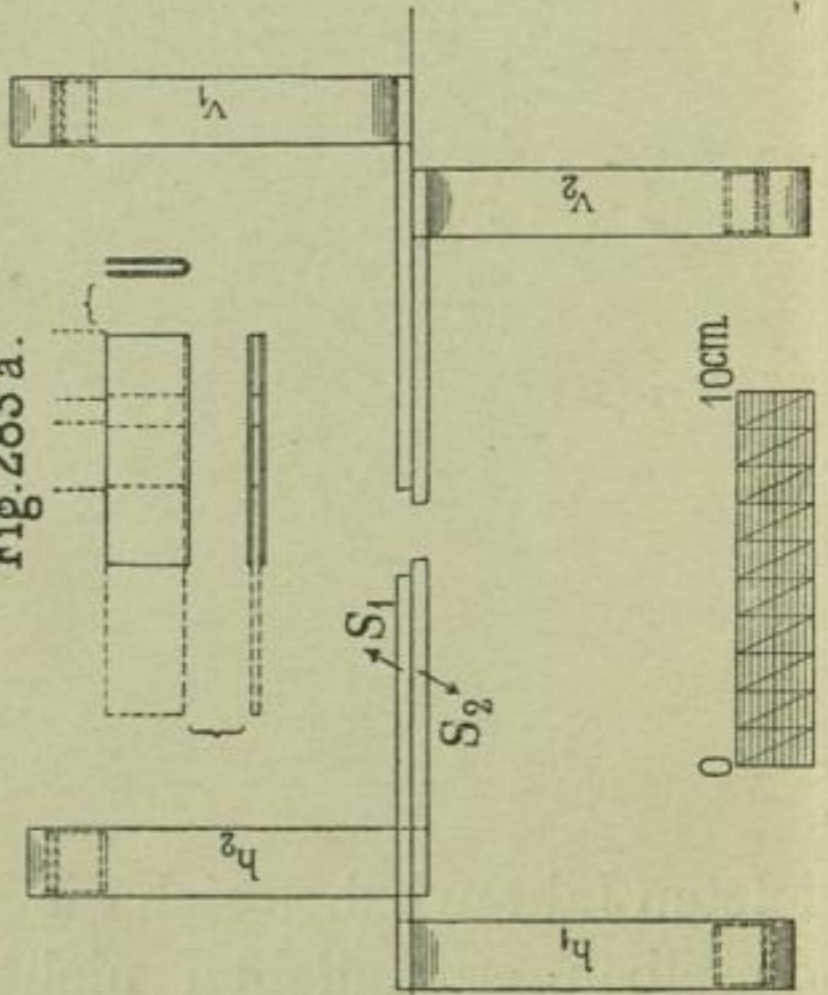
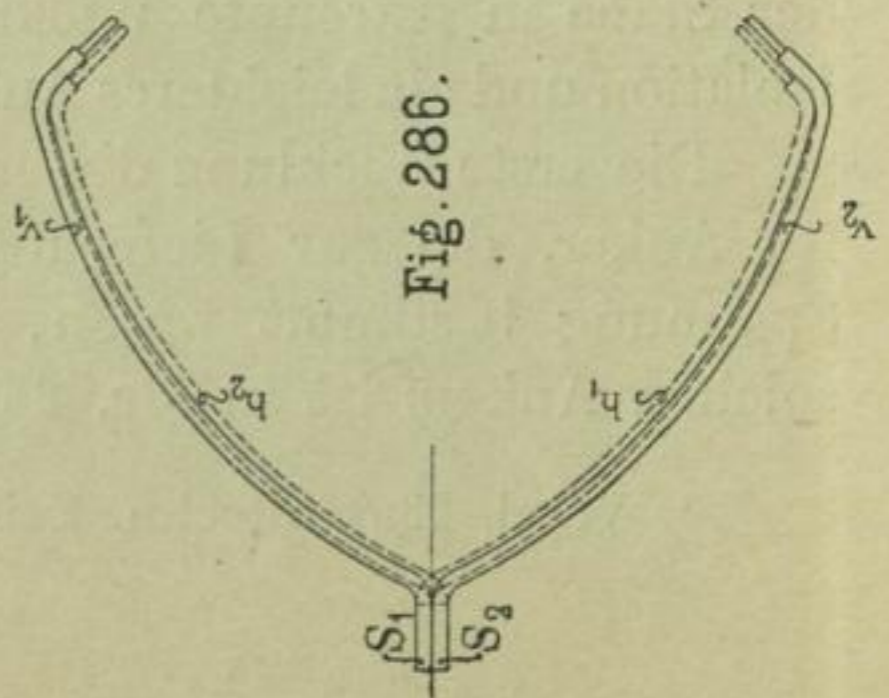


Fig. 286.



Die Wicklung besteht aus Kupferstäben von großem Querschnitte; dieselben sind nach Schema Fig. 74 mit dem Kollektor durch gebogene Kupferstreifen verbunden und zwar so, daß dieselben in zwei zu einander parallelen Ebenen untergebracht sind, und zwischen den Stäben die Luft frei zirkulieren kann.

**Trommelanker mit Stabwicklung der Maschinenfabrik Oerlikon.** Die normalen Maschinen für 110 Volt Klemmenspannung der Maschinenfabrik Oerlikon haben von 30 Kilowatt Leistung an durchweg Stabwicklung. Der Anker einer solchen Maschine mit 4 Polen von 55 Kilowatt Leistung bei 600 Touren ist in den Fig. 283 bis 286 abgebildet. Der Ankerstern ist bei dieser Maschine aus Bronzegufs hergestellt, um denselben auch für Ringwicklung benutzen zu können. (Vergl. Fig. 233.) Der Ankerkörper besitzt

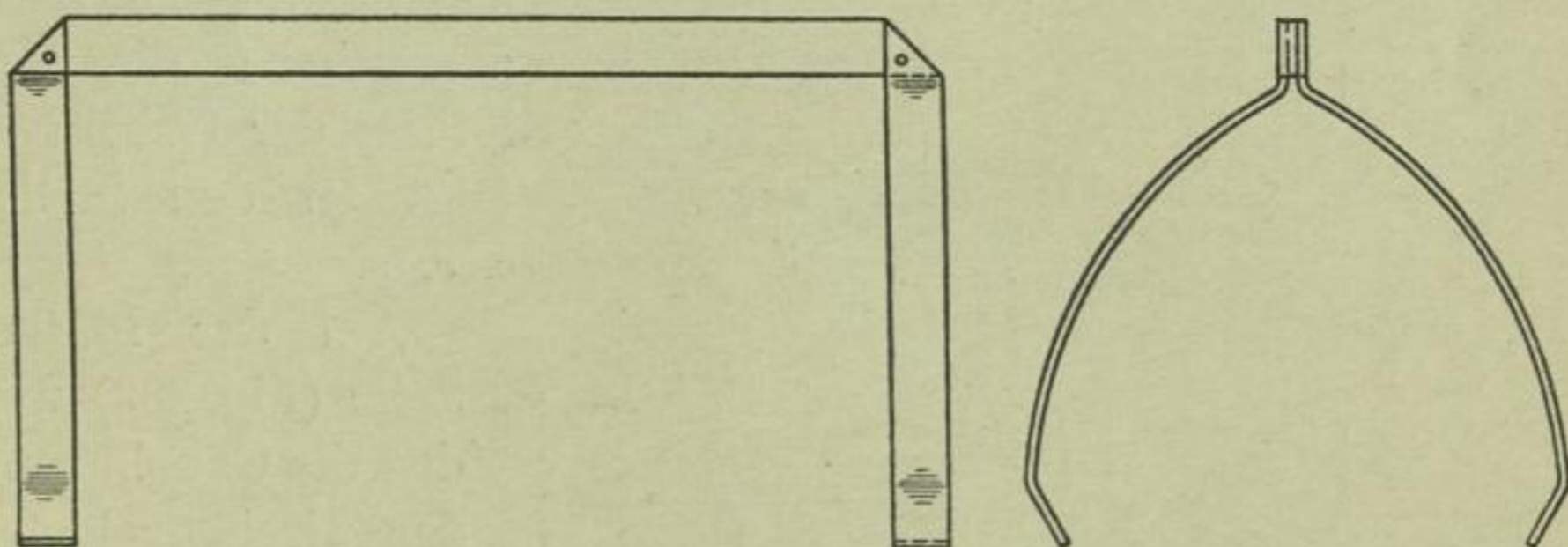


Fig. 286 a.

100 Nuten, und in jeder Nut liegen zwei flache Stäbe (Fig. 285 a) nebeneinander. Die Stäbe sind nach der Reihen-Parallelschaltung des Verfassers (Schema Fig. 94) miteinander verbunden. Der Wicklungsschritt ist

$$y_1 + y_2 = \frac{200 - 4}{2} = 98$$

$$y_1 = 49, \quad y_2 = 49.$$

Der Stab 1 ist somit mit dem Stab 50 und Stab 50 mit Stab 99 u. s. f. zu verbinden.

In Fig. 286 sind zwei zu einer Nut gehörige Stäbe in Grundrifs und Vorderansicht dargestellt. Wir haben einen langen Stab  $S_1$ , dessen Gabeln  $v_1$  und  $h_1$  vorn ( $v_1$ ) um den halben Wicklungsschritt nach rechts und hinten ( $h_1$ ) um den halben Wicklungsschritt nach links abgebogen sind; die Gabeln  $v_2$  und  $h_2$  des kürzern Stabes  $S_2$  gehen nach entgegengesetzter Richtung.

Zuerst werden alle kurzen Stäbe und dann alle langen Stäbe mit ihren Gabeln in die Nuten eingelegt, und dann die Enden

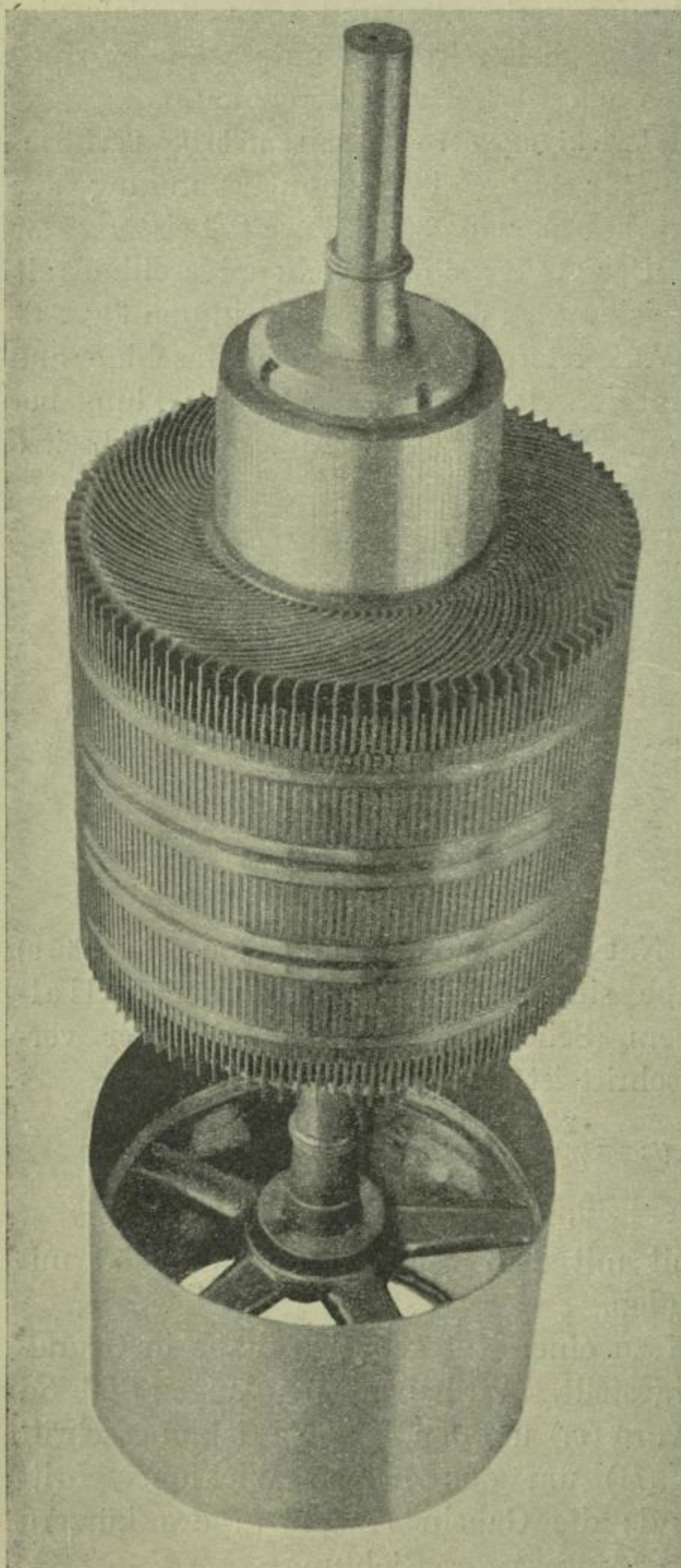


Fig. 287.

der Gabeln durch gebogene Kupferbleche (Fig. 283 a), die verlötet werden, mit einander auf der hintern und vordern Seite des Ankers verbunden. In Fig. 285 ist die entstehende Verbindung der Stäbe für einen Umgang  $a - b - c - d - e - f - g - h - i$  angegeben; die Verlötung der Gabeln erfolgt an den Stellen  $c, e, g$ .

Auf der hintern Seite (Fig. 283) werden die Gabeln samt der zwischengelegten Isolation durch eine Metallhülse  $H$  und ein Schnurband  $B$  gehalten und auf der vordern Seite ebenfalls von einander isoliert und mit den Kollektorlamellen verbunden.

Die doppelt gekröpften Armaturstäbe (Fig. 286) können zweckmäßig aus einem geraden Kupferstabe in die gegebene Form gefaltet und gebogen werden, wie Fig. 286 a veranschaulicht.

Das Bild des fertigen Stabankers gibt Fig. 287.

Die Armaturen der großen Dynamomaschinen des Aluminiumwerkes in Neuhausen sind nach einer ähnlichen Bauart ausgeführt. Diese Maschinen mit 24 Polen und 7500 Amper, 55 Volt Leistung

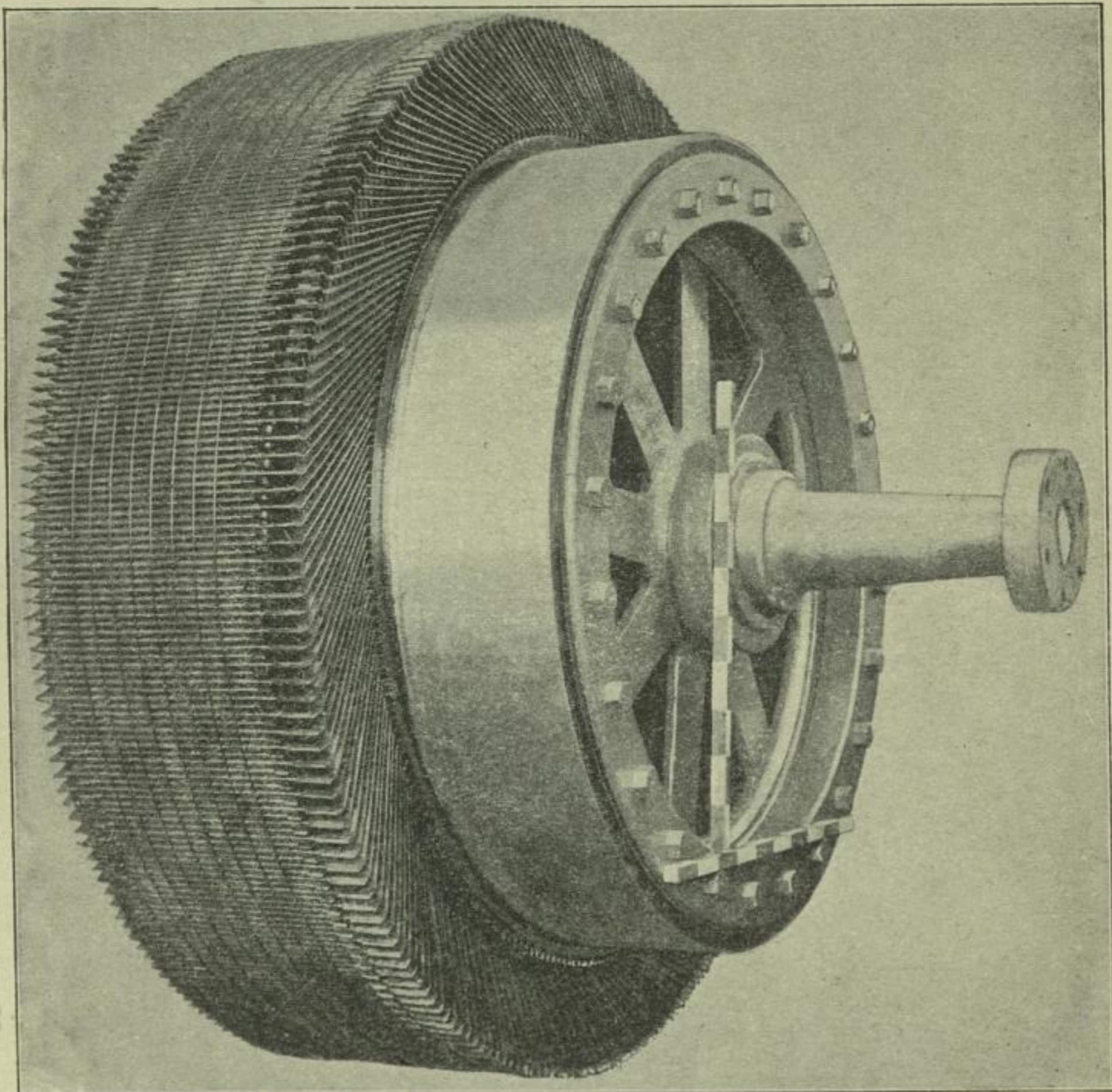


Fig. 288.

bei 150 Touren pro Minute haben einen Ankerdurchmesser von 2,4 m. Die Ansicht eines solchen Ankers stellt Fig. 288 dar.

Trommelanker mit Stabwicklung der E. A. vormals Schuckert & Co. Die Konstruktion eines vierpoligen Stabankers dieser Firma ist in den Fig. 291 bis 292 zusammengestellt. Derselbe entspricht einer Leistung von ca. 60 Kilowatt bei 110 Volt und 600 Touren pro Minute. Der Ankerkern ist mit seitlichen Bronzeplatten versehen

Fig. 289.

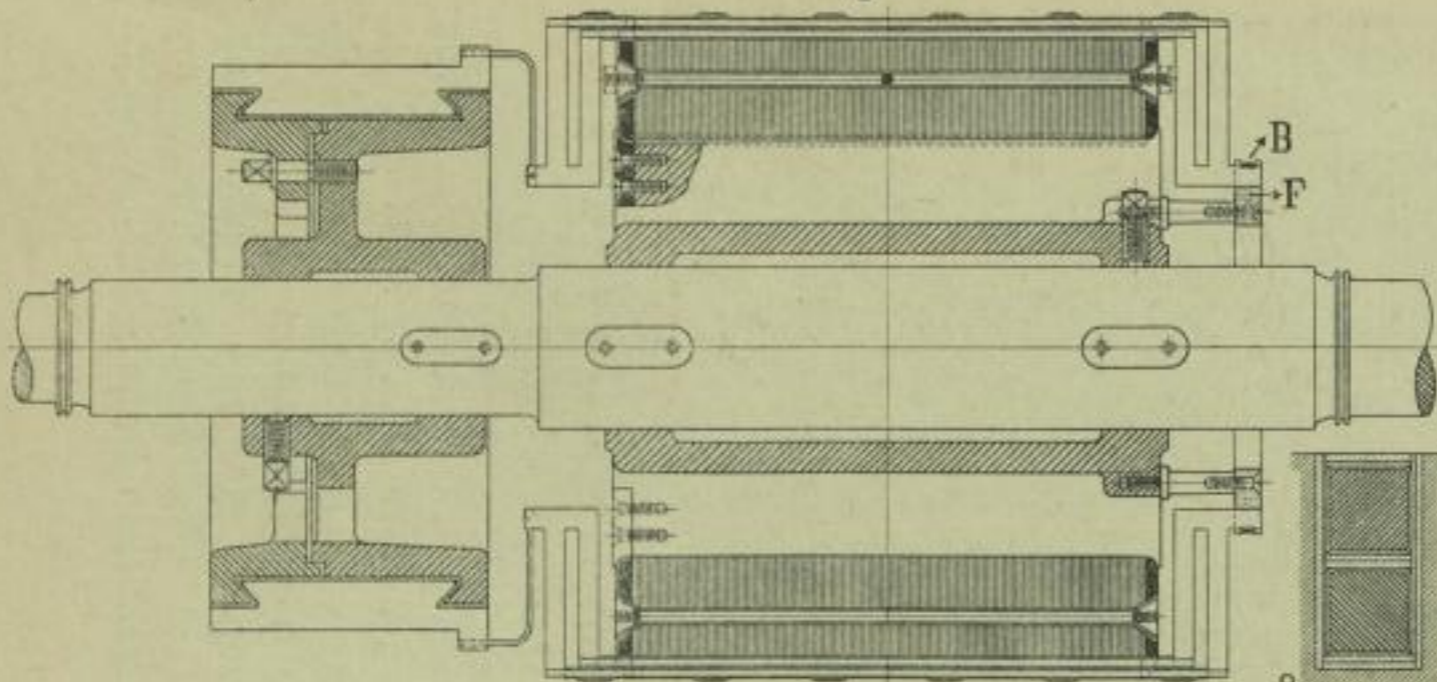


Fig. 290.

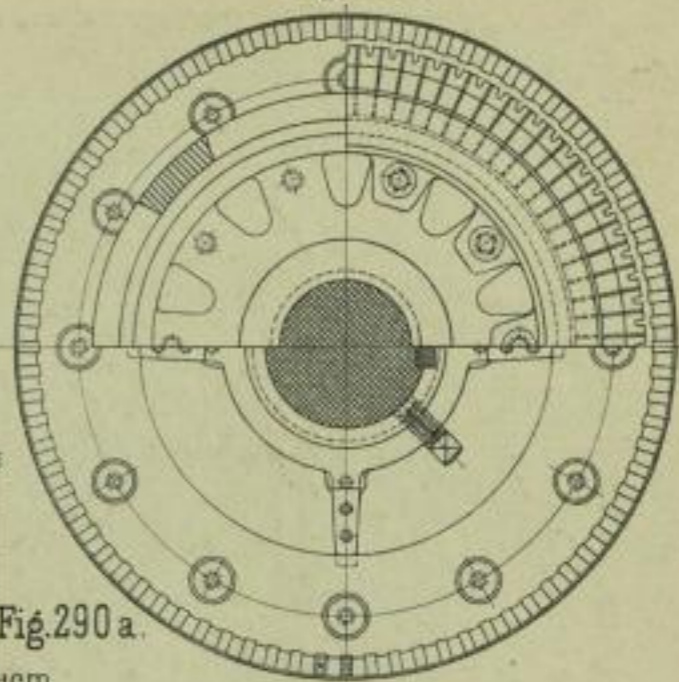


Fig. 290 a.

1cm.

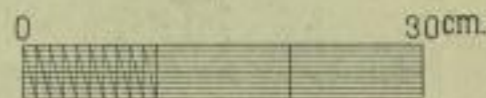


Fig. 292 a.

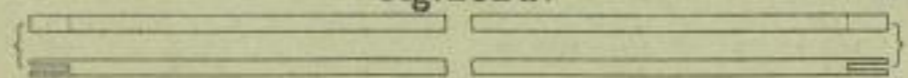


Fig. 292 c.

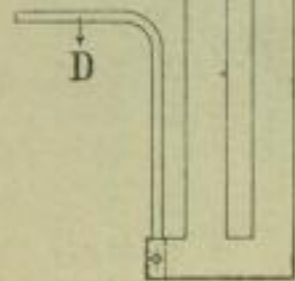


Fig. 292 b.

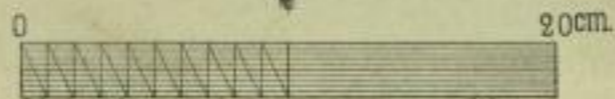
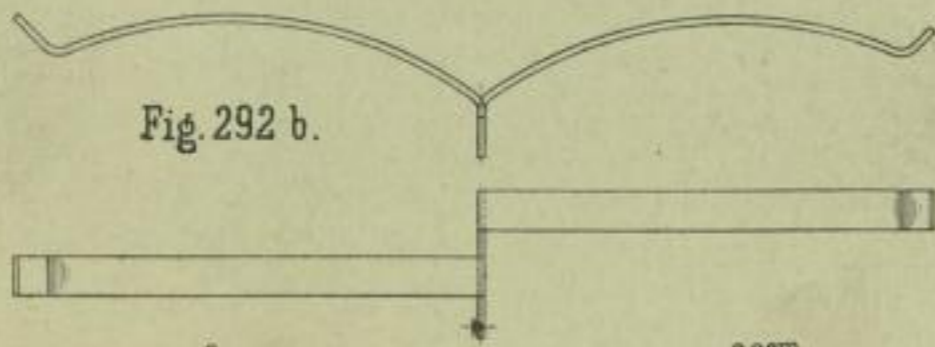
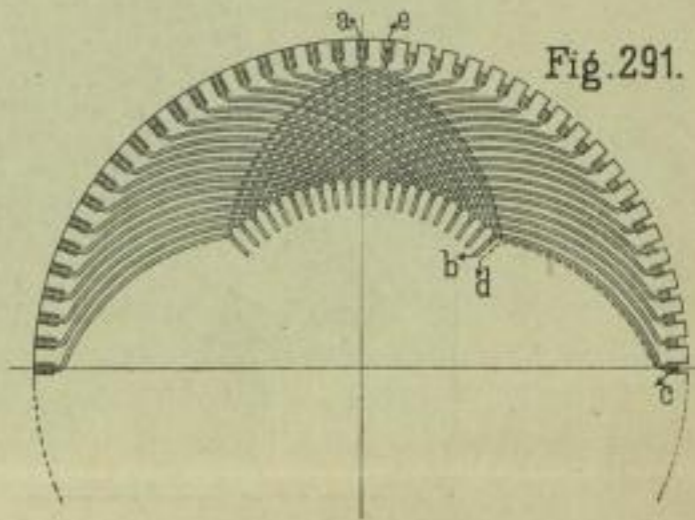


Fig. 291.





und mit isolierten Siliciumbronzestiften zusammengeschaubt. In 80 Nuten desselben liegen 160 quadratische Stäbe, je zwei über-

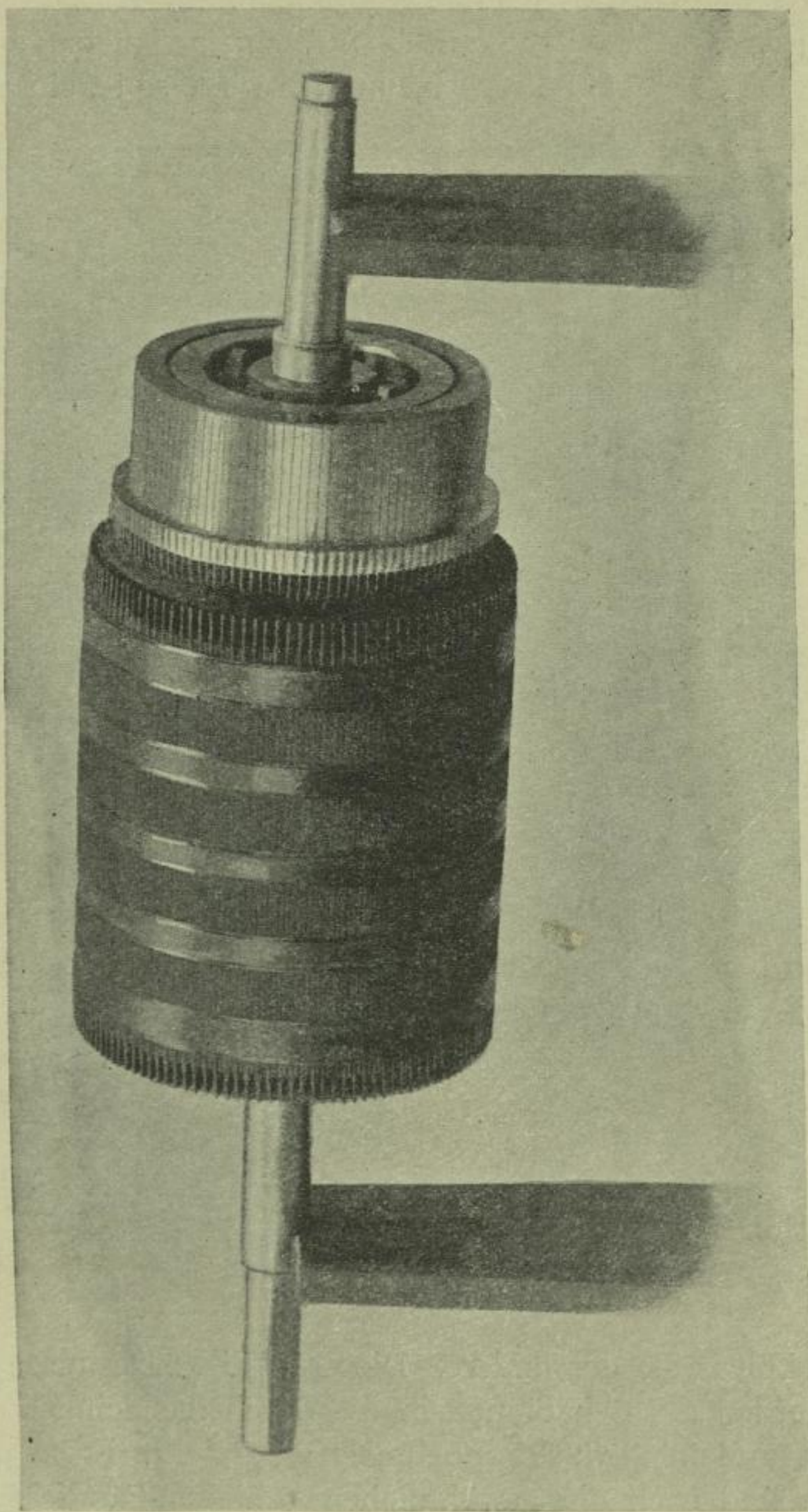


Fig. 293.

einander, und zwar liegt unten in der Nut ein kurzer und oben ein langer, zu beiden Seiten vorstehender Stab. Die Stäbe sind

an beiden Enden (Fig. 292 a) eingefräst und werden durch besondere Verbindungsgabeln (Fig. 292 b und 292 c), welche aus Kupferblech ausgestanzt werden, miteinander verbunden.

Da jeweilen ein kurzer Stab mit einem langen, oder ein innerer Stab mit einem äußern verbunden wird, so ist ein Schenkel

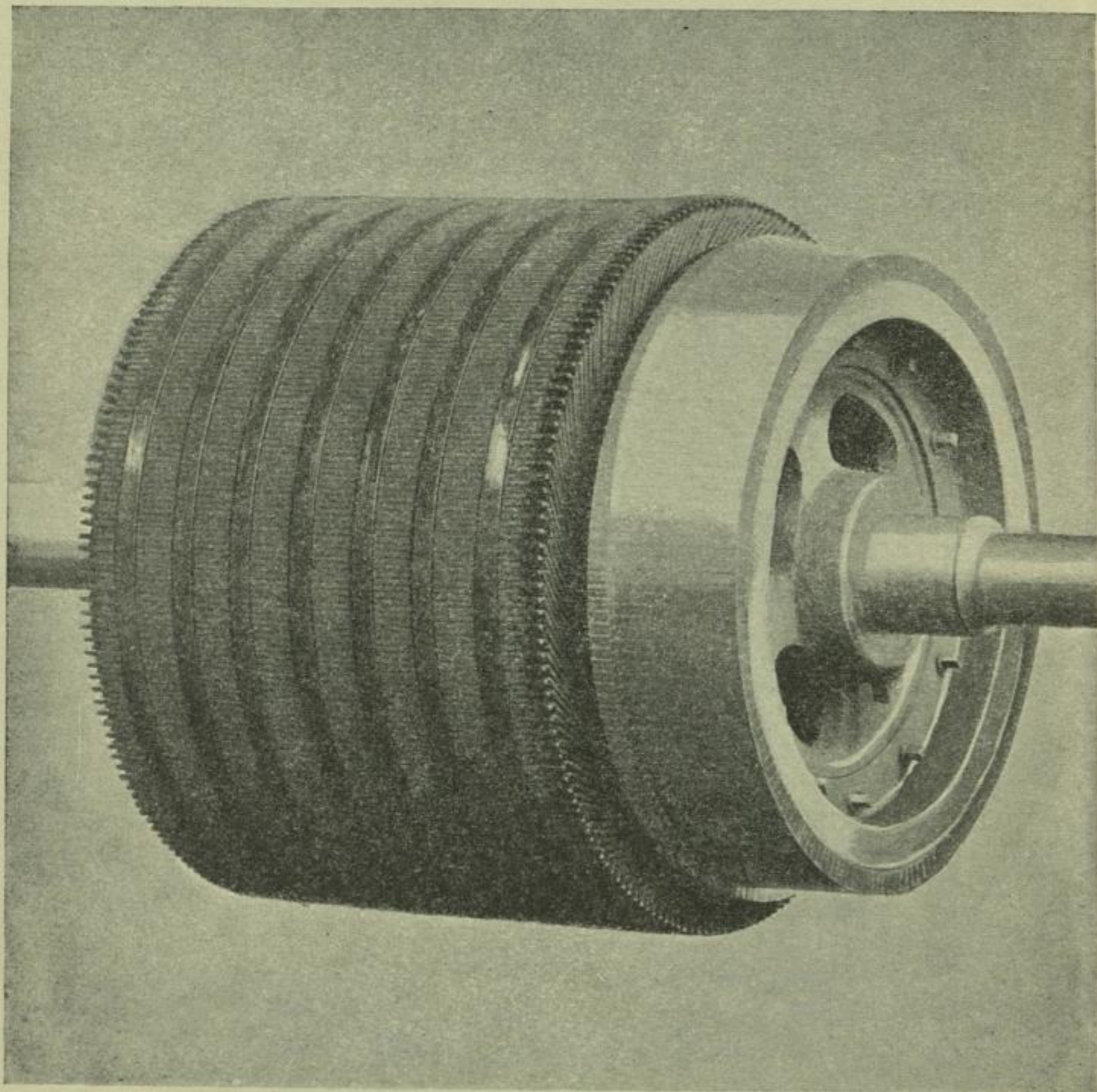


Fig. 294.

der Gabel kürzer als der andere. Die nach Fig. 292c ausgestanzten Gabeln werden auf Schablonen in die durch das Schema Fig. 291 bestimmte und in Fig. 292b nochmals dargestellte Form geprefst. Die Stäbe sind nach der gewöhnlichen Schleifen-Parallelschaltung mit einander verbunden, so z. B. der äußere Stab *a* (Fig. 291) durch die Gabel *abc* mit dem innern Stabe *c*, und auf der Rück-

seite der Stab  $c$  durch die punktiert angedeutete Gabel  $c d e$  mit dem äußern Stabe  $e$  u. s. f.

Auf der hintern Seite werden die Gabeln durch einen gezahnten Fiberring  $F$  (Fig. 289) und ein Drahtband  $B$  gehalten, vorn sind dieselben durch kurze Verbindungsdrähte aus schlechtleitendem Metalle mit den Kollektorlamellen verbunden.

Bei dieser Wicklung sind auch die Stäbe am äußern Umfange der Trommel in zwei Ebenen angeordnet. Da zwischen den kurzen und langen Stäben die volle Klemmenspannung als Spannungsdifferenz auftritt, so gewährt diese Wicklungsart den Vorzug, daß die Stäbe einer Nut (Fig. 290 a) durch Zwischenlage eines Fiberstreifens, Glimmerstreifens u. s. f. gut von einander isoliert werden können, ohne daß die Nutenbreite, wie bei nebeneinander liegenden Stäben, dadurch beeinflusst wird.

Die photographische Aufnahme eines solchen Ankers ist in Fig. 293 wiedergegeben, ebenso in Fig. 294 das Bild eines größeren Ankers, Modell A F 110. In letzterem Falle liegen die Armaturstäbe nicht in Nuten, sondern als kurze und lange Stäbe auf dem glatten Kerne abwechselnd nebeneinander.

**Trommelanker mit Stabwicklung der Elektrizitätsgesellschaft Alioth, Basel.** Die Generatoren der elektrischen Trambahn in Basel sind von obiger Firma mit Armaturen nach Fig. 295 bis 298 ausgeführt worden. Die Maschinen sind sechspolig gebaut und leisten bei 500 Touren pro Minute 140 Amper 530 Volt. Der Anker besitzt 200 Nuten und pro Nute zwei nebeneinander liegende Stäbe. Die Stäbe sind in Reihenschaltung verbunden, der Schritt ist

$$y_1 + y_2 = \frac{400 + 2}{3} = 134$$

$$y_1 = 67, \quad y_2 = 67 \text{ Stäbe}$$

oder

$$y_1 = y_2 = \frac{67 + 1}{2} = 34 \text{ Nuten,}$$

d. h. vorn und hinten ist ein kurzer Stab der Nut  $x$  mit einem langen Stabe der Nut  $x + 34$  zu verbinden. Die Stäbe sind an beiden Enden auf eigentümliche, in Fig. 298 gezeichnete Art gebogen und mit den Verbindungsgabeln verlötet, die Abbiegung der Stäbe zur Aufnahme dieser Gabeln ist so ausgeführt, daß die Gabeln auf der hintern Seite eingeschoben werden können. Die Isolation der Nuten und der Stäbe ist in Fig. 297 in vergrößertem Maßstabe dargestellt.

Fig. 295.

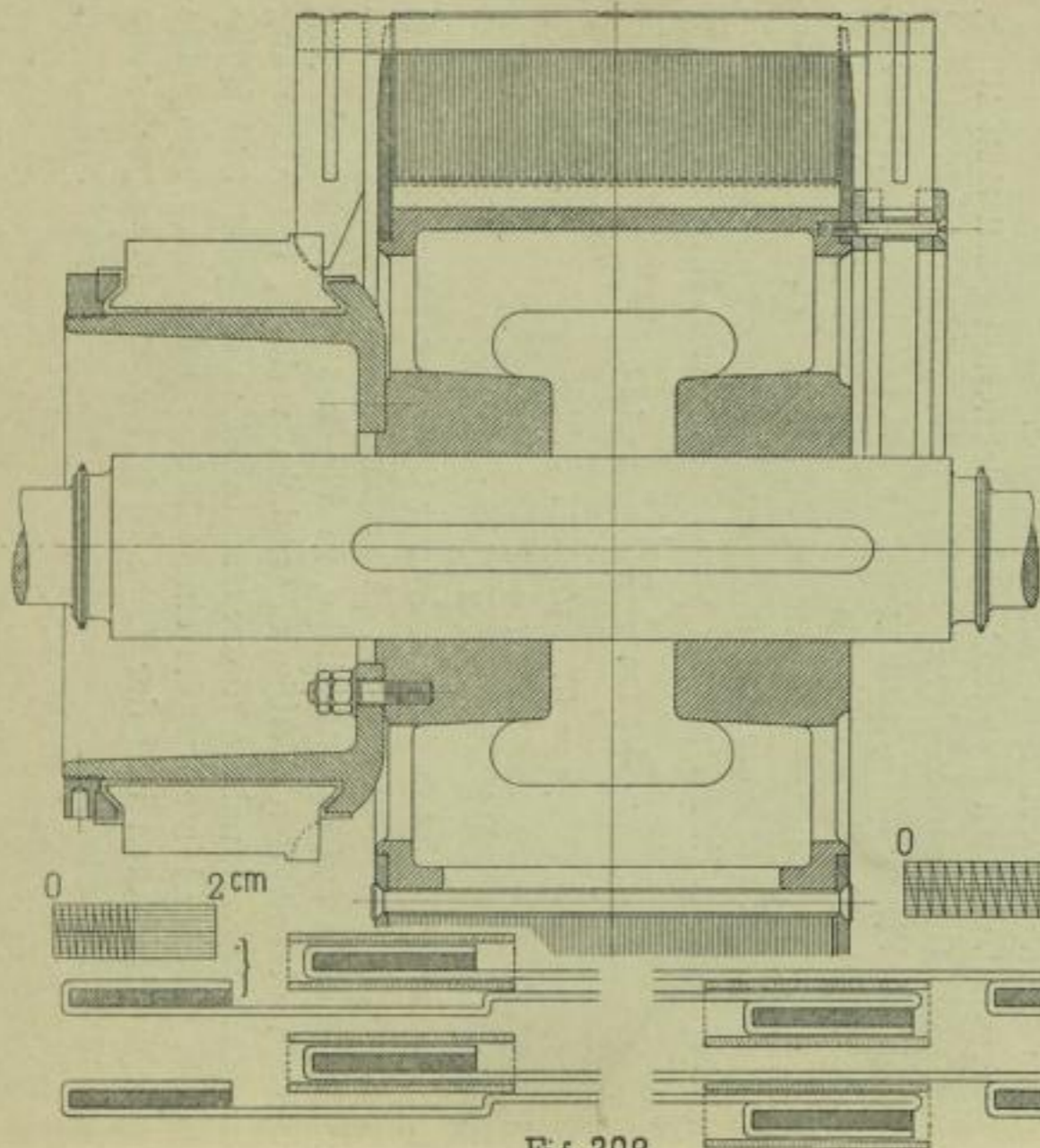


Fig. 298.

Fig. 296.

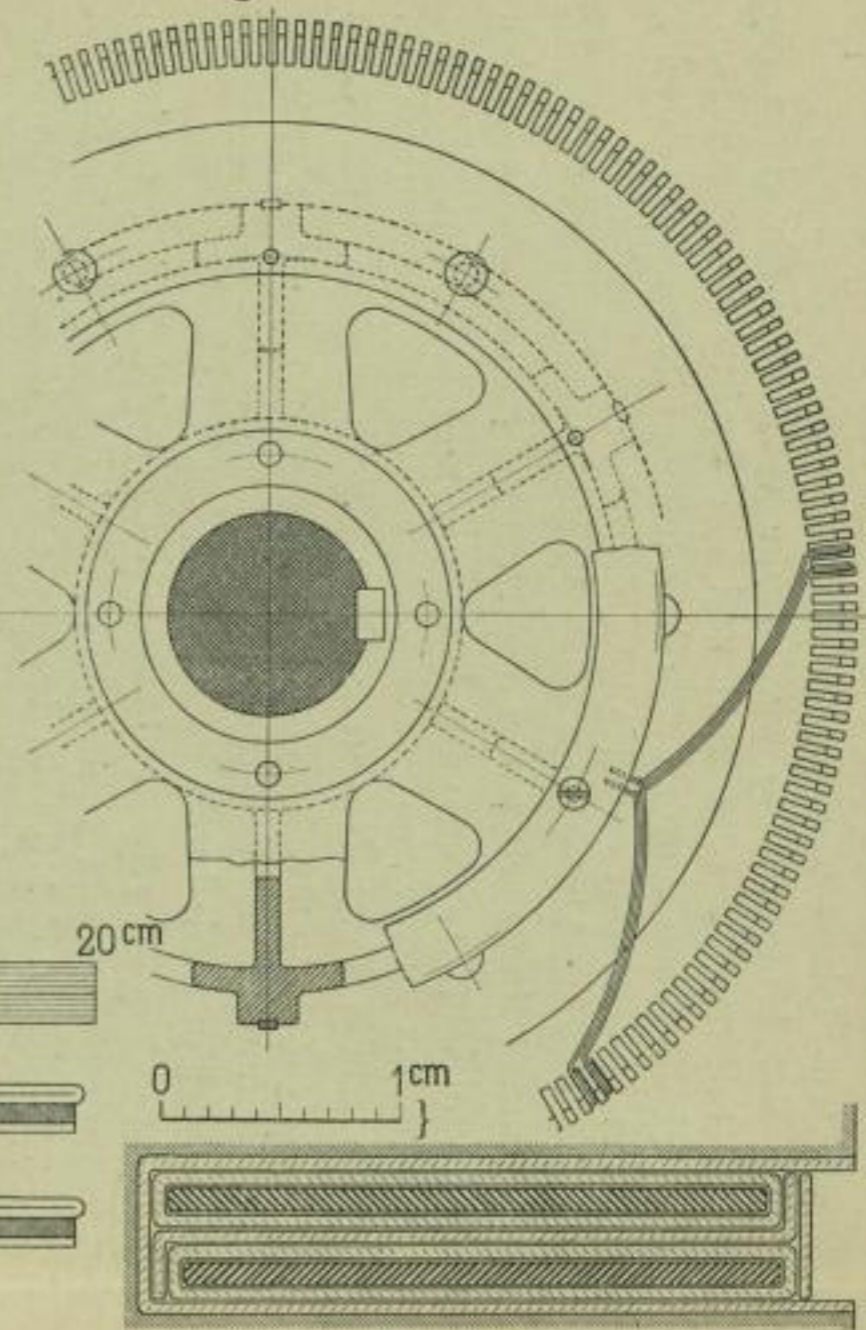


Fig. 297.

Fig. 299.

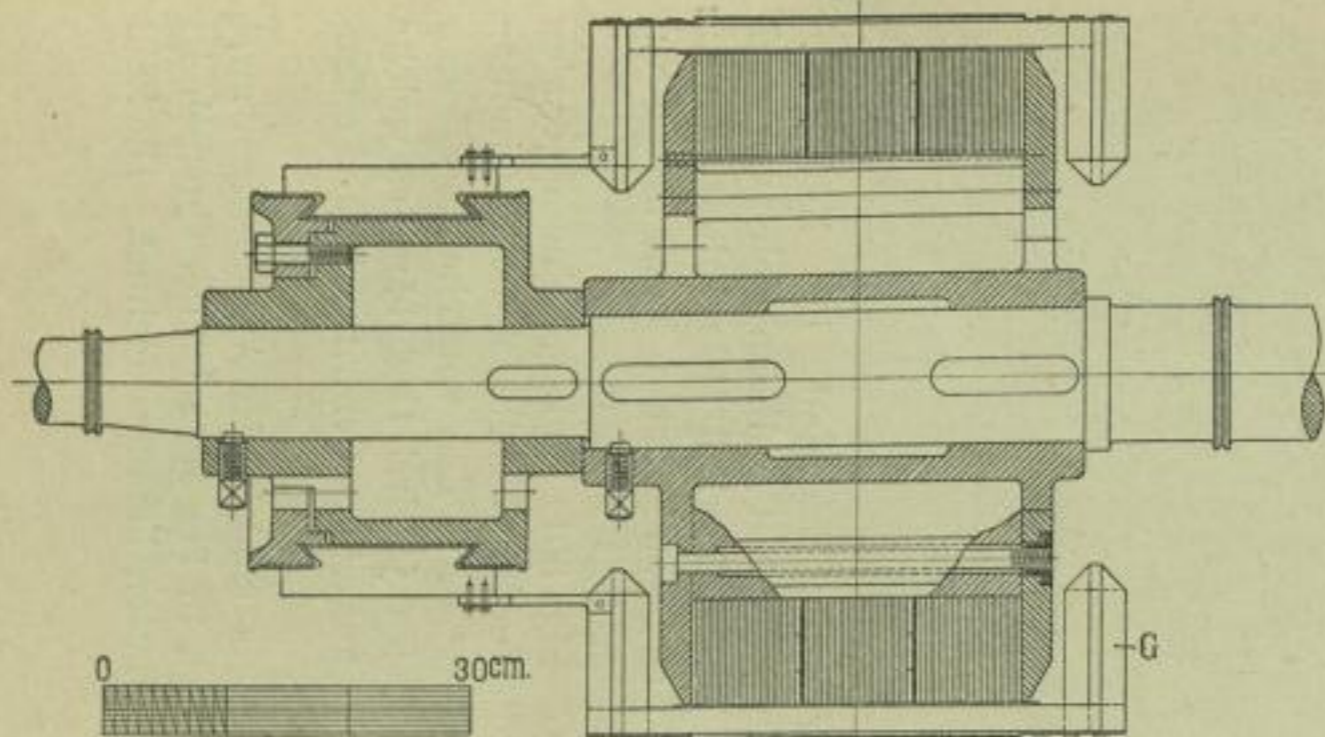
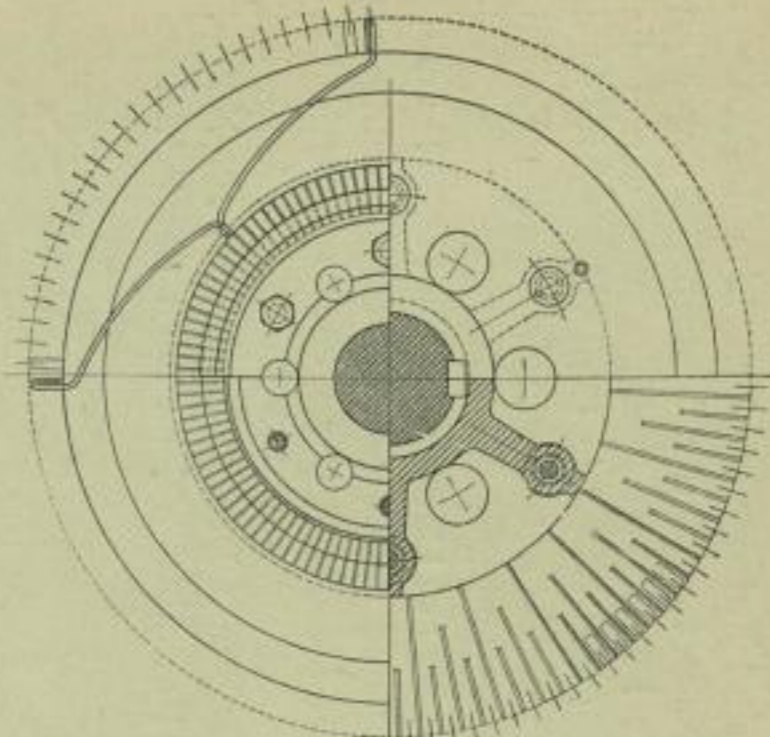


Fig. 300.



Trommelanker mit Stabwicklung.

Fig. 300 a.

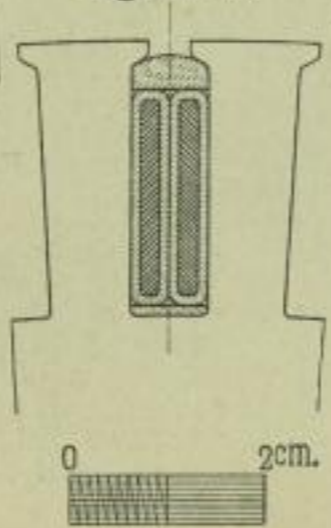


Fig. 300 b.

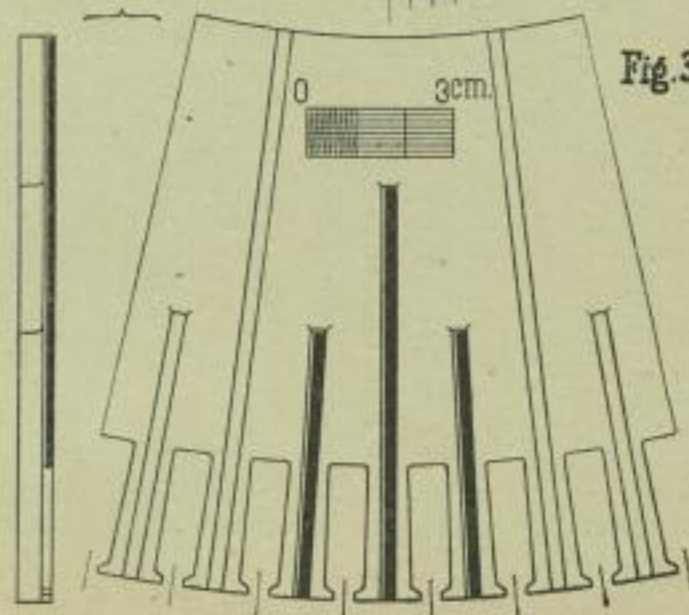
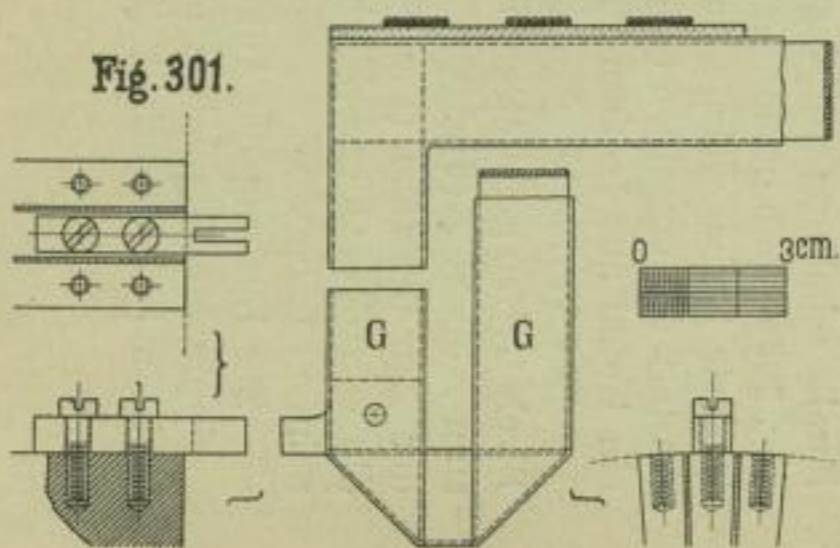


Fig. 301.



Die Verbindungsgabeln sind auf der vordern Seite des Ankers direkt in den Kollektor eingelötet, auf der hintern Seite werden dieselben durch 4 Ringe aus Fiber oder Stabilit, von denen die beiden innern gezahnt sind, gehalten. Die Centrifugalkraft wird von je zwei Drahtbändern, welche auf die freistehenden Enden der Stäbe gewickelt sind, aufgenommen.

**Trommelanker mit Stabwicklung und Lüftung.** In den Fig. 299 bis 301 habe ich einen Anker mit Lüftung entworfen, dessen Wicklungsart mit derjenigen einer 4 poligen Maschine der General Electric Co. Schenekdady (Union E. G., Berlin) von 125 Volt 400 Amp. bei 600 Touren pro Min. übereinstimmt. Der Anker besitzt 105 Nuten, 105 Kollektorlamellen und 210 Stäbe, welche nach der Schleifen-

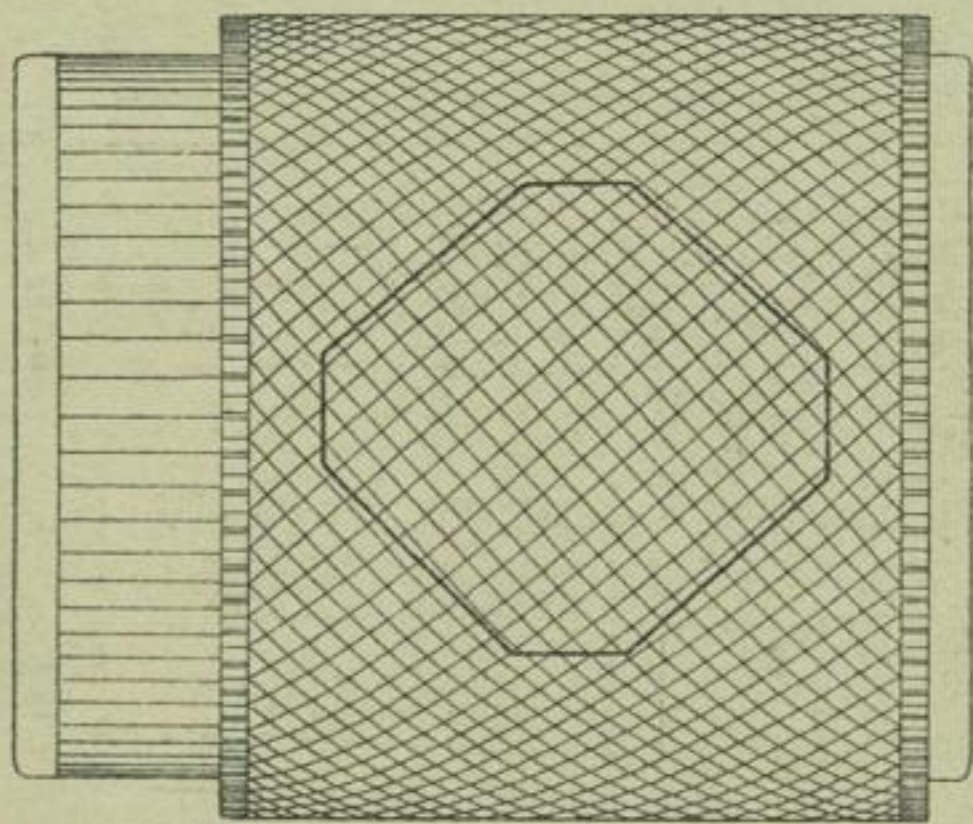


Fig. 302.

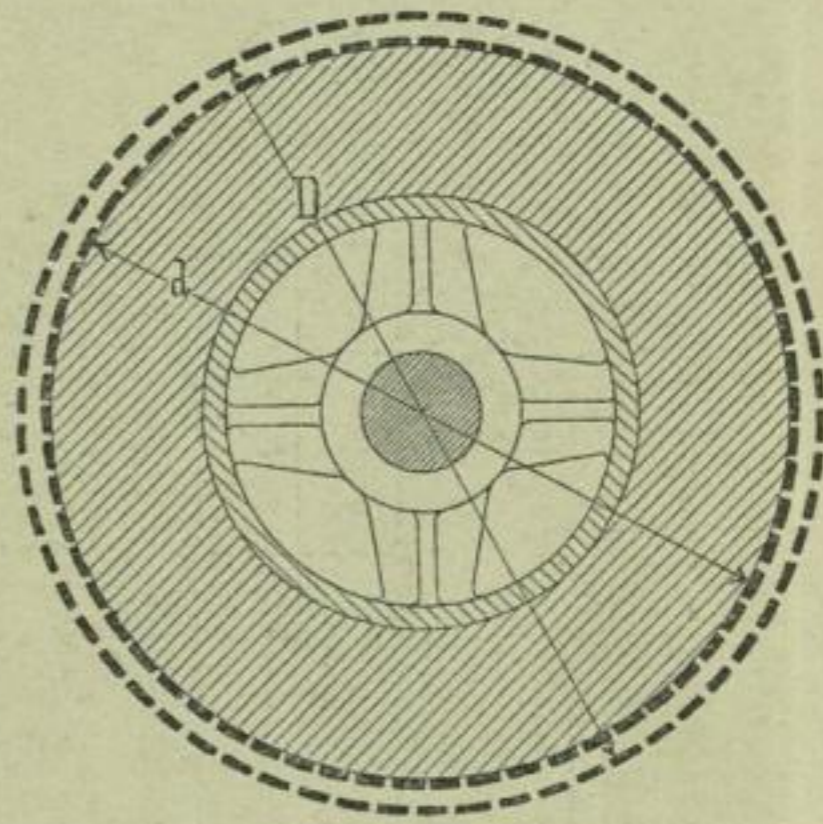


Fig. 302 a.

Parallelschaltung miteinander verbunden sind. Die Nuten sind (Fig. 300 a) halb geschlossen, in jeder Nut befinden sich zwei stark isolierte Stäbe, welche durch einen Fiberkeil festgehalten werden. Anstatt die einzelnen Stäbe so stark zu isolieren, kann in die Nut ein Kanal aus Isoliermaterial eingelegt werden.

Die Verbindungsgabeln  $G$  (Fig. 301) sind aus einem geraden Blechstreifen gefaltet, und an die vordern Gabeln ist die Verbindung zum Kollektor (Fig. 301) angelötet. Auf den vorstehenden Enden der Armaturstäbe (Fig. 299) liegen je drei Drahtbänder, welche die von den Querverbindungen ausgeübte Centrifugalkraft aufzunehmen haben.

Zur Lüftung des Ankerkörpers sind in den Armaturkern zwei gerippte Messingplatten eingelegt, in Fig. 300 b ist der Querschnitt und ein Stück Ansicht dieser Platten herausgezeichnet. Die Zahl

der Rippen ist am äußeren Umfange gleich der Zahl der Nuten, so daß die schwachen Eisenstege dort einen Stützpunkt finden. Die Luft kann sowohl durch die Öffnungen der Kollektorbüchse, als von hinten in das Innere des Ankers treten und von dort durch die neben den Rippen der Messingplatten frei gelassenen Kanäle nach außen streichen.

**Trommelanker mit Stabwicklung von W. Fritsche.** Denkt man sich die Stäbe der Schemata Fig. 86, 88 und 99 in zwei Ebenen angeordnet, so daß z. B. in Fig. 99 die Stäbe 9'—3, 10'—4, 11'—5

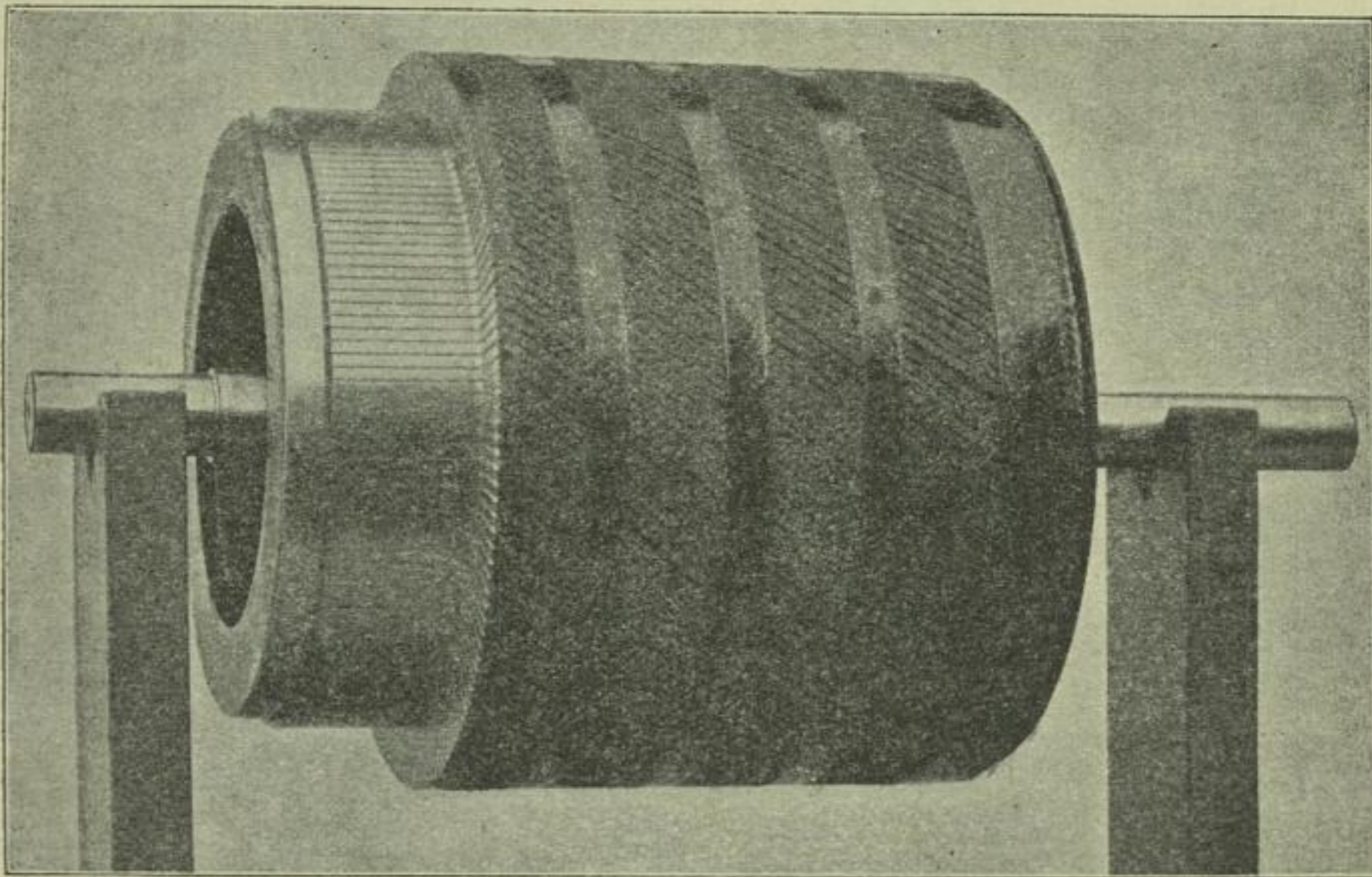


Fig. 303.

u. s. f. in der einen und die Stäbe 1—1', 2—2', 3—3', 4—4' u. s. f. in der darüber liegenden Ebene sich befinden, und wickelt man die Stäbe in dieser Lage auf die Cylinderfläche der Trommel auf, so erhält man die Anordnung des Stabankers von W. Fritsche.

Fig. 302 gibt die Ansicht und Fig. 302 a den Querschnitt einer nach dem Schema Fig. 99 durchgeführten Wicklung. Die unter sich parallelen Stäbe 9'—3, 10'—4, 11'—5 u. s. f. sind auf dem Cylindermantel vom Durchmesser  $d$  und die parallelen Stäbe 1—1', 2—2', 3—3' u. s. f., welche die vorhergehenden kreuzen, auf einem Mantel von größerm Durchmesser  $D$  untergebracht. Je zwei in verschiedenen Ebenen liegende Stabenden desselben Knotenpunktes sind leitend miteinander verbunden, von den angrenzenden Knotenpunkten aber

Fig. 304.

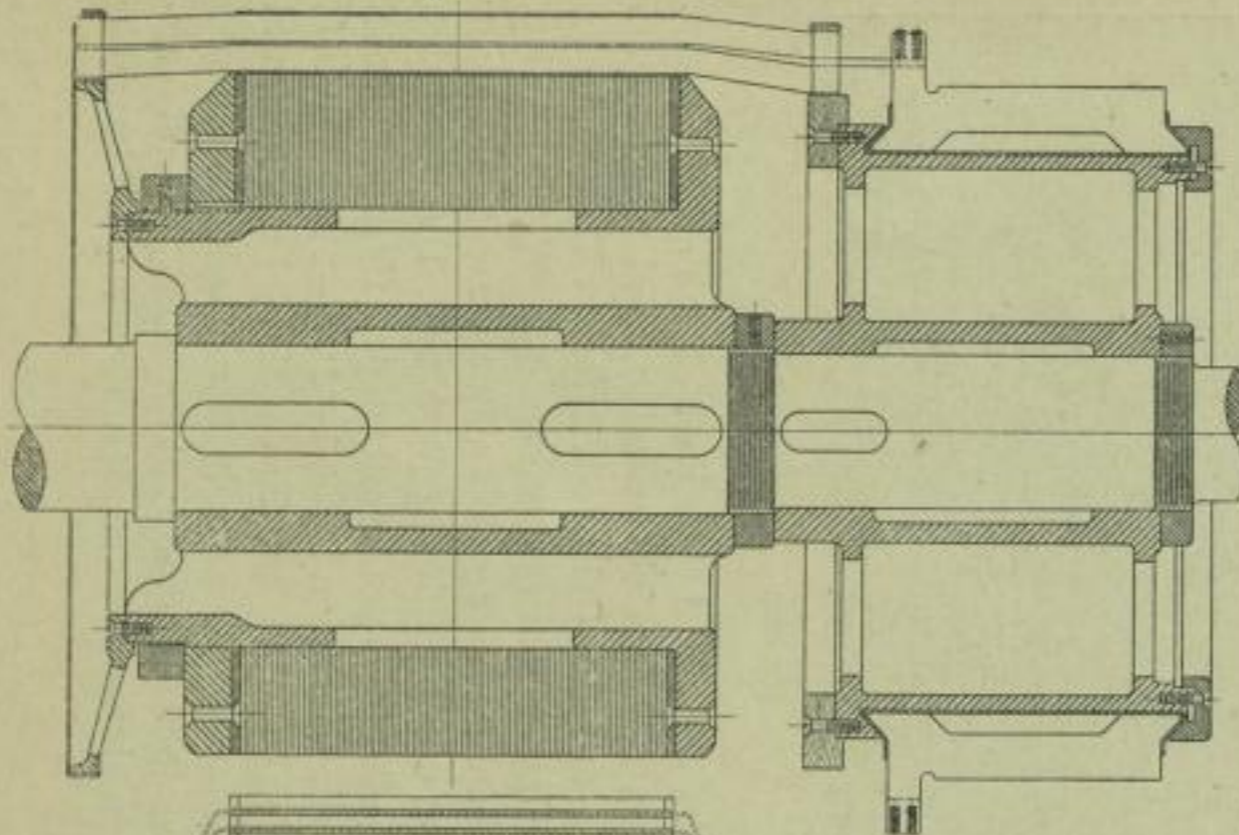


Fig. 305.

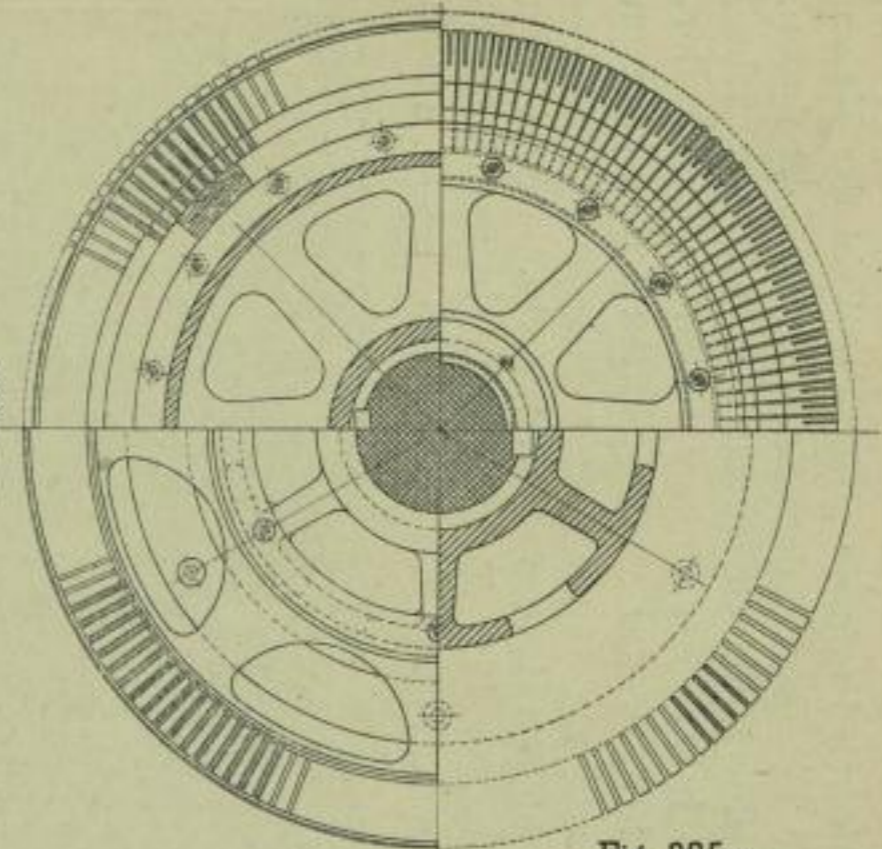


Fig. 306.

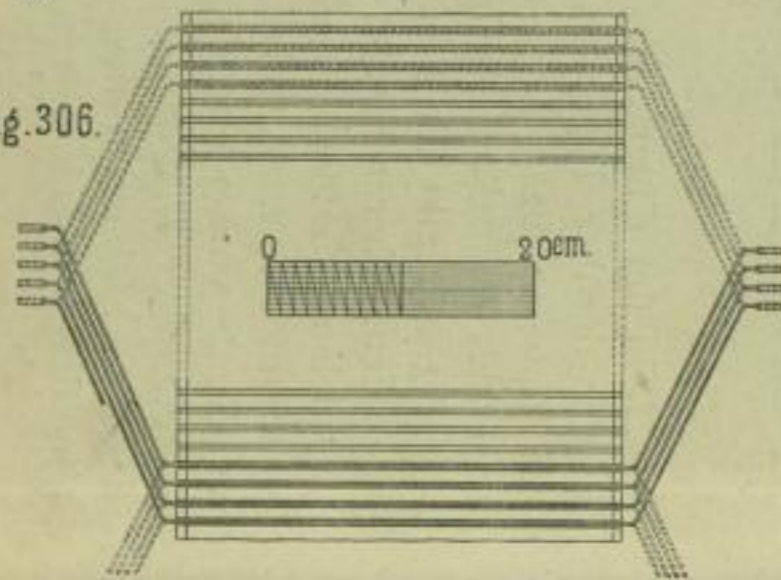


Fig. 304 a.

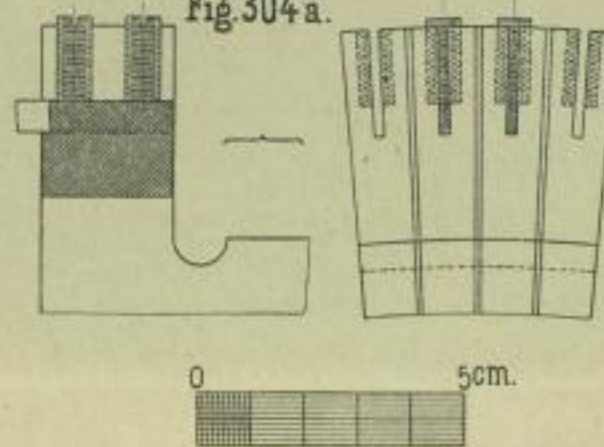


Fig. 304 b.

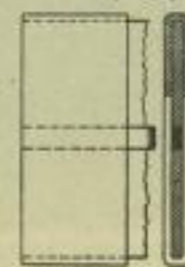
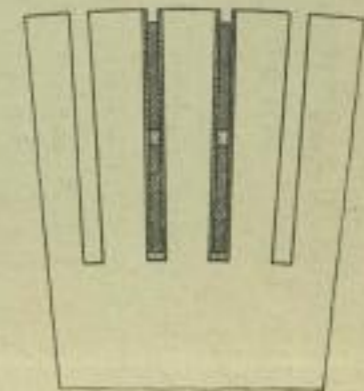


Fig. 305 a.





durch isolierende Schichten getrennt. Zwischen die Cylinder  $d$  und  $D$  wird ebenfalls eine isolierende Schicht eingelegt.

Ein von der Firma Fritsche & Pischon, Berlin, auf diese Weise ausgeführter Anker für eine Leistung von 120 Volt, 240 Amper ist in Fig. 303 abgebildet.

Trommelanker mit Stabwicklung der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Lahmeyer & Co. Diese Firma führt die Stabanker ebenfalls

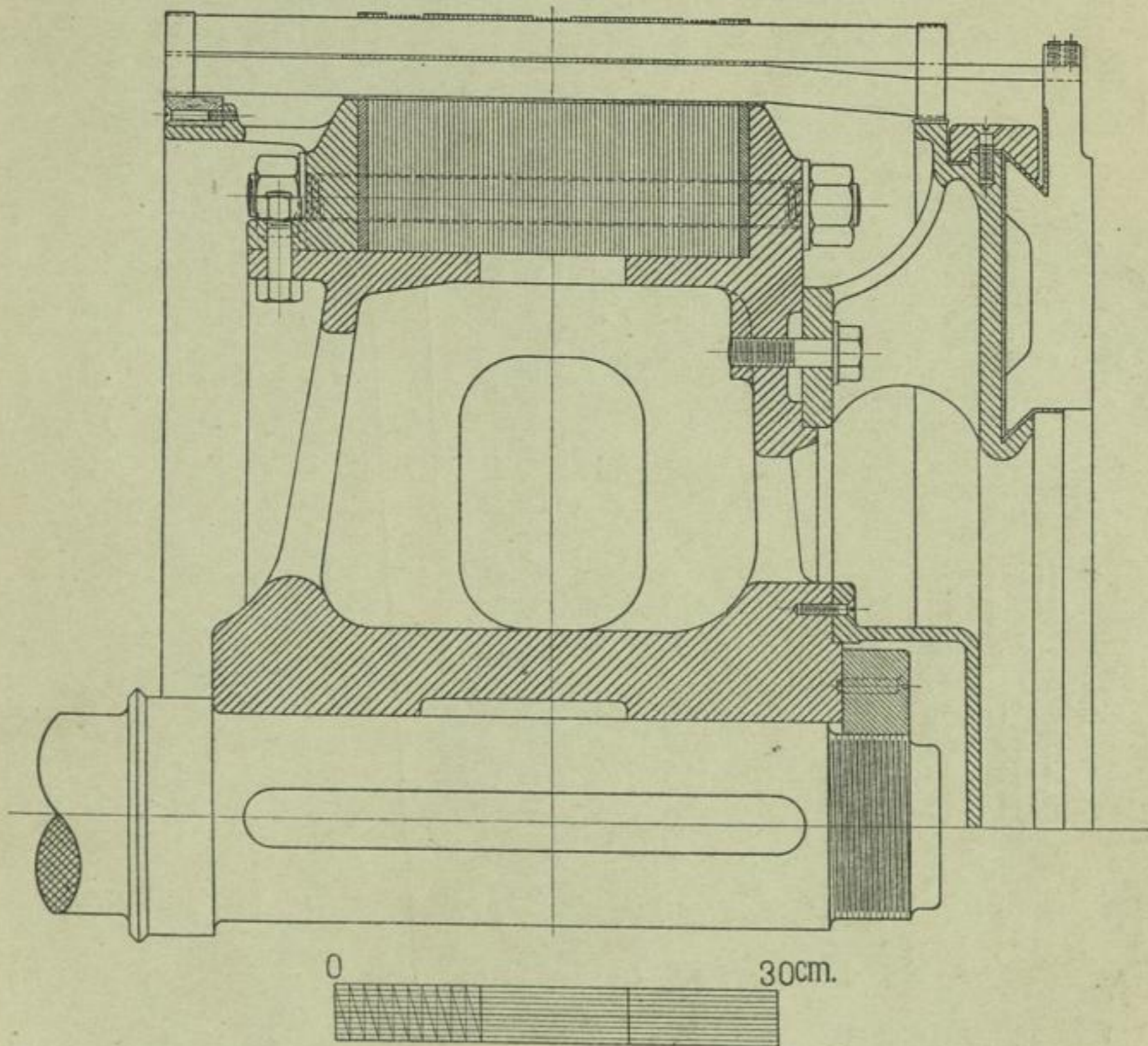


Fig. 307.

so aus, daß die seitliche Abkröpfung der Stäbe nach der Welle hin oder die seitlichen Verbindungsgabeln wegfallen.

Ein Stabanker Modell CX für eine Leistung von 50 Kilowatt 110 Volt 455 Amper bei 475 Touren pro Minute ist durch die Fig. 304 bis 306 im Längsschnitte und in verschiedenen Querschnitten zur Anschauung gebracht.

Die Stäbe liegen in den Nuten übereinander und sind nach dem Schema Fig. 306 in der cylindrischen Ebene des Trommel-

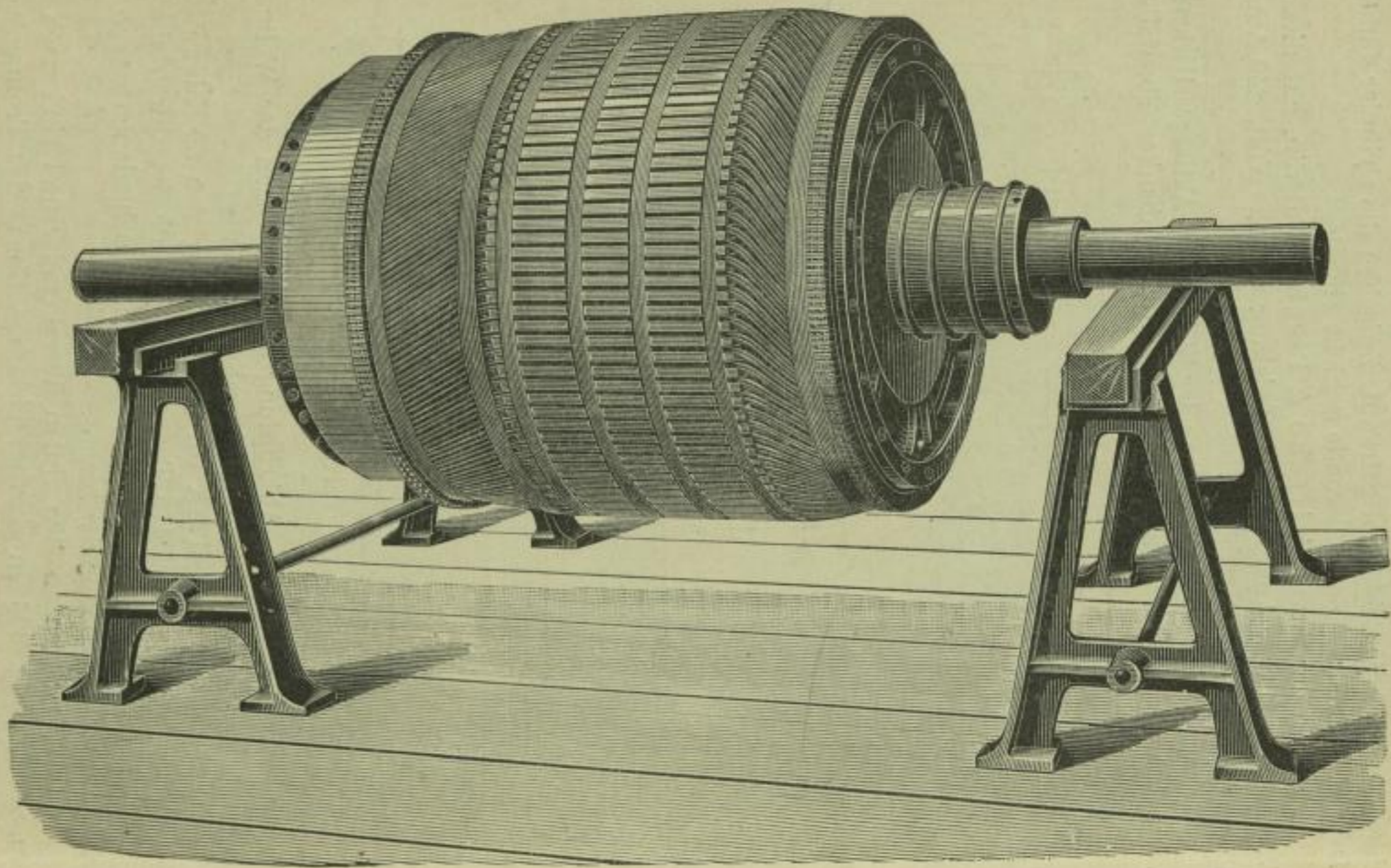


Fig. 308.

Fig. 309.

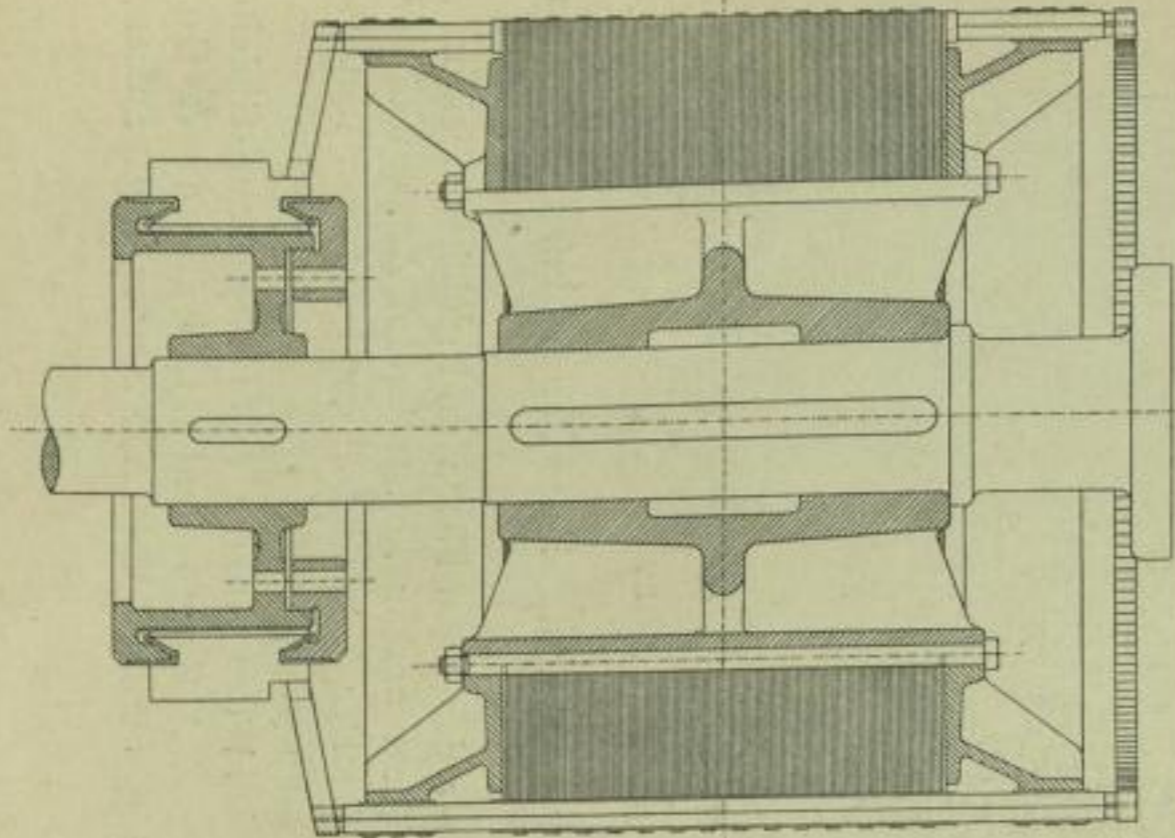
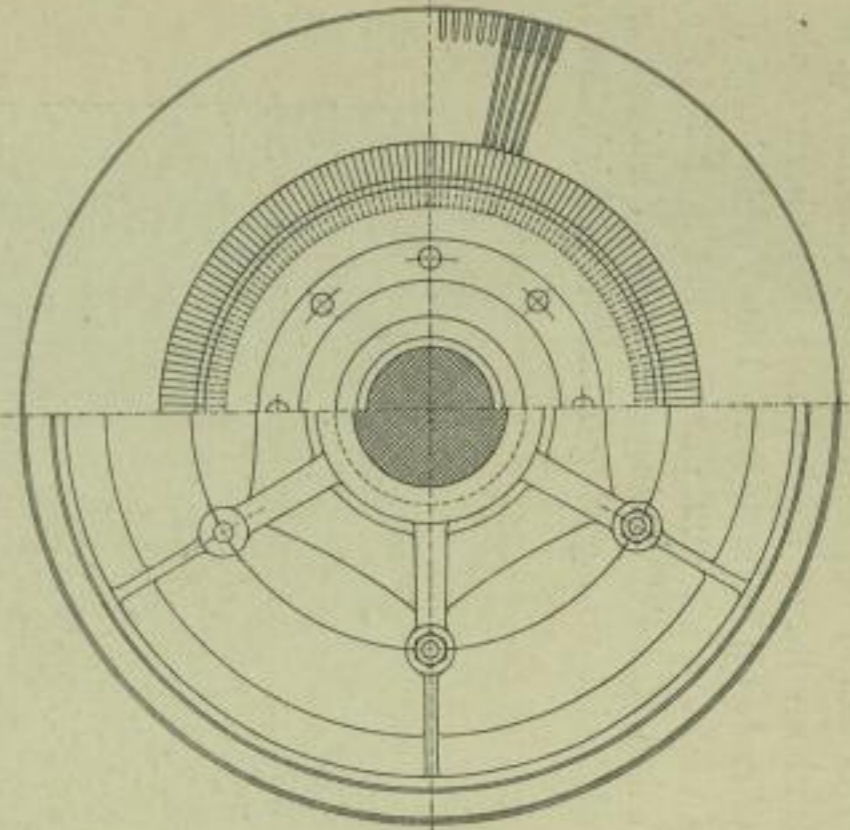


Fig. 310.



Trommelanker mit Stabwicklung.

19\*

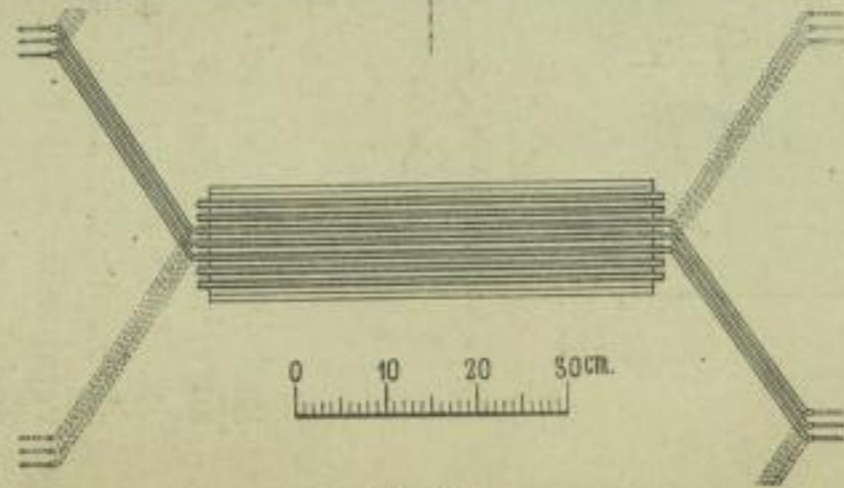


Fig. 311.

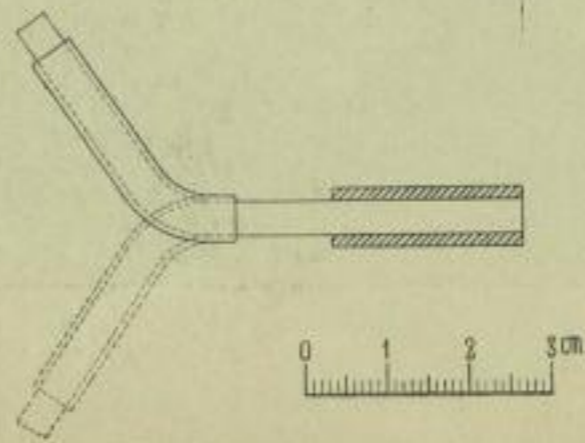


Fig. 311 a.

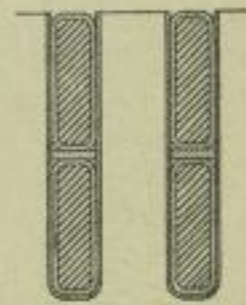


Fig. 310 a.

291

umfangen abgebogen. Die Stäbe der untern Lage sind in Fig. 306 punktiert angedeutet und an ihren Enden mit den obern Stäben in eine Kupferhülse (Fig. 304b) eingelötet. Die Verbindung der Wicklung mit dem Kollektor ist aus der Fig. 304 und 304a ersichtlich; das kurze in den Kollektor eingeschraubte Verbindungsstück wird aus einem Material von geringer Leitungsfähigkeit her-

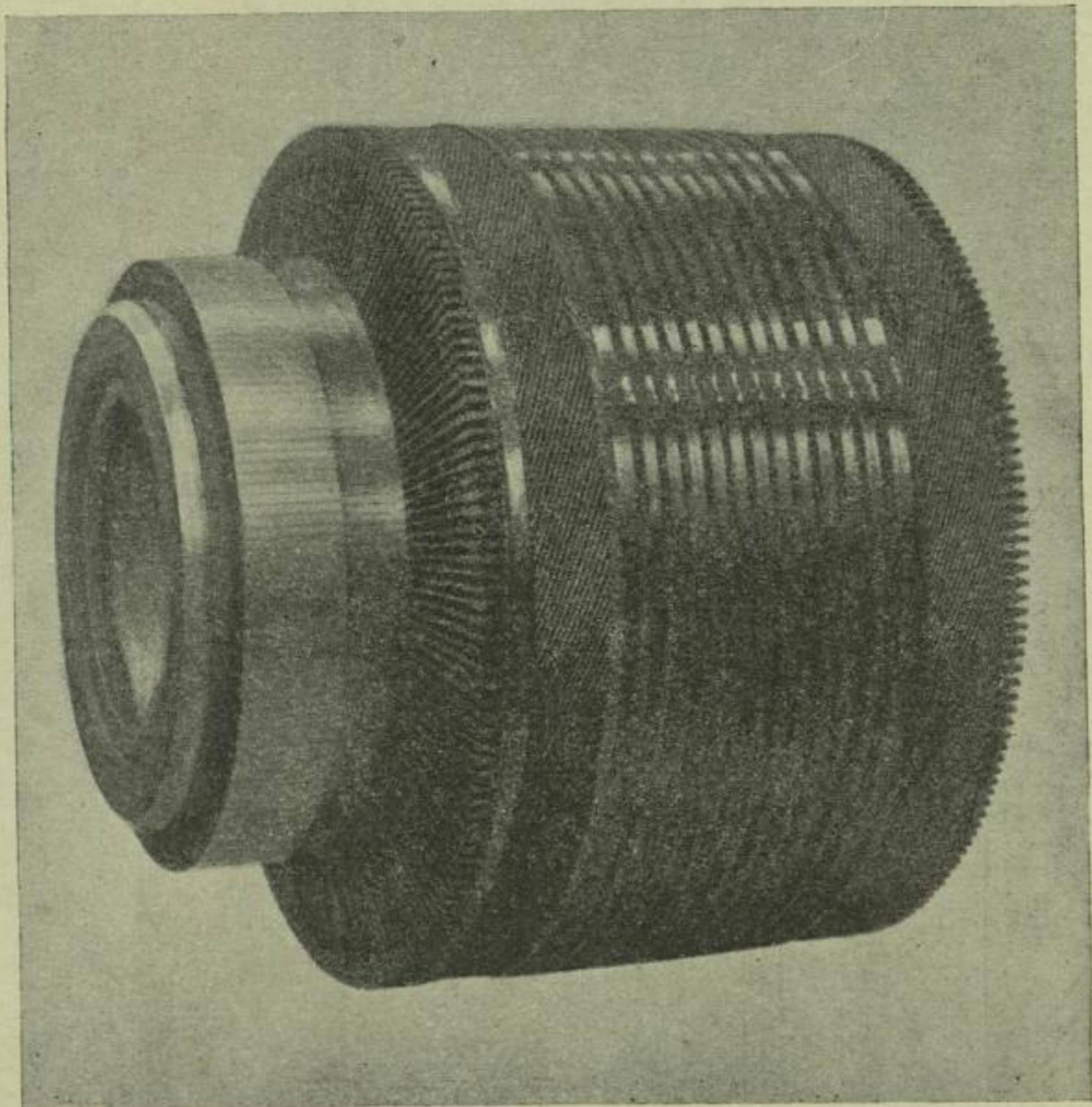


Fig. 312.

gestellt, um dadurch den Widerstand des Kurzschlussstromkreises zu erhöhen.

Eine zweite Armatur derselben Firma und gleicher Wicklung, aber mit Plankollektor und anders konstruiertem Armaturkörper veranschaulicht Fig. 307. Der Anker ist fliegend auf dem Wellenende der Antriebsmaschine gelagert.

Fig. 308 gibt das Bild des Ankers eines Drehstrom-Gleichstrom-Umformers, der E. A. G. vormals Lahmeyer & Co. Die Gleichstromwicklung für 110 Volt 500 Amper liegt aufsen,

die Drehstromwicklung für eine verkettete Spannung von 1980 Volt innen. Zur Verbindung der Stäbe der Gleichstromwicklung ist auf der hinteren Seite ein sog. Hilfskollektor angewendet. Der ungefähre Maßstab des Bildes ist 1 : 11.

**Trommelanker mit Stabwicklung von Brown, Boveri & Co.** Auch bei dieser, in den Fig. 309 bis 311 aufgezeichneten Konstruktion eines Ankers von 900 mm Durchmesser und 480 mm Eisenbreite

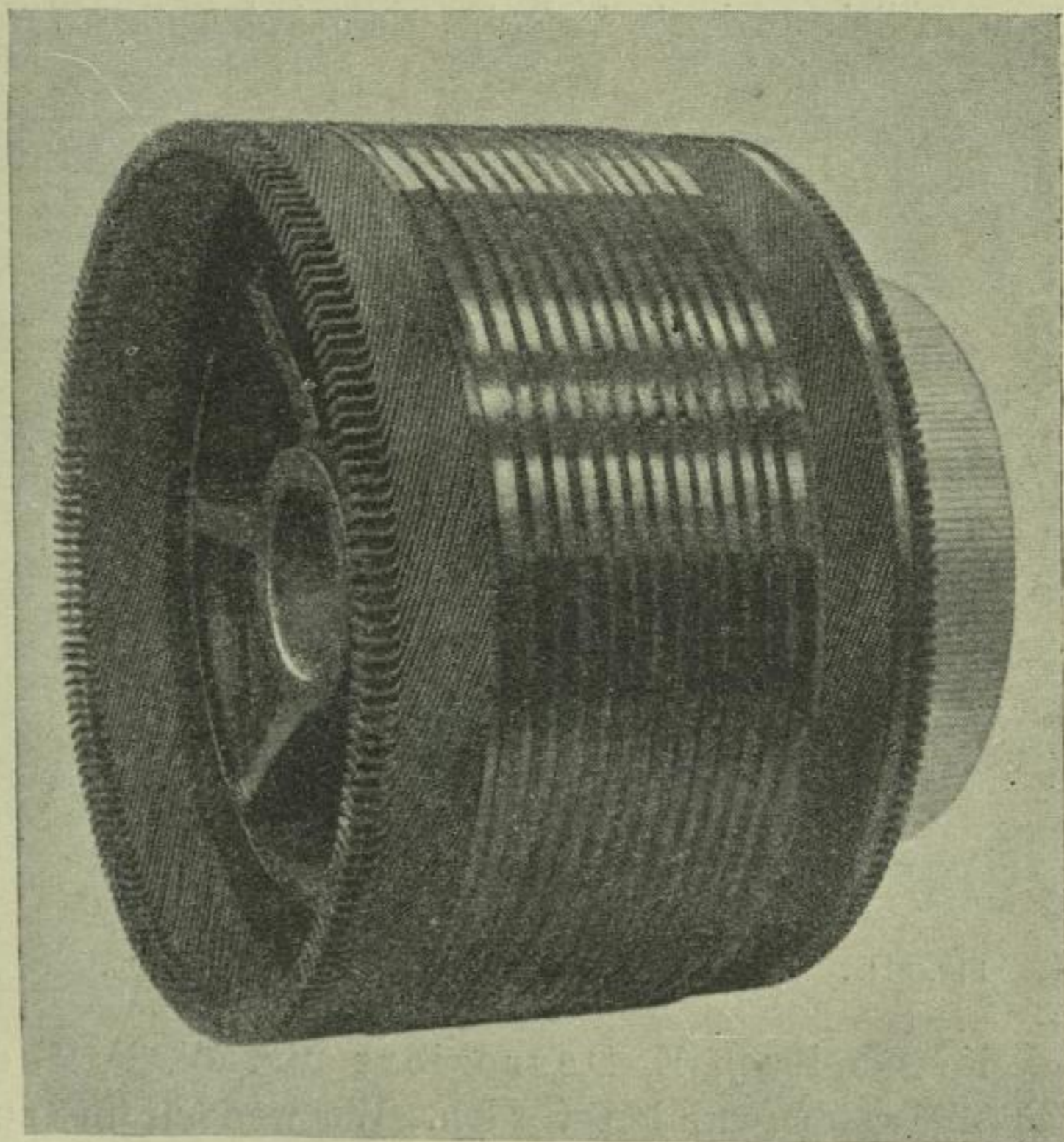


Fig. 313.

sind die Stäbe am Trommelumfang auf zwei Cylindern angeordnet. In Fig. 311 ist angenommen, daß die Stäbe in Reihenschaltung verbunden seien, die punktiert gezeichneten Stäbe liegen auf dem inneren Cylinder. Die Armaturbleche werden mittels 6 durchgehenden schmiedeeisernen Bolzen, welche zur Hälfte in den Ankerstern und zur Hälfte in die Bleche eingreifen, zusammengepresst. Zwei verschiedene Ansichten des Ankers einer Erregermaschine der Centrale in Frankfurt a. M. sind in den Fig. 312 und 313 wiedergegeben; dieselben lassen die Konstruktion der Wicklung deutlich erkennen.

## Beispiele für die Konstruktion von Scheibenankern.

Die Scheibenanker, welche in der Richtung der magnetischen Strömung nur einen geringen Raum beanspruchen, lassen sich ohne Eisenkern ausführen. Die Weglassung des Eisenkerns vermeidet die Verluste durch Hysterese und Wirbelströme im Eisen, erschwert aber dem Konstrukteur nicht nur die Herstellung der Wicklung, sondern namentlich auch die Aufgabe, dem Anker die erforderliche mechanische Festigkeit zu verleihen, ganz bedeutend. Diese

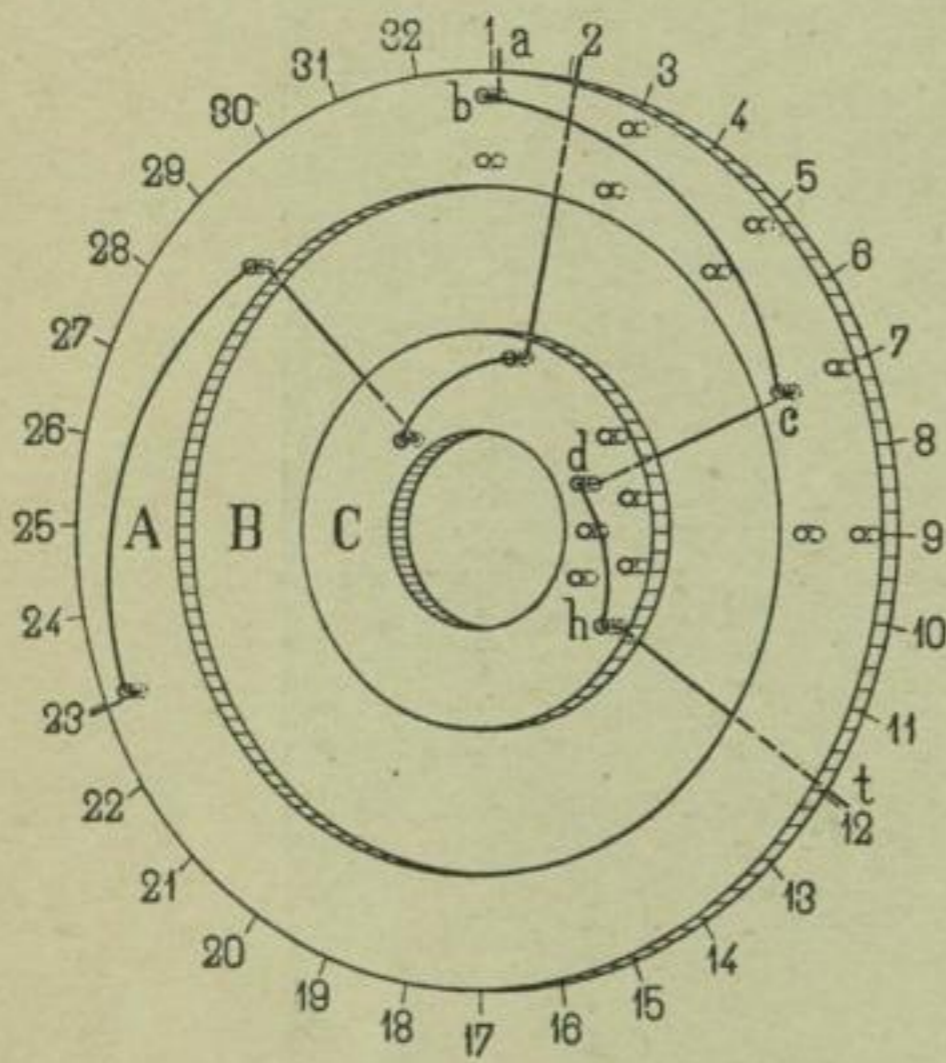


Fig. 314.

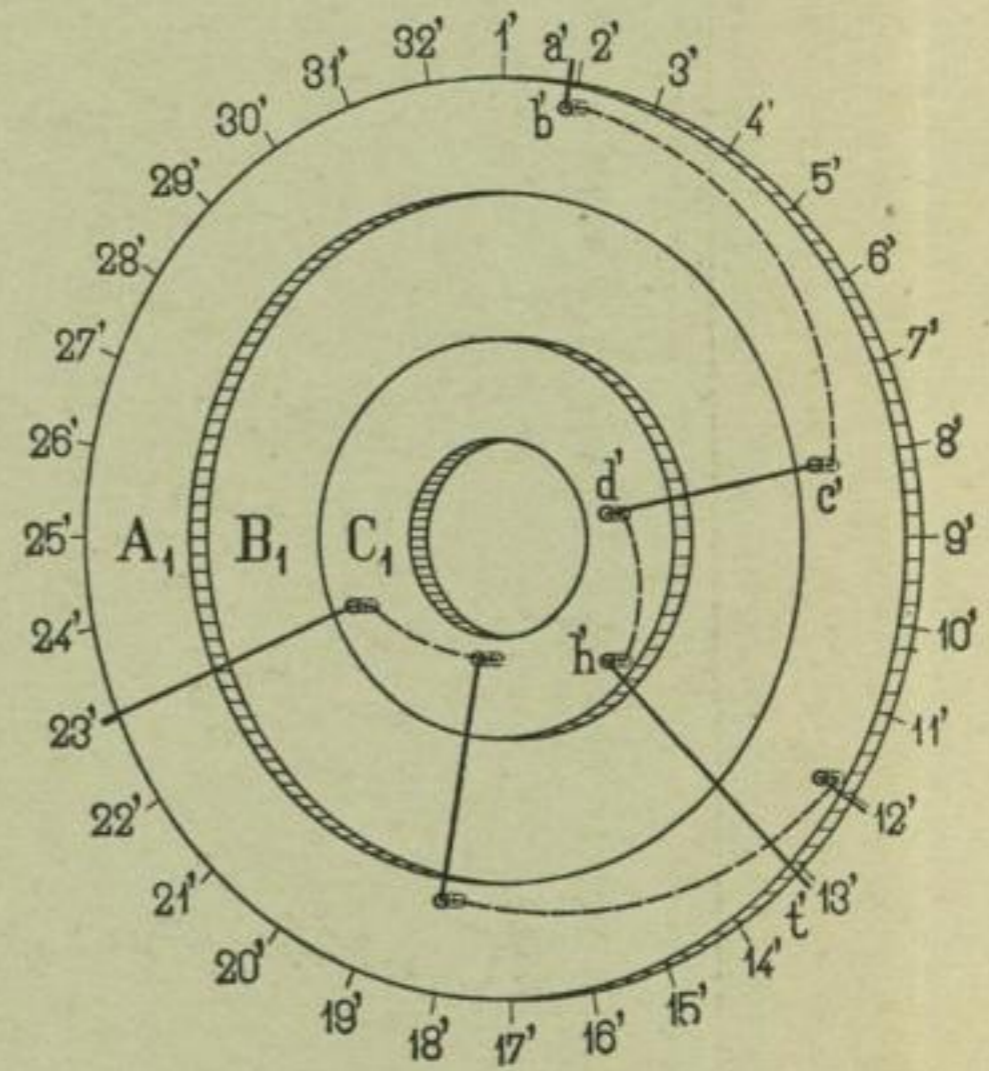


Fig. 315.

Schwierigkeiten sind von E. Desroziere und W. Fritsche in geschickter Weise überwunden worden. Wir wenden uns zunächst zu dem

**Scheibenanker von E. Desroziere.** In den Fig. 127 bis 129 wurde gezeigt, daß sich die Wicklung in zwei Teile zerlegen läßt. Der erste Teil (Fig. 128) enthält diejenigen Zickzackteile der Wicklung, welche mit ungeraden Zahlen ( $a b c d h t$ ), und der zweite Teil (Fig. 129) diejenigen Zickzackteile, welche mit geraden Zahlen ( $b c_1 d_1 h_1 t_1$ ) beginnen.

Die Wicklung eines jeden Teiles wird getrennt hergestellt, und die Drähte müssen so geführt werden, daß bei dem Zusammenlegen beider Teile die nach Kreisevolventen gebogenen und sich kreuzenden Drahtstücke ( $bc, b_1c_1, dh, d_1h_1$ ) nicht in Berührung treten.

Zur Ausführung der Wicklung dienen, ebenso wie bei dem Scheibenanker von Fanta Fig. 130, zwei dünne Scheiben aus einem Isoliermaterial von genügender Festigkeit (Karton, gepresstem Asbest)  $A, B, C$  Fig. 314 und  $A_1, B_1, C_1$  Fig. 315. Jede dieser Scheiben besteht aus drei Ringen, in den Figuren ist der mittlere Ring  $B$  fortgelassen. Wir denken uns den Ring  $B$  zunächst als vorhanden

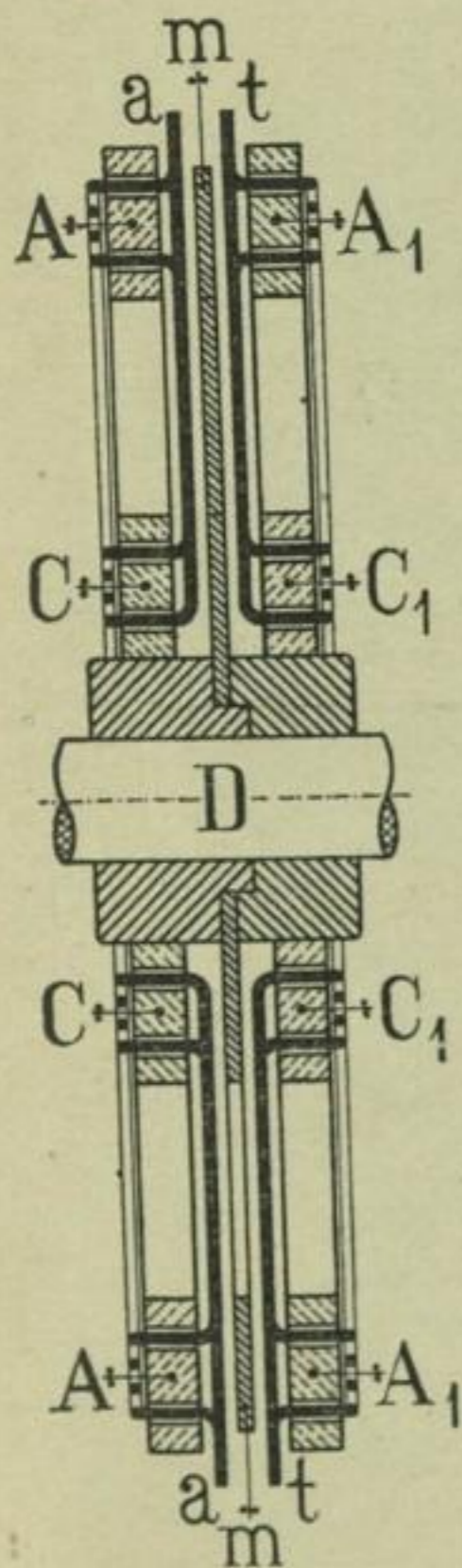


Fig. 316.

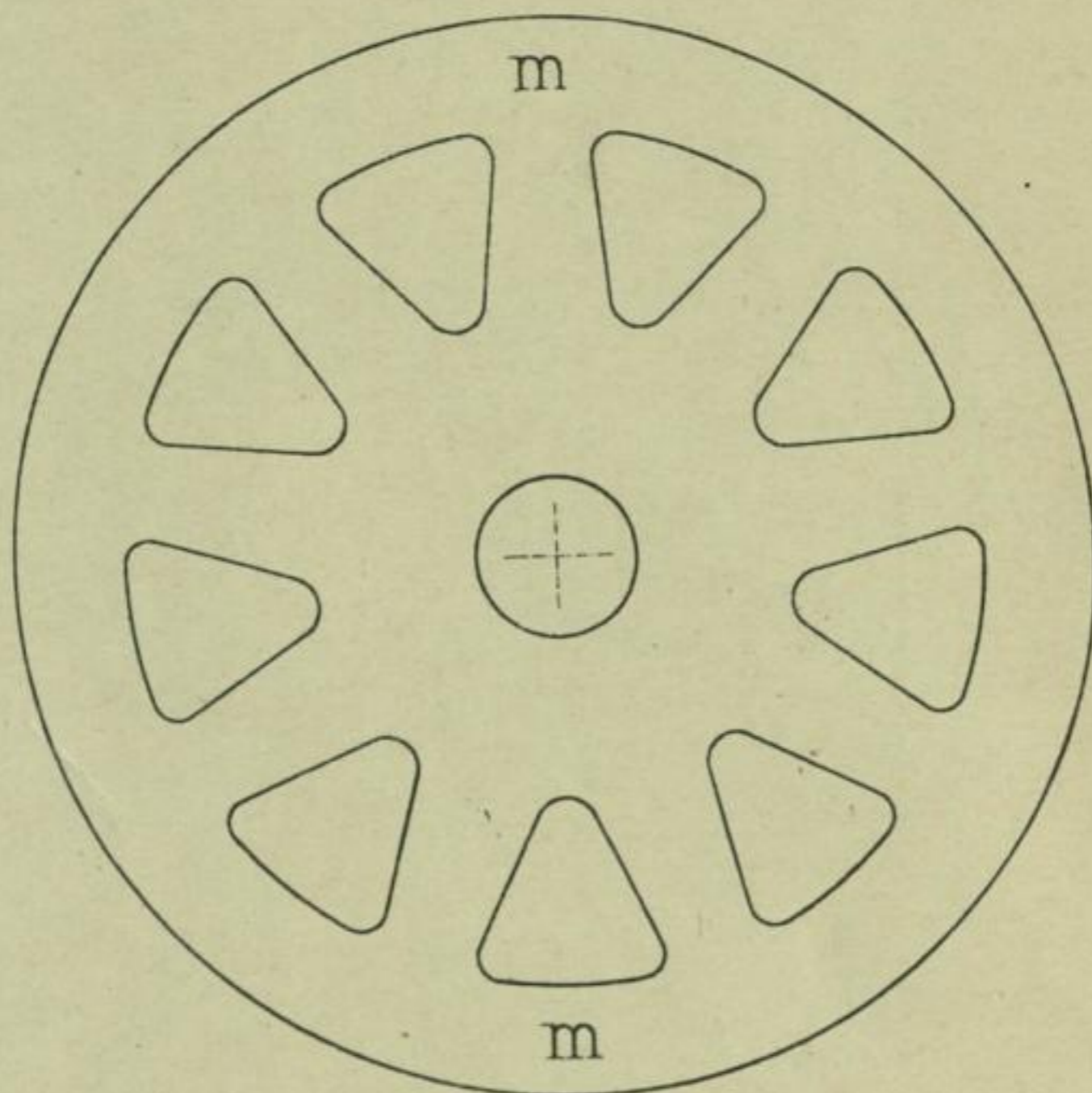


Fig. 317.

und auf der Scheibe Fig. 314 die ungeraden und auf der Scheibe Fig. 315 die geraden Elemente der Wicklung, entsprechend dem Wicklungsschema, ausgeführt.

Wir nehmen einen Draht von der erforderlichen Stärke, führen denselben in Fig. 314 zunächst hinter der Scheibe radial von  $a$  nach  $b$ , bei  $b$  durch ein Loch auf die vordere Seite des Ringes  $A$  und hier längs der Kreisevolvente  $b c$ . Bei  $c$  treten wir wieder durch die Scheibe und leiten den Draht hinter derselben radial von  $c$  nach  $d$ , bei  $d$  wird der Draht durch ein Loch

wieder nach vorn gezogen, dann von  $d$  nach  $h$  und von  $h$  aus auf der hinteren Seite der Scheibe radial nach  $t$  geführt.

Auf dieselbe Weise wird die ganze Scheibe mit den geraden Zickzackteilen der Wicklung bedeckt, und ebenso die Scheibe

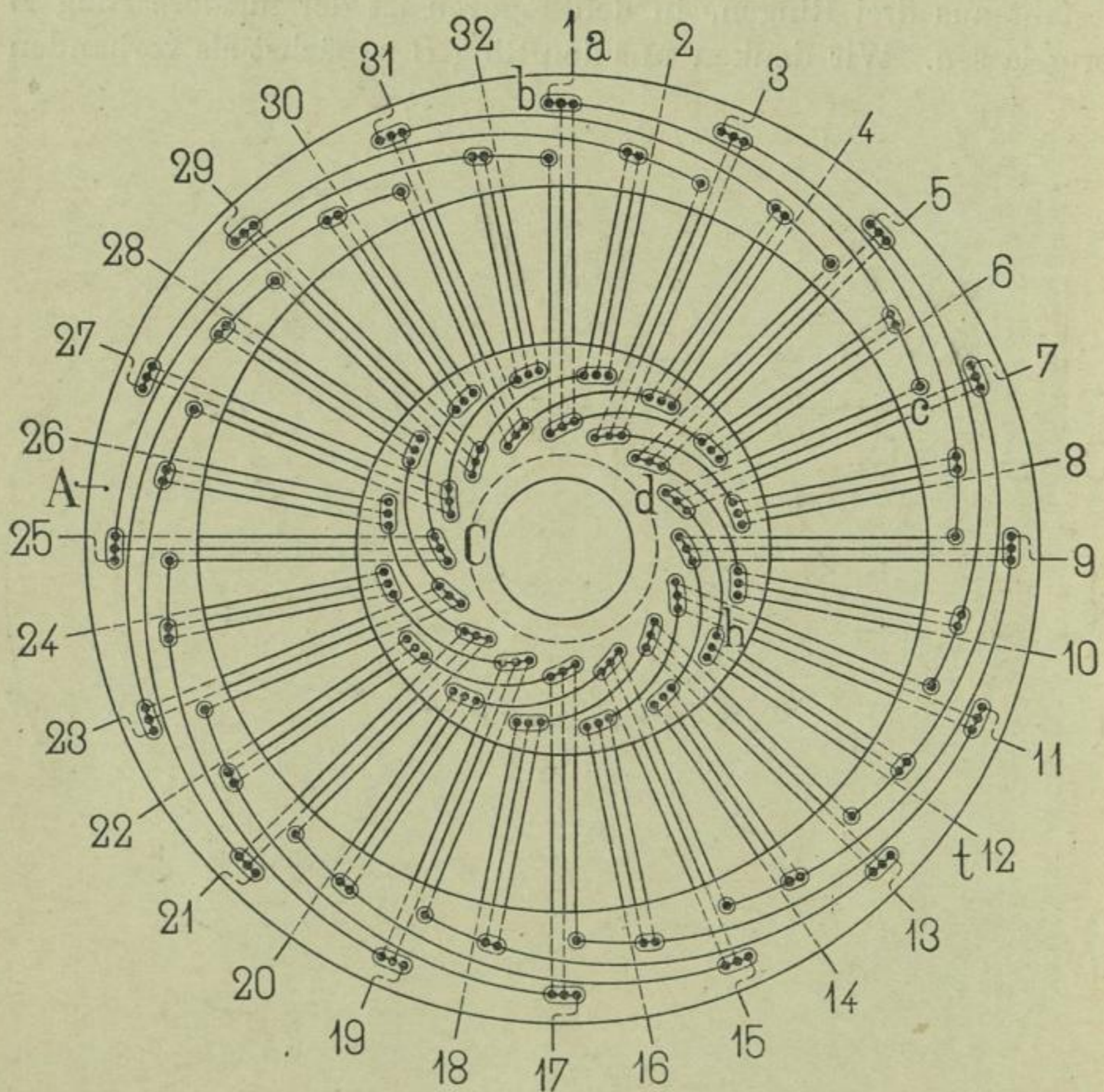


Fig. 318.

Fig. 315, mit den ungeraden Zickzackteilen. Der Unterschied der beiden bewickelten Scheiben 314 und 315 besteht dann nur darin, daß in Fig. 314 die radialen Teile sich auf der hintern und die gekrümmten Teile des Drahtes sich auf der vordern Seite der Scheibe befinden, während es in Fig. 315 umgekehrt ist.

Legen wir nun die beiden Scheiben so aufeinander (Fig. 316), daß die mit gleichen Nummern versehenen Teilpunkte sich decken, d. h. daß die Punkte 1, 2, 3, 4 . . . der Fig. 314 auf 1', 2', 3', 4' . . .



der Fig. 315 zu liegen kommen, so fallen die Enden  $a$  und  $t$  der geraden Zickzackteile auf die Enden  $t'$  und  $a'$  der ungeraden Zickzackteile. Werden diese Enden, d. h.  $a$  mit  $t$  und  $a'$  mit  $t'$ , verbunden, so erhalten wir eine in sich geschlossene Wicklung.

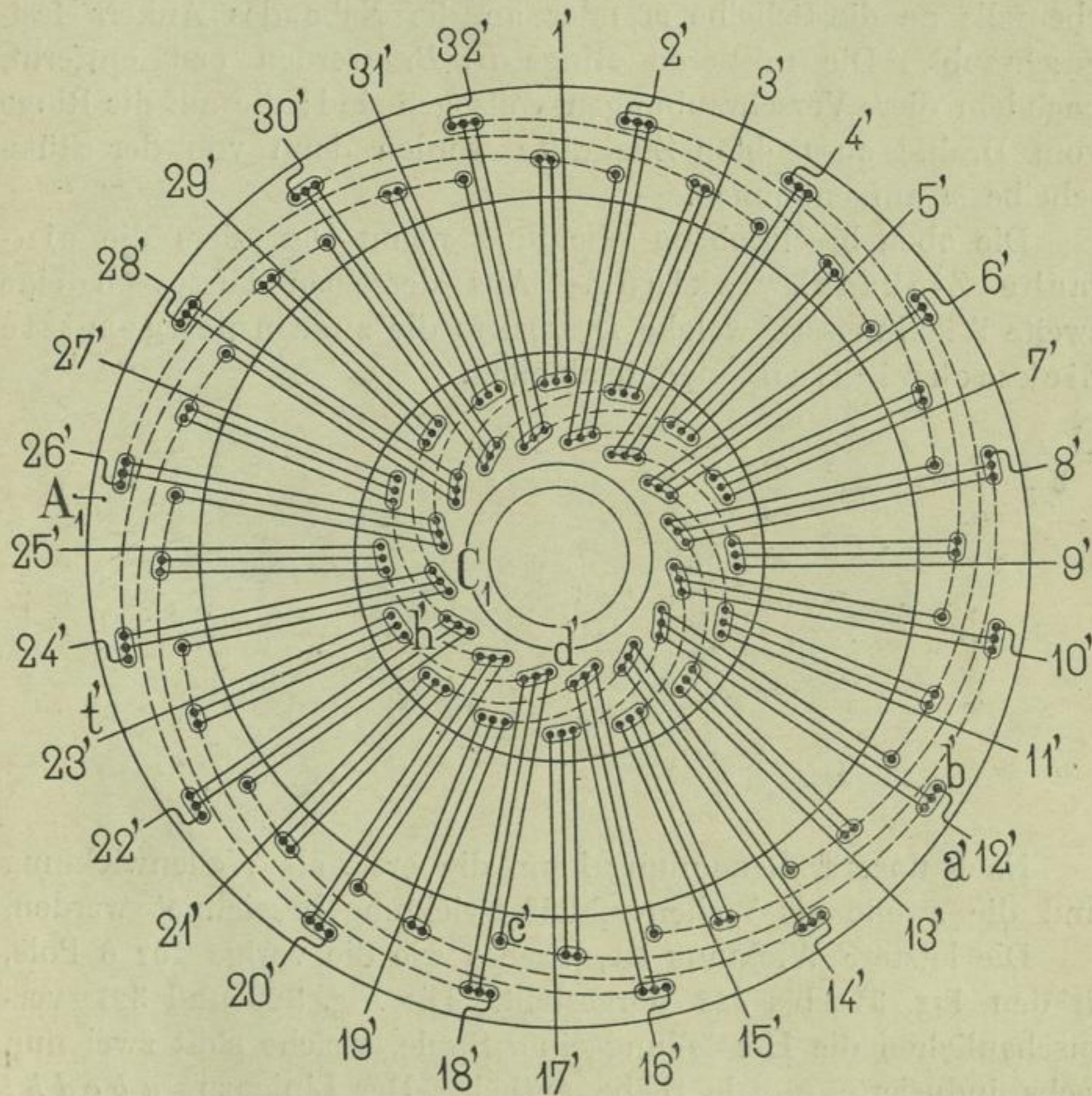


Fig. 319.

Entfernen wir noch die mittleren Ringe  $B$  und  $B_1$ , so werden die radialen Teile der Wicklung sichtbar, dieselben bilden zwei Lagen von geringer Stärke.

Wie aus dem Querschnitte Fig. 316 ersichtlich ist, wird zwischen die beiden bewickelten Scheiben eine dünne Metallscheibe  $m m$ , welche aus schlecht leitendem Material (Neusilber, Nickelin) besteht, eingelegt, dieselbe hat den Zweck, der Armatur grössere mechanische Fertigkeit zu verleihen. Für grössere

Maschinen erhält diese Scheibe mehrfache Ausschnitte, etwa wie Fig. 317 veranschaulicht; dieselbe wird zwischen der zweiteiligen Nabe festgeklemmt. Die äußern Ringe  $A$ ,  $A_1$  werden mittelst Bolzen (vergl. Fig. 325) an die Scheibe  $m$  und die innern Ringe  $C$ ,  $C_1$  ebenfalls an die Scheibe  $m$  oder an die Nabe des Ankers festgeschraubt. Die mittleren Ringe  $B$ ,  $B_1$  werden erst entfernt, nachdem diese Verschraubungen vollzogen sind; die auf die Ringe vom Drahte ausgeübten Zugkräfte werden dann von der Stützscheibe  $m$  aufgenommen.

Die oben beschriebene Wicklung nennt Desroziers die einfache Zickzackwicklung. Aus derselben läßt sich eine zweite Wicklungsart, welche Desroziers die zusammengesetzte Zickzackwicklung nennt, ableiten.

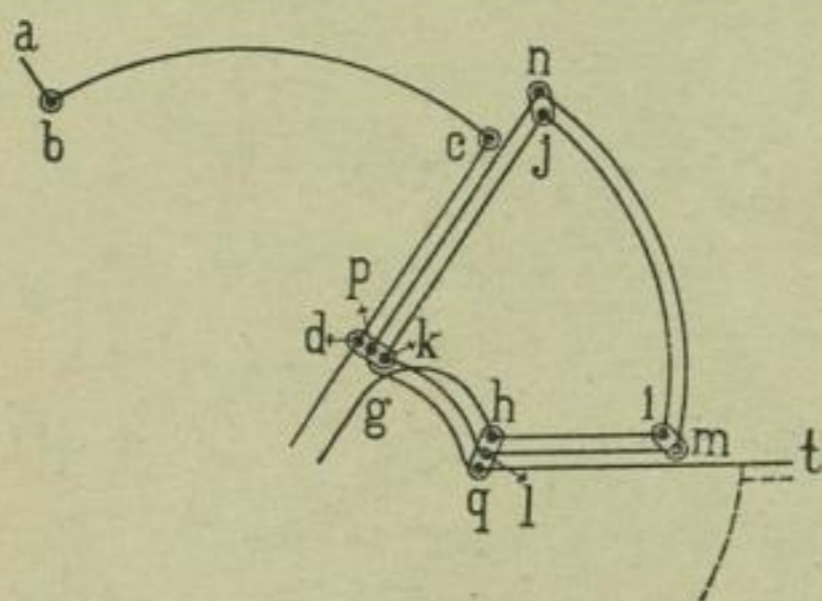


Fig. 320.

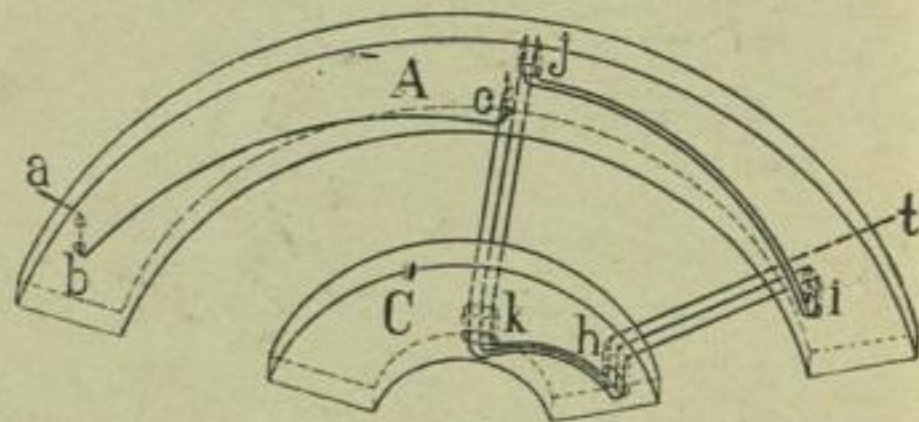


Fig. 321.

Nach unserer Benennung kann die erste als Wellenwicklung und die zweite als Wellen-Schleifenwicklung bezeichnet werden.

Die letztere Wicklung ist, ebenso wie die vorige für 6 Pole, in den Fig. 318 bis 322 dargestellt. Die Fig. 320 und 321 veranschaulichen die Herstellung einer Spule, welche statt zwei nun sechs induzierte radiale Stäbe enthält. Der Linienzug  $a b c d h t$  der einfachen Zickzackwicklung wird hier durch einen Linienzug mit mehrfacher Schleife  $a b c d g h i j k l m p q t$  ersetzt. Wie diese Spule herzustellen ist, ist aus der Fig. 321 deutlich zu ersehen; die radialen Drähte sind auf der hintern und die Querverbindungen auf der vorderen Seite der Ringe  $A$  und  $C$  gezeichnet.

Mit dieser mehrfachen Zickzackwicklung erhält die ungerade Scheibe das Aussehen der Fig. 318 und die gerade Scheibe das Aussehen der Fig. 319. Die Querverbindungen sind übereinander gewickelt, in der Vorderansicht ist daher nur eine Lage derselben sichtbar. Die radialen Drähte befinden sich unterhalb der

ungeraden und oberhalb der geraden Scheibe. Werden nun die bewickelten Scheiben aufeinandergelegt, so erhalten wir Fig. 322, und durch Verbindung der Enden *a* mit den Enden *t* entsteht eine geschlossene Wicklung. In den Fig. 318 und 319 sind die mittleren Ringe *B*, *B*<sub>1</sub>, welche nur für die Herstellung der Wicklung nötig sind, entfernt, und in Fig. 322 ist auf einer Seite der Armatur die Lage der Magnetpole *P* angedeutet.

Man kann von jeder Zickzackteilung, wie Fig. 320 darstellt, eine Abzweigung

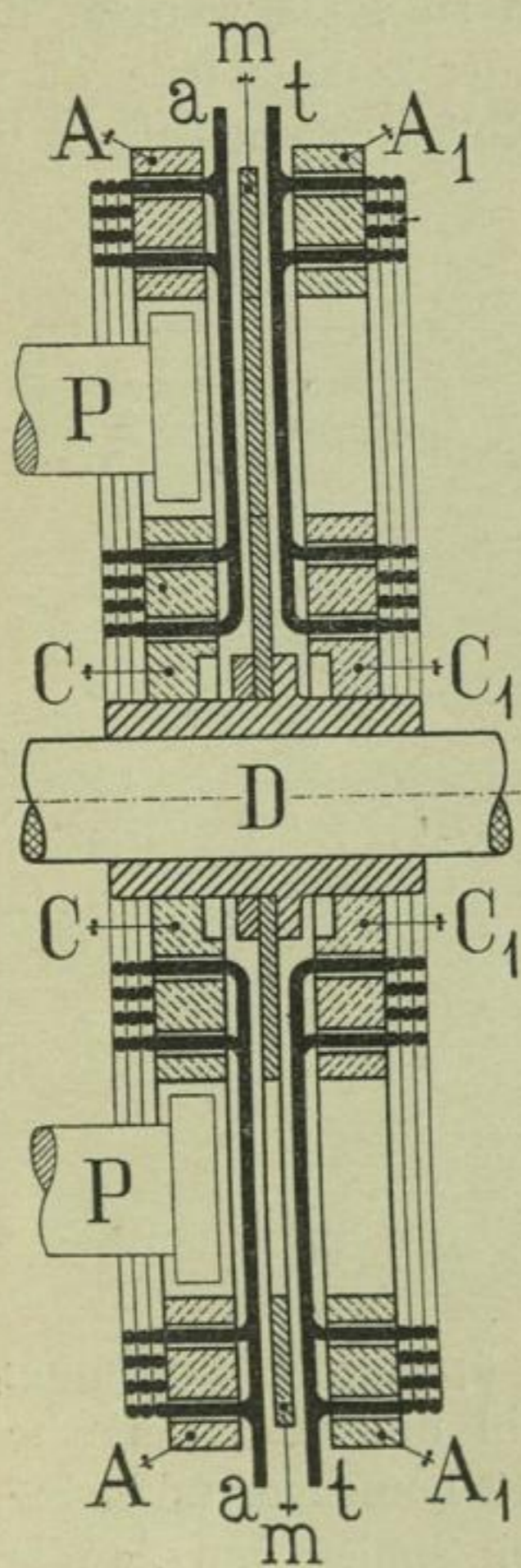


Fig. 322.

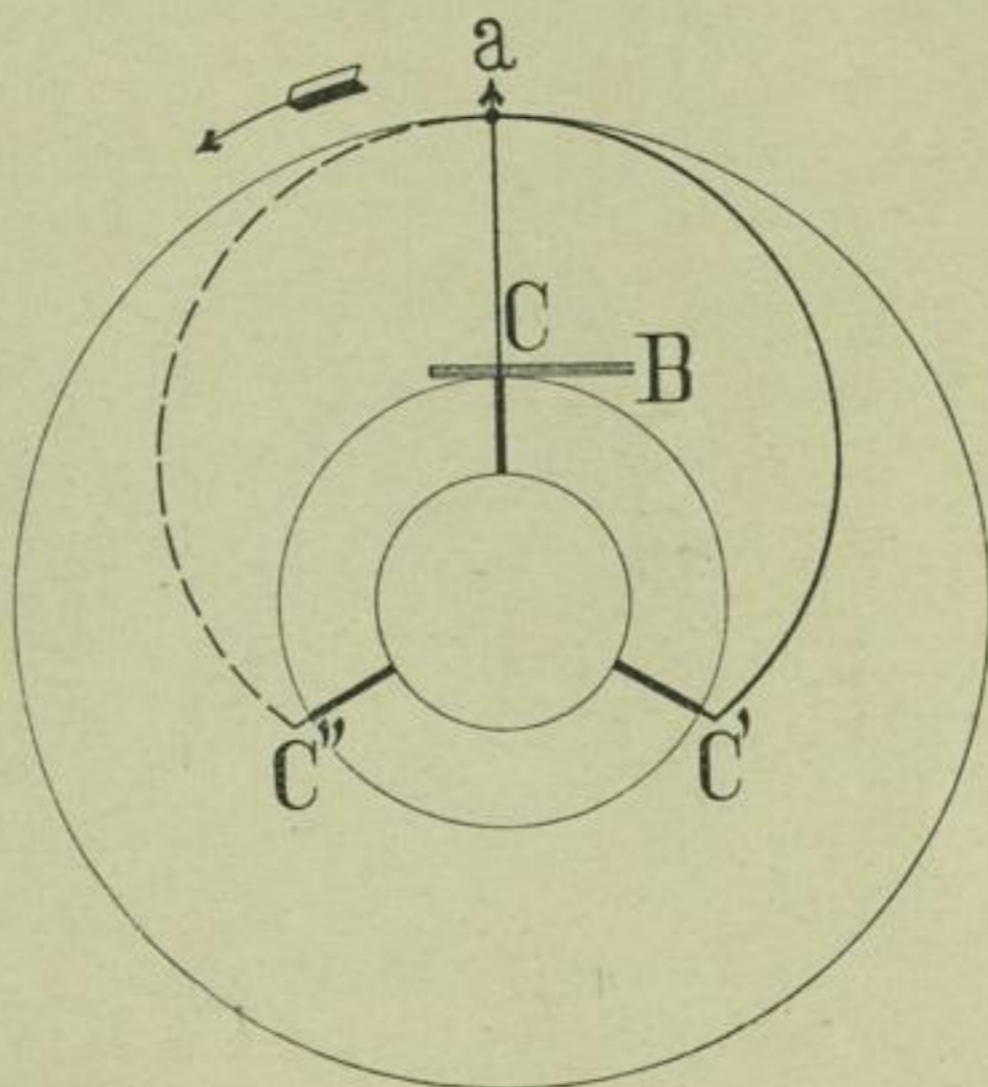


Fig. 323.

(*d g*) zu einer Lamelle des Kollektors führen; für die angenommenen Verhältnisse würden wir somit 32 Kollektorlamellen erhalten, und es sind, wie aus den Fig. 128 und 129 zu ersehen, die Zickzackteile der einen Scheibe an die

geraden und die Zickzackteile der andern Scheibe an die ungeraden Lamellen des Kollektors anzuschließen.

Die Desroziers'sche Wicklung wird aber zweckmäßiger so ausgeführt, daß nur von derjenigen Wicklungshälfte, welche auf der Seite des Kollektors liegt, Abzweigungen nach dem Kollektor gehen. Man vermeidet dadurch die Schwierigkeit, Verbindungen von der hintern Wicklungs-

hälft durch die Stützscheibe *m* hindurch nach dem Kollektor zu leiten. Auf diese Weise gehen von der Armatur 16 Abzweigungen aus, und wir würden zunächst nur 16 Kollektorlamellen erhalten.

Bei vielpoligen Maschinen und Serienschaltung der Armaturwindungen würde bei dieser Anordnung die Zahl der gleichzeitig von einer Bürste kurzgeschlossenen Windungen zu groß werden, da jede Bürste nun gleichzeitig  $2p$  Spulen oder Zickzackteile kurzschließt. Desroziere vermehrt daher die Kollektorlamellenzahl in der früher (Seite 154) angegebenen Weise.

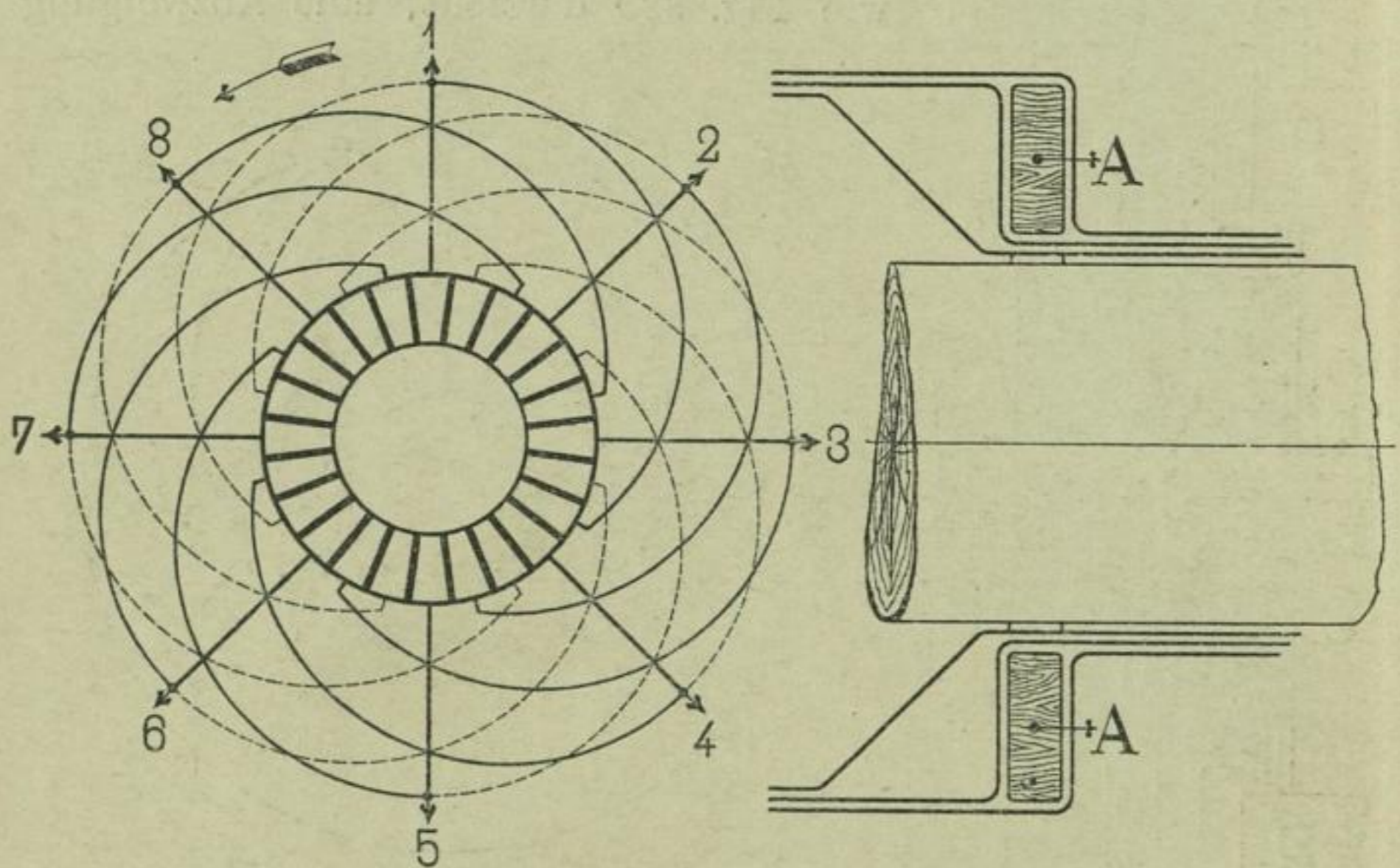


Fig. 324.

Für den oben gewählten Fall einer 6poligen Anordnung ( $p = 3$ ) kann z. B. die Kollektorlamellenzahl um das Dreifache vergrößert werden, wir erhalten  $3 \times 16 = 48$  Lamellen, und eine Bürste schließt jetzt gleichzeitig nur zwei Spulen kurz. Wie Fig. 323 zeigt, ist jeder Knotenpunkt der Wicklung bzw. die Verbindungsstelle von zwei Spulen (*a*) mit drei Kollektorlamellen zu verbinden, welche um einen Winkel von  $\frac{360^\circ}{p} = 120^\circ$  auseinanderliegen. Die an *a* angeschlossene Spule gelangt nach je  $\frac{1}{3}$  Umdrehung in die neutrale Zone, und dementsprechend stehen die Lamellen *c*, *c'* und *c''* nach je  $\frac{1}{3}$  Umdrehung nacheinander unter der Bürste *B*.

Das vollständige Verbindungsschema der Spulen mit dem Kollektor ist in Fig. 324 der Deutlichkeit wegen nur für acht Abzweigungen der Armatur aufgezeichnet. Diese Armatur würde somit 16 Zickzackteile oder 16 Spulen haben, und von den acht Spulen der vorderen Wicklungshälfte führen acht Abzweigungen zu den Punkten 1 bis 8. Jeder dieser Punkte ist mit drei um  $120^\circ$  aus-

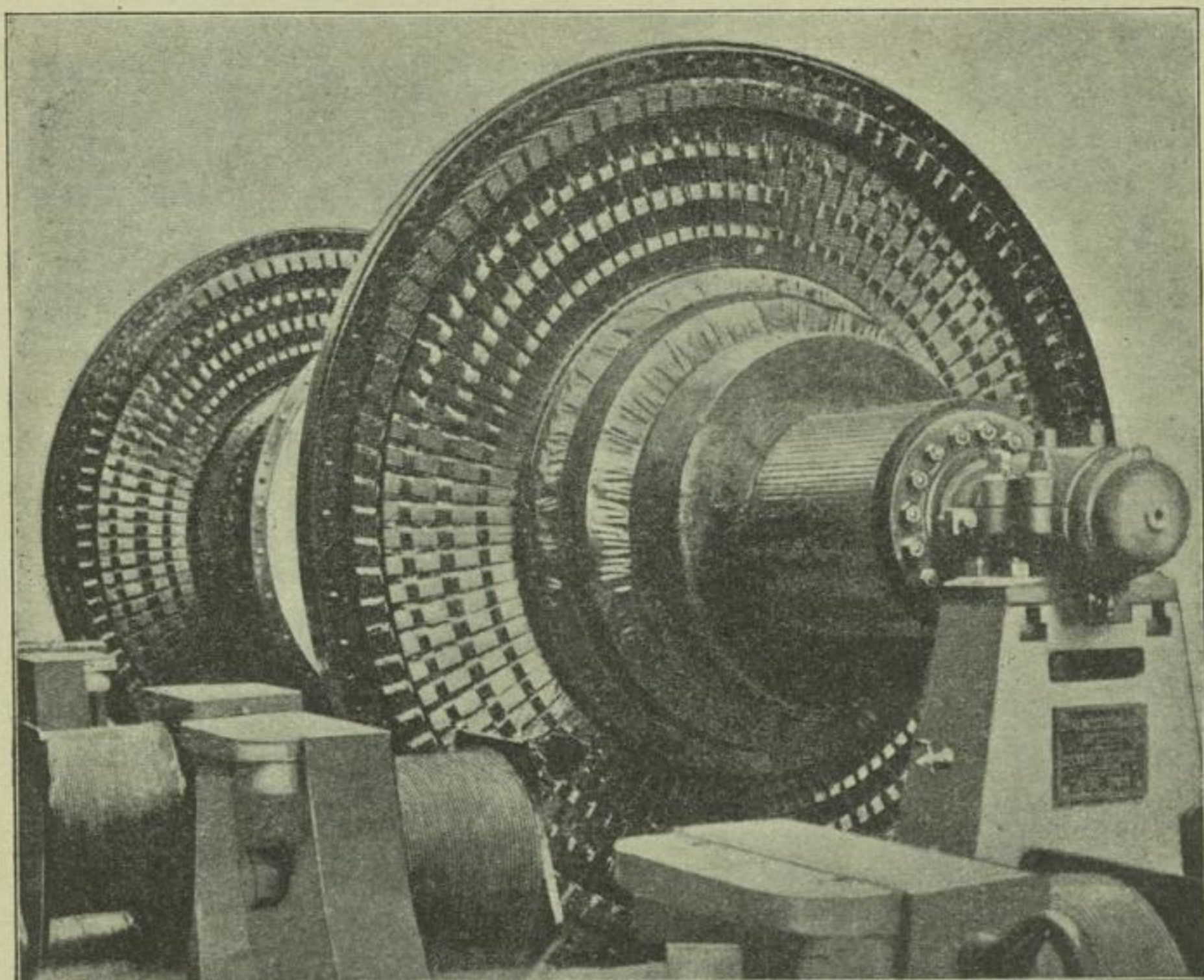


Fig. 325.

einanderliegenden Lamellen verbunden, deren Gesamtzahl somit 24 wird.

Diese Verbindungen der Knotenpunkte der Wicklung mit dem Kollektor bilden einen selbständigen Konstruktionsteil der Armatur, welcher Verbinder oder Analyseur genannt wird. In Fig. 324 ist der Verbinder mit *A* bezeichnet. Derselbe besteht aus einem Cylinder von Holz, auf welchem eine kreisrunde hölzerne Scheibe befestigt ist. Die Drähte, welche direkt von der Armatur zum Kollektor gehen, durchtreten einfach diese Scheibe; diejenigen Drähte, welche einen Schritt von  $120^\circ$  nach links auszuführen

haben, werden auf der vordern Seite der Scheibe, und diejenigen, welche um  $120^\circ$  nach rechts gehen, auf der hinteren Seite der Scheibe längs Kreisevolventen gebogen. Auf diese Weise wird eine Kreuzung der Drähte vermieden.

Die Armaturwicklung, der Verbinder und der Kollektor werden getrennt hergestellt und alsdann auf der Welle montiert und miteinander verlötet.

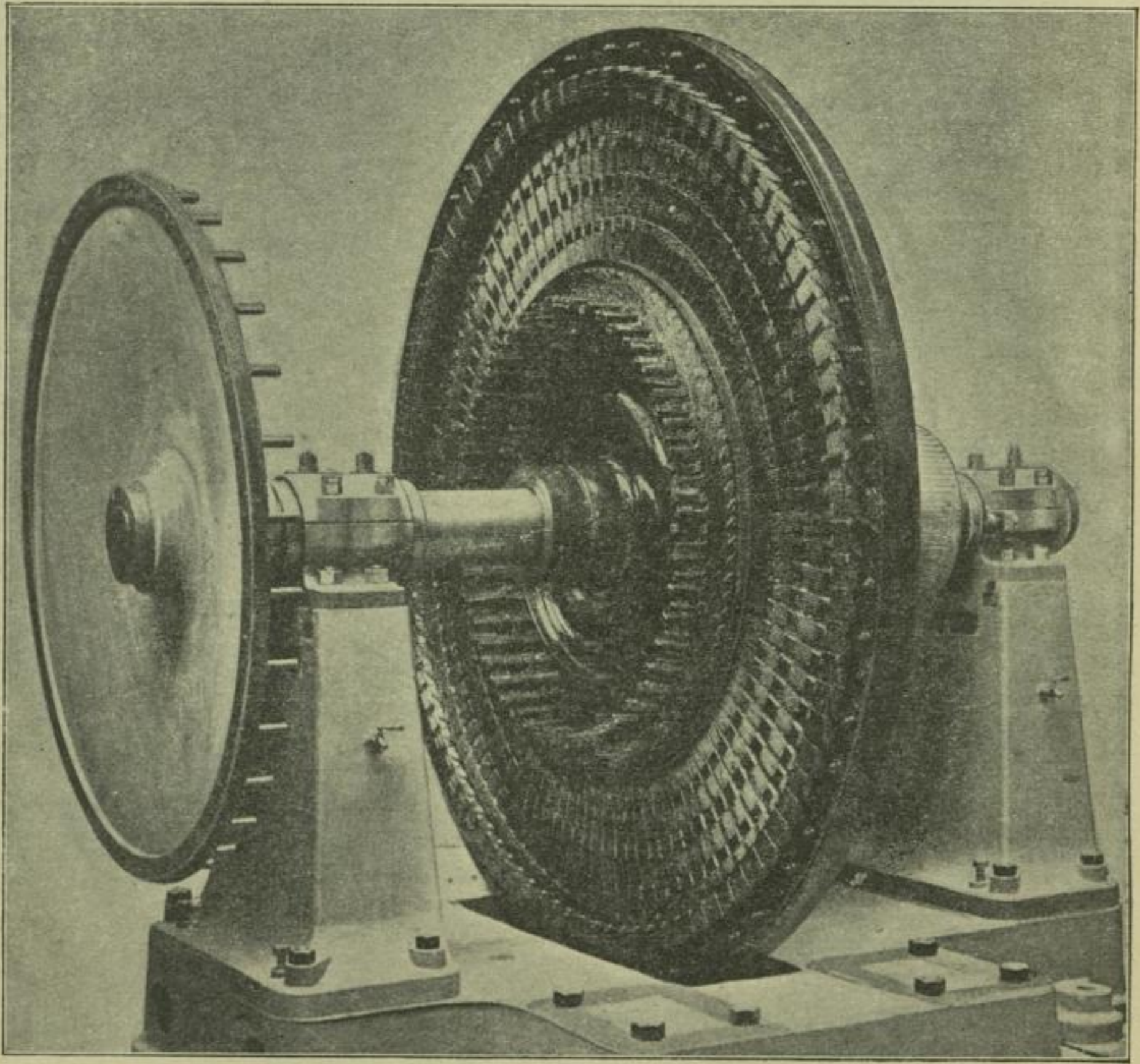


Fig. 326.

In den Fig. 325 und 326 ist die Vorder- und Rückansicht des Ankers einer Desroziers-Maschine, welche in der Fabrik des Maison Breguet, 19 Rue Didot, Paris, ausgeführt worden, dargestellt. Die Befestigung der beiden Wicklungshälften an der Stützscheibe mittels ringförmiger Flanschen und Schrauben ist aus den Figuren deutlich zu ersehen.

Bemerkenswert für diese Armaturkonstruktion ist die geringe Selbstinduktion, die geringe Armaturrückwirkung und die gute Ventilation; infolgedessen ist die Leistung der Desroziers-Maschinen pro Gewichtseinheit eine hohe.

Die wesentlichsten Angaben über eine solche Maschine gibt nachfolgende Tabelle:<sup>1)</sup>

Stromstärke . . . . .	800 Amper
Spannung . . . . .	130 Volt
Touren pro Minute . . . . .	160
Gewicht der Maschine im ganzen . . . . .	9280 kg.

#### Armatur.

Mittlerer Durchmesser . . . . .	1420 mm
Drahtdurchmesser, 4 Drähte parallel, von . . . . .	5,7 mm
Zahl der Armaturwindungen (Serienschaltung) . . . . .	112 <sup>2)</sup>
Zahl der Kollektorsegmente . . . . .	140
Widerstand zwischen den Bürsten . . . . .	0,0065 Ohm
Gewicht des Armaturdrahtes . . . . .	235 kg
» des Verbinderdrahtes . . . . .	55 kg.

#### Feldmagnete.

Gewicht des Drahtes . . . . .	410 kg
Widerstand warm . . . . .	5,2 Ohm
Anzahl der Pole . . . . .	10
Elektrischer Wirkungsgrad . . . . .	93,1 %
Wirtschaftlicher Wirkungsgrad . . . . .	91,0 %.

Bei normaler Tourenzahl von 300 pro Minute leistet diese Maschine 210 Kilowatt bei einem Wirkungsgrade von nahezu 93,5%.

**Der Radanker von W. Fritsche.** Während Desroziers die Scheibenanker mit Drahtwicklung erdacht und die Konstruktion derselben in sinnreicher Weise durchgeführt hat, gebührt W. Fritsche das Verdienst, einen Scheibenanker mit Stabwicklung von sehr einfacher Bauart, welcher von ihm als Radanker bezeichnet wird, ausgebildet zu haben.<sup>3)</sup>

Die Konstruktionen von W. Fritsche zeigen durchweg das erfolgreiche Bestreben, die Anker nach maschinentechnischen

<sup>1)</sup> The Electrical Engineer, 1893. S. 264.

<sup>2)</sup> Wahrscheinlich 28 Spulen (nach Fig. 320) von je 2 Windungen für jede Armaturhälfte. D. V.

<sup>3)</sup> D. R. P. 57170 v. 16. April 1890.

Gesichtspunkten in solider und einfacher Weise aufzubauen. Der Radanker mit seiner originellen Konstruktion hat sich aus dem in Fig. 303 dargestellten Trommelanker und dem in Fig. 138 schematisch veranschaulichten Scheibenanker entwickelt.

Der Querschnitt einer Radankerdynamo ist in Fig. 327 und die Seitenansicht des Ankers in Fig. 328 gegeben. Der Anker ist in der Form eines Rades mit Nabe, Speichen, Felgen und ohne einen besonderen Eisenkern ausgeführt.

Die Nabe ( $N$ ) besteht im wesentlichen aus zwei Teilen; einer derselben bildet den auf der Welle befestigten Körper und der andere den Flansch, welcher die Speichen in ihrer Lage festhält. Die Ankerwicklung wird aus einer Anzahl schmiedeiserner Stäbe  $S_1 S_2$ , welche für gröfsere Stromstärken, um den Ankerwiderstand zu verkleinern, mit einem Kupferbleche belegt werden, gebildet. Diese Stäbe sind mit einem isolierenden Anstrich versehen, und an ihrem innern Ende werden sie durch die beschriebene Nabe voneinander und gegen die Nabe isoliert festgehalten. An ihren äufseren Enden ist die halbe Zahl der Stäbe mit Kollektorsegmenten verbunden. Die Armaturstäbe, welche den Speichen eines Rades ähnlich sind, dienen somit gleichzeitig als Stromleiter, als Traggerüst, und ersetzen als magnetische Leiter den Ankerkern.

Die einzelnen Stäbe werden nach der Schaltungsregel (vergl. Fig. 139) durch gekrümmte Segmente, metallene Bänder oder Drähte miteinander verbunden, welche mit dem Namen »Verbinder« bezeichnet werden.

Die Verbinder werden so angebracht, dafs sie zwei konzentrische Ringe an den innern und äufsern Enden der Stäbe bilden.

Die Armaturstäbe sind so geformt, dafs die Befestigung der Verbinder und der Kollektorsegmente, sowie das Festhalten derselben in der Nabe bequem erfolgen kann.

Der dargestellte Anker besitzt eine 8polige Wicklung mit

$$8 \cdot 14 + 1 = 113 \text{ Kollektorlamellen und}$$

$$2 \cdot 113 = 226 \text{ Armaturstäben.}$$

Es ist daher für Reihenschaltung

$$y_1 + y_2 = \frac{226 - 2}{4} = 56$$

$$y_1 = 29, \quad y_2 = 27.$$

In Fig. 328 sind sämtliche Stäbe durch radiale Linien angedeutet. Für  $1\frac{1}{2}$  Umgänge sind die Querverbindungen ein-



gezeichnet und die betreffenden Ankerstäbe durch starke Linien hervorgehoben. Denken wir uns die Stäbe von 1 bis 226 fortlaufend numeriert und gehen wir von dem Kollektorsegmente  $a$  mit dem Stabe 1 aus, so ist

Stab	1	mit	1	+	29	=	30
»	30	»	30	+	27	=	57
»	57	»	57	+	29	=	86
»	86	»	86	+	27	=	113
»	113	»	113	+	29	=	142
»	142	»	142	+	27	=	169
»	169	»	169	+	29	=	198
»	198	»	198	+	27	=	225
»	225	»	225	+	29	=	226 + 28, d. h. mit 28

zu verbinden u. s. f.

Die ungeraden Stäbe werden mit einem Kollektorsegmente verbunden, wir erhalten somit 113 Segmente.

Die ungeraden und geraden Stäbe sind verschieden geformt.  $S_1$  (Fig. 327) gibt die Form eines ungeraden, und  $S_2$  die Form eines geraden Stabes. Der Stab  $S_1$  trägt 4 Lappen  $r, r$ , mit welchen die Verbinder vernietet und verlötet werden, bei dem Stabe  $S_2$  erfolgt dagegen diese Befestigung bei  $p, p$  am äußern und innern Ende des Stabes. Die Befestigungsstellen  $p$  und  $r$  müssen radial um soviel gegeneinander versetzt sein, daß die Verbinder im Zwischenraume von  $p$  bis  $r$  Platz finden.

Werden die Verbinder  $q$  nur auf einer Seite des Ankers angeordnet, so erhalten die Stäbe  $S_1$  nur zwei Lappen  $r$  auf der betreffenden Seite.

Jedes Kollektorsegment besteht aus zwei Teilen, einem Messingstücke  $m$  (Fig. 329), welches mit dem Ende der Stäbe  $S_1$  vernietet und verlötet ist, und einem Stücke  $k$  aus Hartkupfer, welches an  $m$  festgeschraubt ist; dadurch wird ein Auswechseln einzelner Lamellen oder das Aufsetzen eines neuen Kollektors wesentlich erleichtert.

Um die geraden Stäbe  $S_2$ , welche in kein Kollektorsegment auslaufen, am äußeren Ende festzuhalten, läßt man dieselben in Isolierstücke  $i$  (Fig. 329) eingreifen, welche zwischen die Messingleisten der benachbarten Stäbe eingeklemmt sind und aus zu Stein erhärtetem Kitt bestehen.

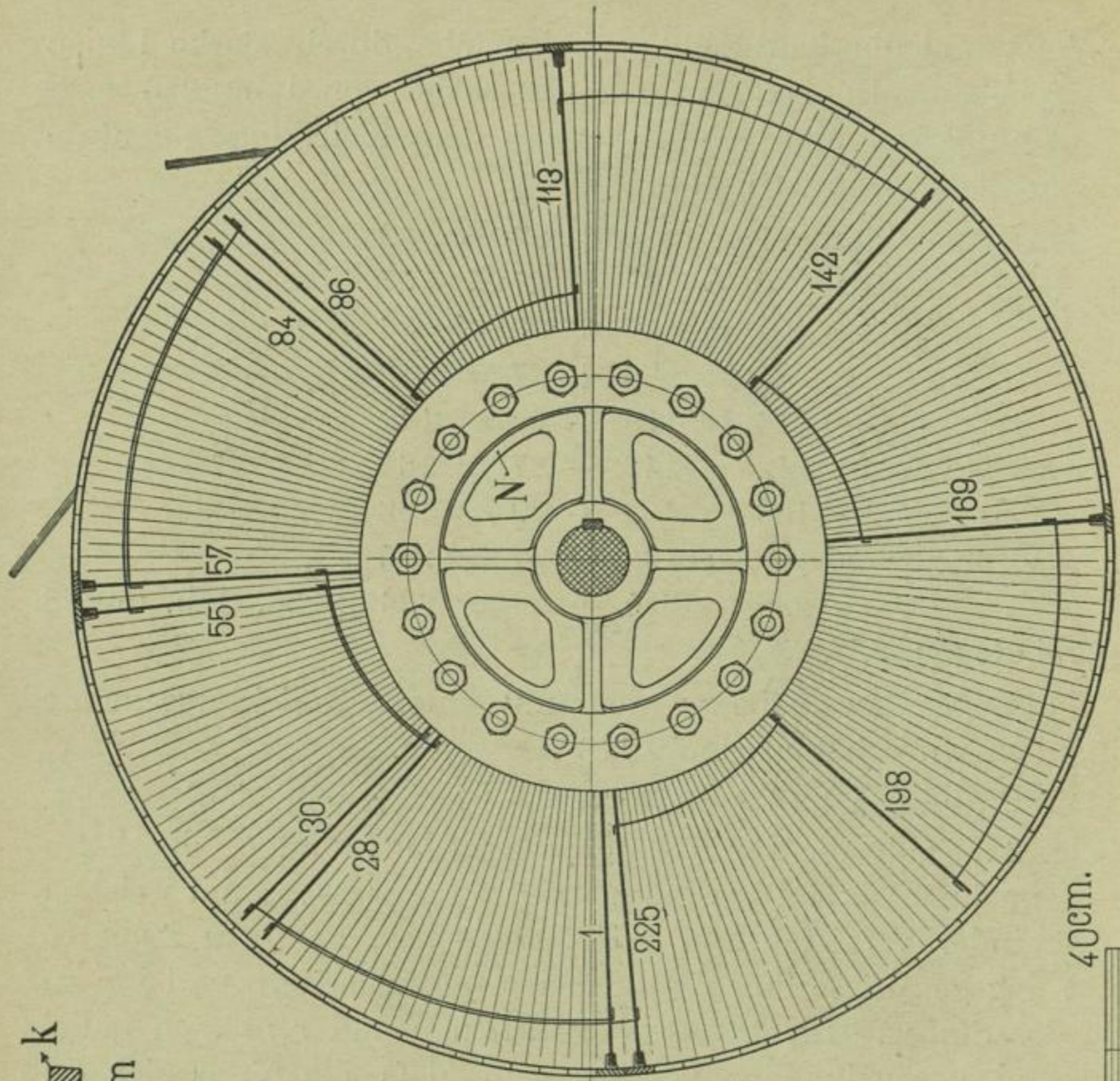


Fig. 328.

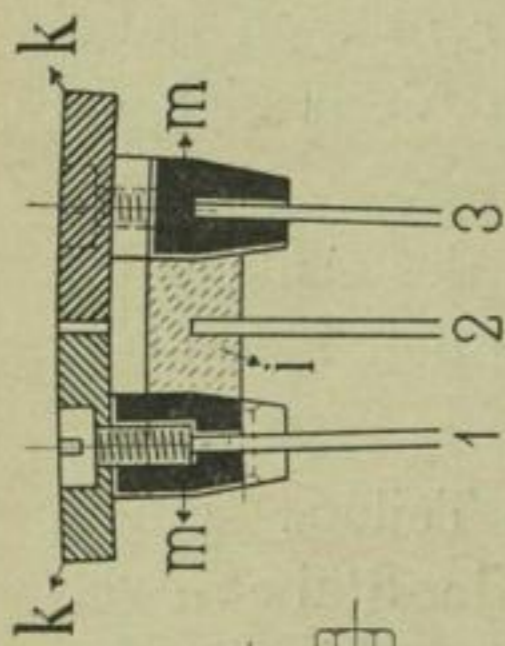


Fig. 329.

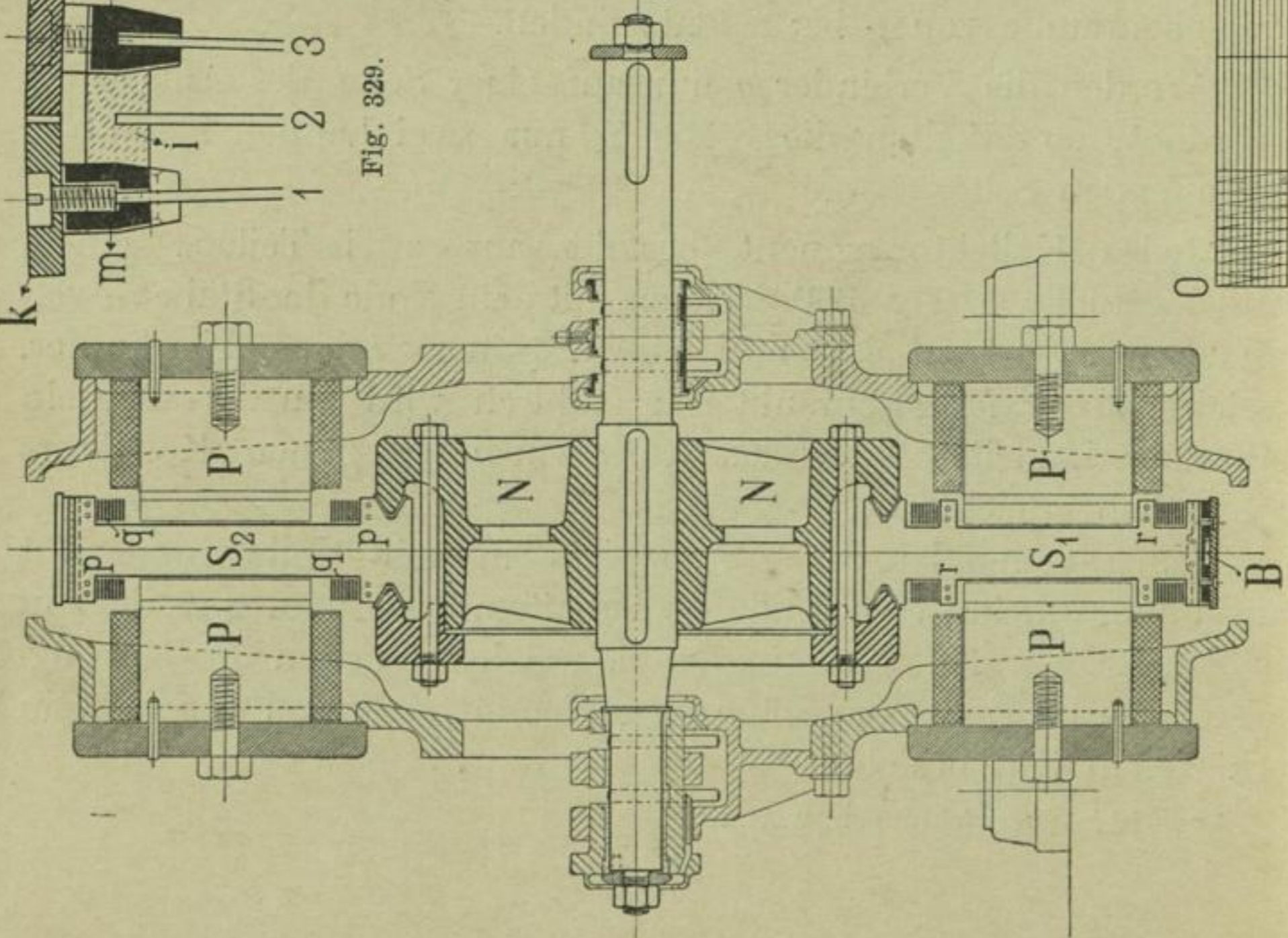
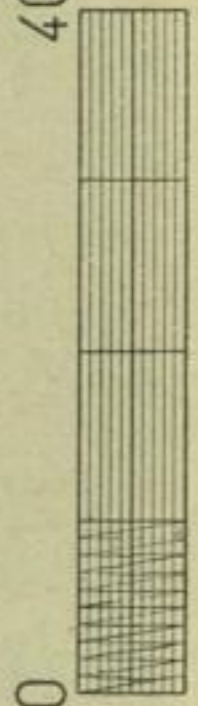


Fig. 327.

40cm.



Damit der Anker gegen tangentielle und centrifugale Kräfte widerstandsfähiger wird, ist am Umfange in einer Nut *B*, zwischen

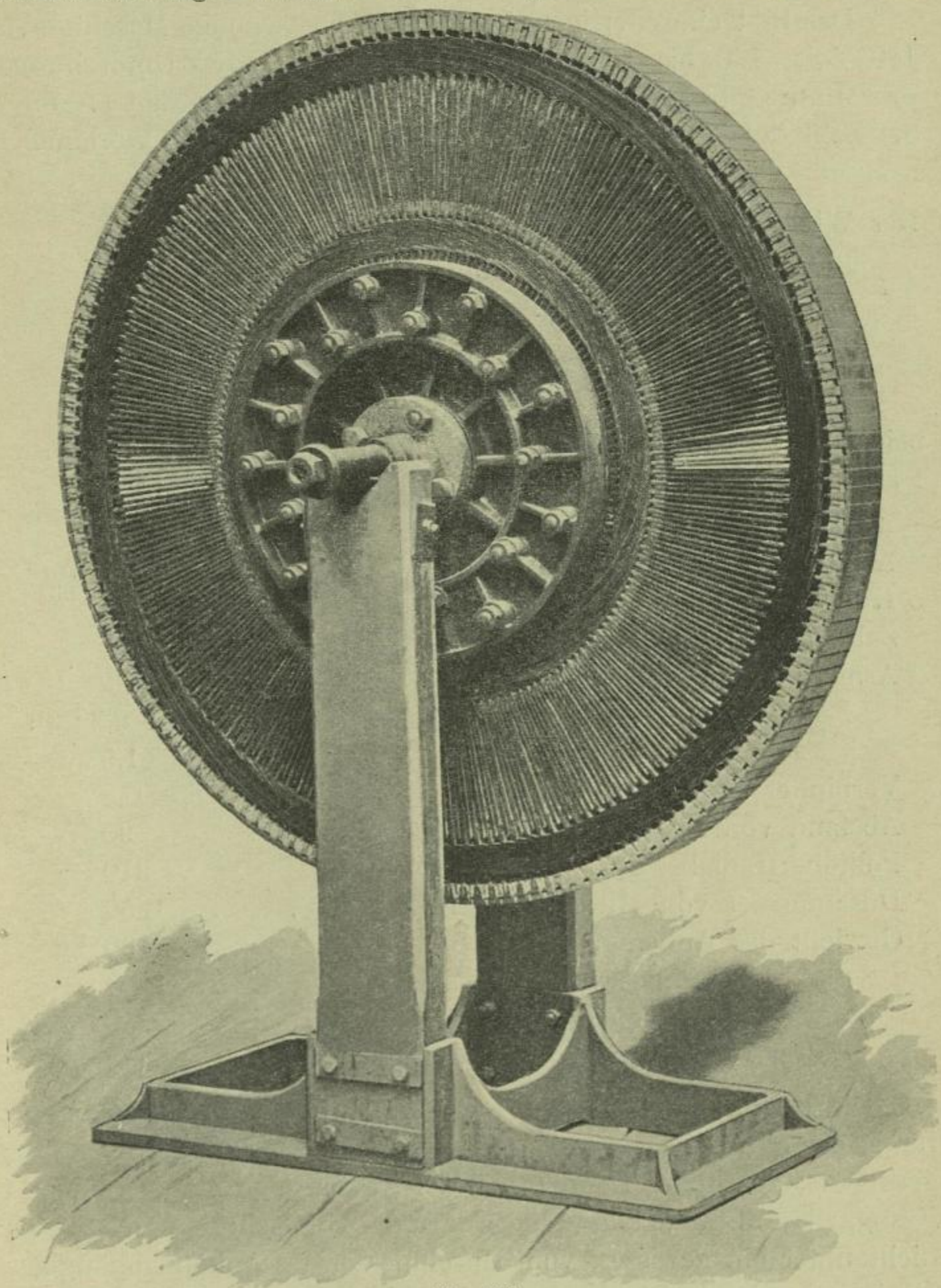


Fig. 330.

den Messingleisten *m* und den Kollektorlamellen, ein Drahtband isoliert aufgewickelt. Es können auch zwei oder mehr Drahtbänder

20\*

in derselben Weise nebeneinander angeordnet werden. Die Lage der Pole des Magnetfeldes ist in der Figur mit  $P$  bezeichnet.

Das Bild eines fertigen Ankers für eine 8polige Maschine von 120 Volt, 150 bis 180 Amper Leistung, bei 180 Umdrehungen pro Minute gibt Fig. 330. Der Ankerdurchmesser beträgt 1100 mm, die Zahl der Ankerstäbe 398 und die Zahl der Kollektorlamellen

$$8 \times 25 - 1 = 199.$$

Der Wicklungsschritt wird

$$y_1 = 49, \quad y_2 = 51.$$

Die Hauptabmessungen eines Radankers für eine Leistung  
von 240 Volt 280 Amper  
oder 300 » 226 »

bei 200 Touren pro Minute sind nach den Angaben der Firma Fritsche & Pischon, Berlin, folgende:

Anzahl der Pole . . . . .	10
Ankerdurchmesser (außen) . . . . .	1880 mm
Kollektorbreite . . . . .	230 »
Zahl der Kollektorlamellen . . . . .	261
Armaturstäbe (von Eisen) Anzahl . . . . .	522
» Breite . . . . .	80 mm
» Dicke . . . . .	$2 \times 1,5$ »
Verbinder . . . . .	$60 \times 0,8$ »
Abstand von zwei gegenüberliegenden Polen . . . . .	90 »
Polhöhe (radial) . . . . .	210 »
Durchmesser von Mitte bis Mitte Pol . . . . .	1350 »
Gewicht des Ankers . . . . .	2330 kg
» » Gehäuses . . . . .	1700 »
» der Magnete . . . . .	2250 »
» » Magnetwicklung . . . . .	390 »

Die Radankerkonstruktion von W. Fritsche eignet sich nur für größere Stromstärken oder für Maschinen mit verhältnismäßig geringen Stabzahlen. Denn damit der Anker noch eine genügende Festigkeit und Steifigkeit erhält, darf der Querschnitt eines Stabes nicht unter ein gewisses, vom Durchmesser des Ankers abhängiges Minimum gehen. Die Leistung der kleinsten Radankermaschine, welche noch gebaut wird, beträgt 3,6 KW. bei 120 Volt und 750 Touren pro Minute.

Der Glockenanker von W. Fritsche.<sup>1)</sup> Die Konstruktion des Glockenankers hat viel verwandtes mit derjenigen des Scheibenankers (Fig. 330). Der Ankerkern wird auch hier durch schmiedeeiserne Stäbe oder Stege gebildet, welche selbst als ein Teil der Ankerwicklung und zur Ableitung der Ströme verwendet werden. Demgemäß ist das magnetische Feld so angeordnet, daß der ganze Verlauf der Kraftlinien im Anker senkrecht zur Bewegungsrichtung steht.

Es muß also der Ankerkern derart zwischen den Nord- und Südpolen der Magnete liegen, daß, ebenso wie bei den Scheibenankern, die gleichnamigen Pole immer auf einer Seite sich befinden und den ungleichnamigen unmittelbar gegenüber angeordnet sind.

Fig. 331 zeigt den Längsschnitt und Fig. 332 den Querschnitt einer mit solchem Anker versehenen Dynamo. Der Anker *A* besitzt die Form einer Glocke und faßt mit seinem hohlcylindrischen, die Wicklung enthaltenden Theile zwischen die Polstücke *NS*, deren Anzahl in dem gewählten Beispiele vier ist.

Der Anker *A* wird aus den eisernen Stegen *a* gebildet, welche, wie der Querschnitt erkennen läßt, miteinander Zwischenräume bilden, die zur Aufnahme der parallel den Stegen und der Ankerwelle verlaufenden Wicklungsdrähte *i* dienen.

Die Stege besitzen die Form eines *Z*. Der eine Schenkel *a*<sub>1</sub> kann außer als Ankerkern noch als Teil der Wicklung dienen, während der andere Schenkel *a*<sub>2</sub> dann an den Kollektor *K* angeschlossen ist und die Stromabgabe vermittelt. Die Wicklungsdrähte *i* treten an den beiden Enden der Schenkel *a*<sub>1</sub> aus den Zwischenräumen der Stege heraus, und die Querverbindungen der Drähte *i* unter sich liegen auf beiden Seiten *c, c* dieser Schenkel. Vor dem Einlegen in die Zwischenräume der Stege werden die Drähte, ähnlich wie bei der Wicklung von Eickemeyer, auf Schablonen zu Spulen mit zwei Abkröpfungen *p*<sub>1</sub> und *p*<sub>2</sub> gewickelt, so daß die Querverbindungen in zwei getrennte Ebenen zu liegen kommen. Fig. 333 gibt die Ansicht einer fertigen Spule. Die Lage der Seiten *i*<sub>1</sub> und *i*<sub>2</sub> einer Spule ist aus Fig. 332 ersichtlich, die Seite *i*<sub>1</sub> liegt am äußern und die Seite *i*<sub>2</sub> am innern Umfange des Ankers, die Querverbindungen *i*<sub>3</sub> derselben sind ebenfalls angedeutet.

<sup>1)</sup> D.R.P. 78075 v. 20. Mai 1893.

Fig. 331.

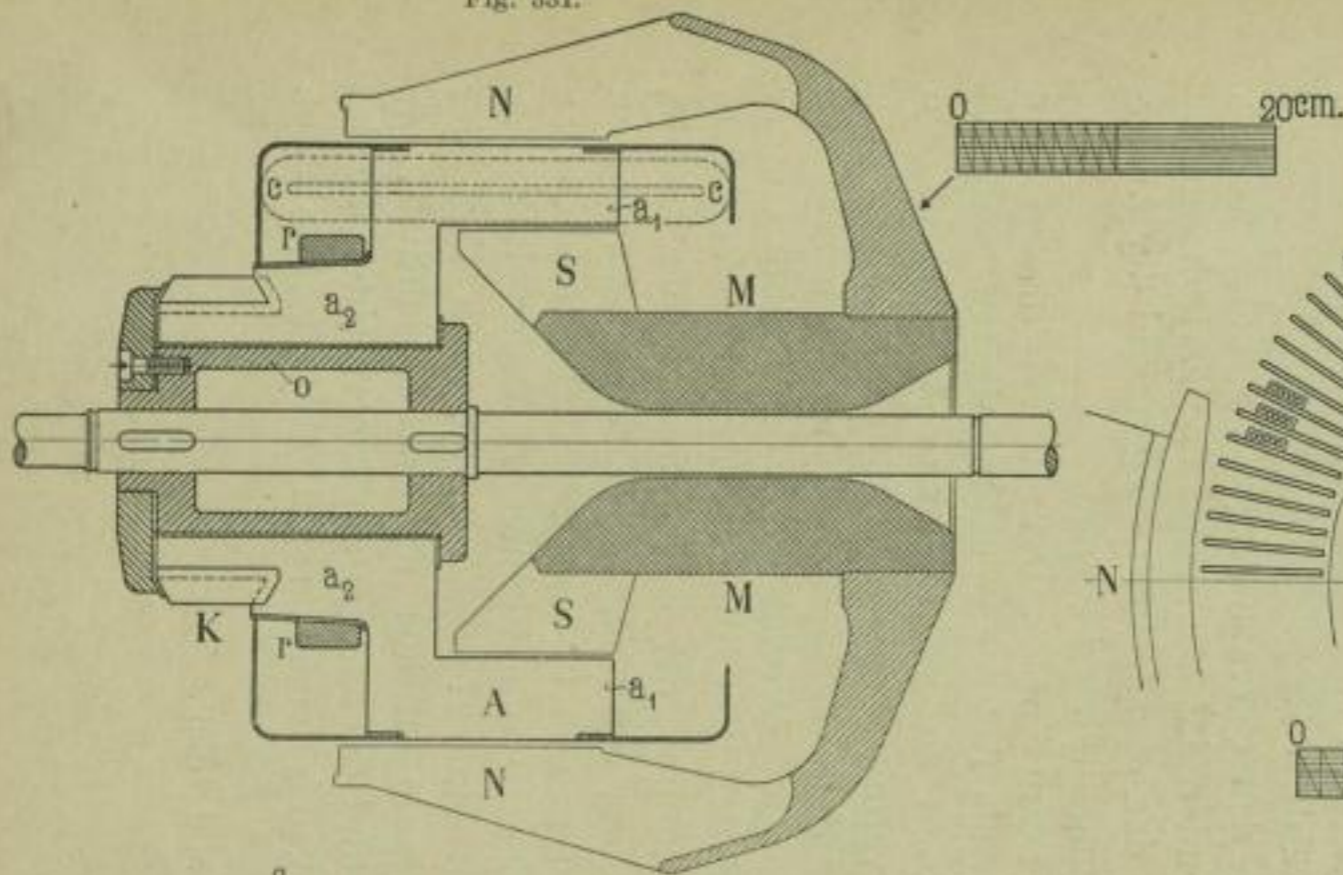


Fig. 332.

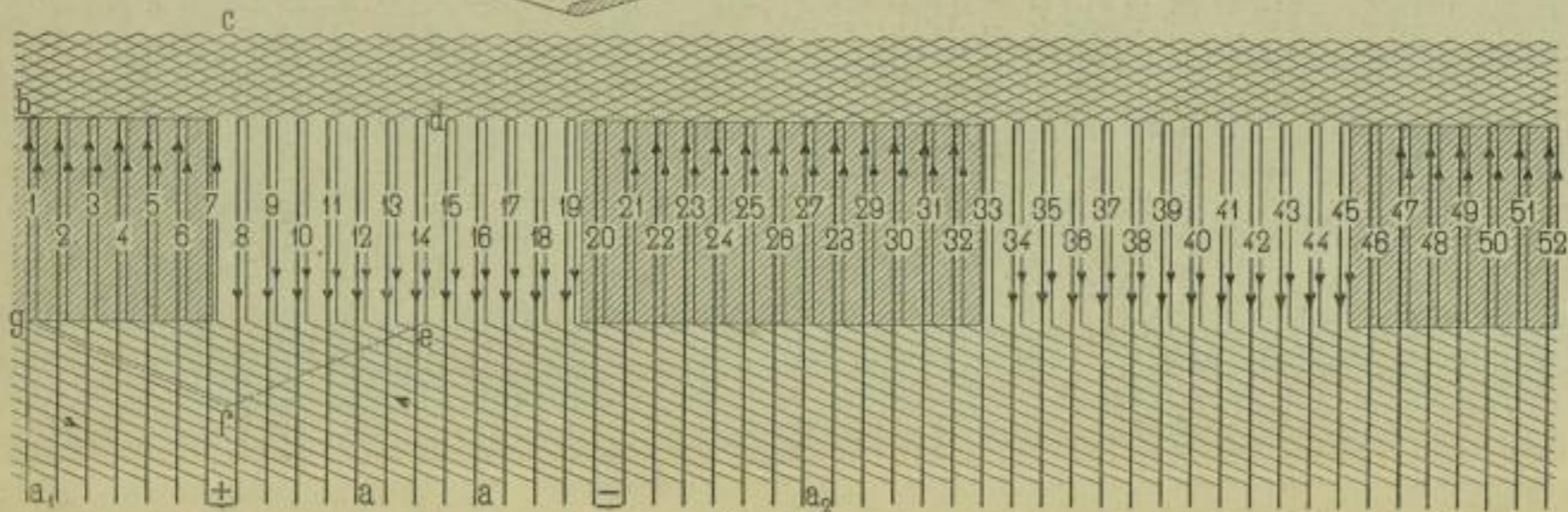
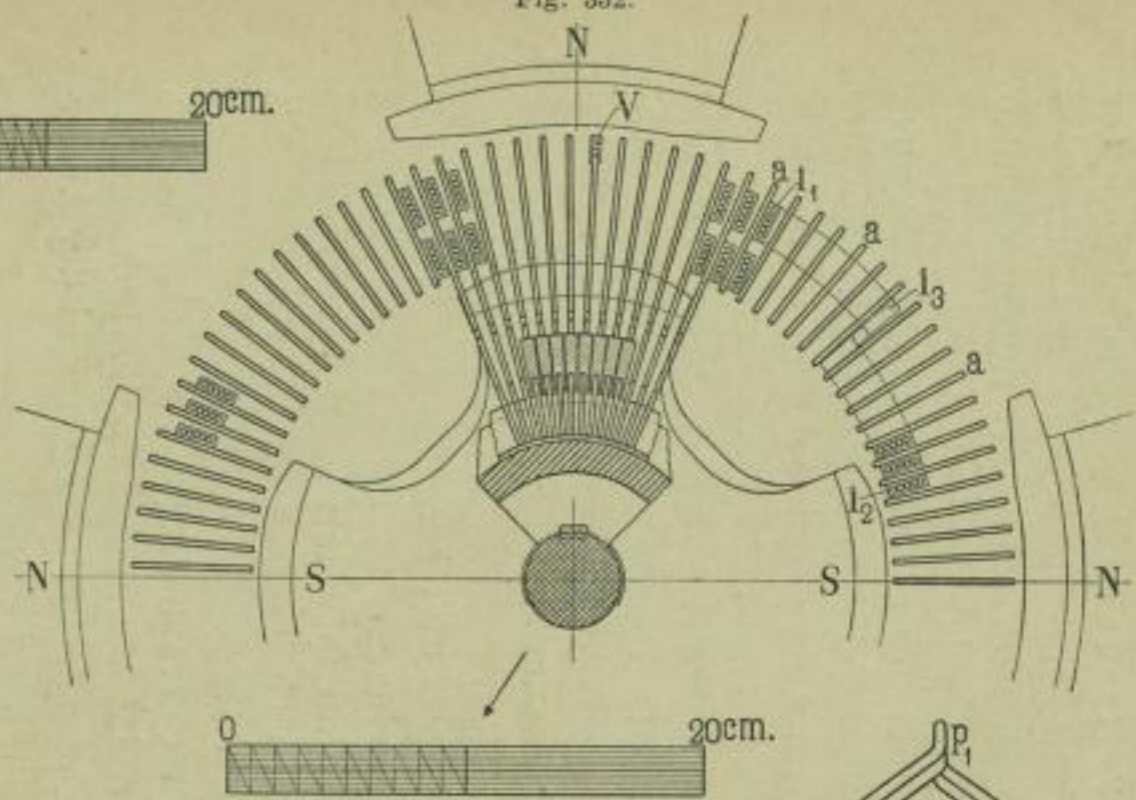


Fig. 334.

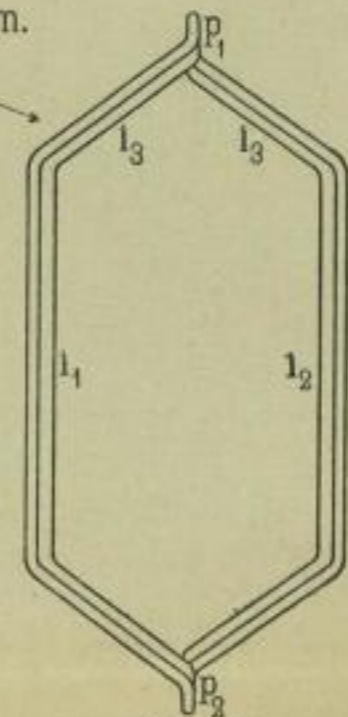


Fig. 333.

Das eine Ende der Spule ist mit dem benachbarten Stabe leitend verbunden, etwa so, wie bei *V* in Fig. 332 angegeben ist, mit dem andern Ende wird der geforderte Wicklungsschritt bis zu dem entsprechenden Kollektorsegmente ausgeführt.

In Fig. 334 ist ein Teil des abgewickelten Mantels des vierpoligen Ankers dargestellt. In diesem Schema sind die Ankerstege *a* durch starke Linien und die Drähte *i* mit den Querverbindungen durch dünne Linien angedeutet.

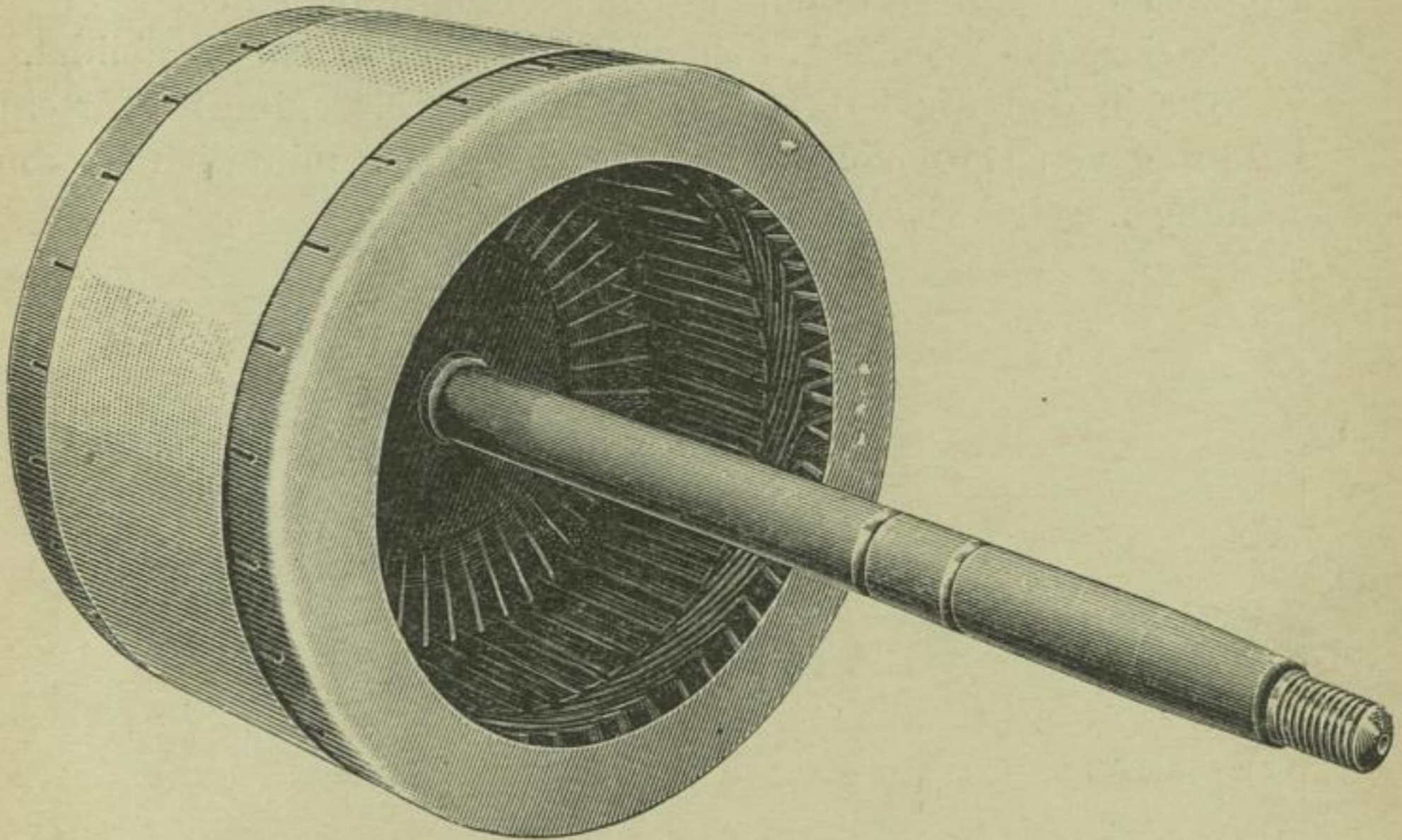


Fig. 335.

Die Zahl der Ankerstege oder Eisenstäbe ist

$$= 8 \cdot 13 - 1 = 103$$

und gleich der Zahl der Kollektorlamellen; das Schema erstreckt sich nur auf 52 Stege. Die Zahl der induzierten Spulenseiten ist  $= 2 \cdot 103 = 206$ , und der Wicklungsschritt wird

$$y_1 + y_2 = \frac{206 + 2}{4} = 52$$

$$y_1 = 25, \quad y_2 = 27.$$

In der Figur sind je zwei Seiten (ein Ankersteg und ein Draht) mit derselben Nummer bezeichnet. Für diese Numerierung wird daher der Schritt

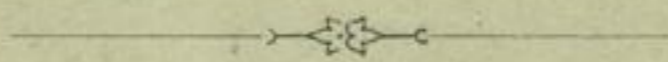
$$y_1 = 13 - \frac{1}{2}, \quad y_2 = 13 + \frac{1}{2}.$$

Gehen wir z. B. von der Lamelle  $a_1$  oder dem Stege  $a_1 b$  aus, so ist der Schritt  $b c d = y_2$ ; der Draht ist bei  $b$  an den Steg  $a_1 b$  angelötet. Man muß sich nun so viele Windungen  $b c d e f g b$  ausgeführt denken, als wir für die Spulen angenommen haben; mit dem Ende der Spule wird dann der Schritt  $y_1 = e a_2$  ausgeführt. Auf diese Weise ist das Schema entworfen worden, nur sind die Querverbindungen  $e f g$  nicht weiter berücksichtigt.

Die eisernen Ankerstege werden durch die Nabe  $o$  und einen aufgezogenen Ring  $r$  isoliert gegeneinander festgehalten.

In Fig. 335 ist die Ansicht eines Glockenankers abgebildet.

Die in den Fig. 331 bis 334 dargestellte Maschine ist für eine Leistung von 110 Volt 36 Amper bei 1400 minutlichen Umdrehungen gebaut.



170





1517



