



75

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299728

x
1744

ID. 8703.

Untersuchung des Drehfeldes eines asynchronen Dreiphasen-Motors mit Phasenanker.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin

genehmigt

vorgelegt von

Max Lieber

Diplom-Ingenieur
aus Düsseldorf.



F. Nr. 25 849

Referent: Prof. Dr. G. Roessler.

Korreferent: Prof. Dr. W. Wedding.

Berlin, Februar 1904.

38

10 27



32260



Handwritten scribbles on the right side of the page.

Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke), Berlin N.

Akc. Nr. 5105/51

Einführung

Meinen lieben Eltern.

Einleitung.

Will man über das Verhalten eines Dreiphasenmotors rechnerische Untersuchungen anstellen, so ist es notwendig, eine Annahme über die Art der Verteilung der magnetischen Kraft am Umfange des Ankers zu machen. Man erhält ein übersichtliches Bild von der Art dieser magnetischen Kraftverteilung durch die graphische Darstellung, indem man die Peripherie des Ankers als Gerade abwickelt und senkrecht zur abgewickelten Geraden, welche die Abszissenachse bildet, die Größe der magnetischen Kräfte abträgt, deren Richtung man durch positive und negative Ordinaten unterscheidet. Die Verbindungslinie der Endpunkte dieser Ordinaten ergibt die charakteristische Feldkurve B_r , wenn B_r die radiale, magnetische Feldintensität an irgend einer Stelle des Ankerumfanges ist. Hat man den Verlauf einer solchen Feldkurve nun rechnerisch zu verfolgen, so muß man ihr eine gewisse Regelmäßigkeit zuschreiben, man muß ihr ein mathematisches Gesetz zu Grunde legen. Für die Praxis genügt es in den meisten Fällen, wenn man für eine solche Kurve einen sinusartigen Verlauf voraussetzt. Wie bei den Gleichstrommaschinen, so hat man auch bei den Wechselstrommaschinen und speziell auch bei den Dreiphasenmotoren für die Feldkurve die Sinusform angenommen, auf Grund deren man seine Berechnungen für die Konstruktion der Maschine angestellt hat. Die vorliegende Untersuchung soll nun zeigen, wie weit diese Annahme in Bezug auf einen modernen Dreiphasenmotor mit der Wirklichkeit übereinstimmt, wie also die Gestalt der Feldkurve tatsächlich beschaffen ist und in welcher Weise sich eine eventuelle Abweichung der ermittelten Form von der Sinusform auf das Verhalten des Motors äußert und erklären läßt.

Schon im Jahre 1895 hat O. S. Bragstad eine Untersuchung des Drehfeldes, welche sich nach dieser Richtung hin erstreckt, in der E.T.Z. veröffentlicht. Als Objekt diente ihm ein älterer Zweiphasenmotor mit 8 Polansätzen. Auf unsere modernen Drehfeldmotoren jedoch können seine Beobachtungen keine Anwendung finden, da heute nicht mehr Drehfeldmotoren mit hervorspringenden Polen gebaut werden, sondern das Polgehäuse den Anker gleichmäßig an allen Stellen umschließt, abgesehen von den engen Schlitzten, welche den zwischen Anker und Gehäuse vorhandenen Luftraum mit den Nuten im Gehäuse verbinden. Den magnetischen Kraftlinien bieten sich daher bei den modernen Motoren weit günstigere Verhältnisse dar, da hier die Kraftlinien des rotierenden Feldes keine großen Luftzwischenräume, welche zwischen den Polen der alten Modelle vorhanden sind, zu durchsetzen haben. Ferner bezieht sich die Untersuchung von Bragstad nur auf den offenen Anker und auf den Leerlauf, also auf die besonderen Fälle, daß keine oder nur eine geringe Ankerreaktion stattfindet. Auch halte ich seine Untersuchung nicht für einwandfrei, da er bei der Bestimmung der Veränderlichkeit der gesamten Kraftlinienzahl die für das Drehfeld erforderlichen Wechselströme durch zwei Gleichströme ersetzte, welche eine derartige Abgleichung erhielten, daß sie bestimmten Positionen zweier um 90° gegeneinander verschobenen Sinusströme entsprachen. Durch diese Anordnung bleibt die Wirkung der Hysteresis unberücksichtigt. Aus den soeben erörterten Gründen halte ich es daher nicht für angebracht, auf das Resultat seiner Untersuchung näher zurückzukommen.

Das Meßverfahren.

Theoretische Grundlage.

Die theoretische Grundlage des Meßverfahrens ist die folgende: Die elektromotorische Kraft, welche in einem achsialen, äußeren Ankerdraht momentan induziert wird, ist proportional der radialen Feldintensität B_r ; die Kurve für die von der Lage des Ankerdrahtes abhängige Veränderung dieser elektromotorischen Kraft gibt also zugleich ein Bild von der Verteilung der radialen, magnetischen Kraft, d. h. von der Gestalt der Kurve B_r , und mit der Bestimmung der momentan auftretenden E.M.Ke. in einem achsialen, äußeren Draht an verschiedenen Stellen der inneren Peripherie des primären Gehäuses ist auch die Gestalt der Kurve B_r festgelegt. Rechnerisch läßt sich die maximale, induzierte E.M.K. aus der Sternspannung bestimmen. Es ist nämlich:

$$e_{\max} = \frac{E_p \cdot \sqrt{2}}{n_1 \cdot f},$$

worin E_p die Sternspannung, e_{\max} die maximale, induzierte E.M.K. eines achsialen Drahtes, n_1 die primäre Drahtzahl einer Phase ist. f bedeutet einen Korrektionsfaktor, welcher bekanntlich durch die endliche Breite einer Phasenentwicklung bedingt ist und bei Dreiphasenwicklung den Wert 0,955 hat; $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ist ein Quotient, welcher unter der Annahme berechnet ist, daß die Spannungskurve sinusartig verläuft, und ist gleich dem Verhältnis des Effektivwertes zum Maximalwert der E.M.K. Bei dem untersuchten Motor, welcher für eine Spannung von 110 Volt bestimmt ist, sind die Primärphasen in Sternschaltung angeordnet, es beträgt mithin die Sternspannung $\frac{110}{\sqrt{3}} = 63,5$ Volt; die primäre Windungszahl pro Phase ist gleich 96.

Setzt man diese Werte in die obige Gleichung ein, so erhält man für die maximale E.M.K. einer Windung:

$$e_{\max} = \frac{63,5 \cdot 1,414}{96 \cdot 0,955} = 0,98 \text{ Volt.}$$

Zur praktischen Bestimmung der E.M.K. benutzte ich Hilfsspulen zu 7 Windungen, welche so nahe an einander lagen, daß infolge der geringen Spulenbreite der Spulenfaktor gleich 1 wurde. Die induzierte E.M.K. in der ganzen Spule muß demnach $7 \cdot 0,98 \text{ Volt} = 6,86 \text{ Volt}$ betragen. Der Spulenfaktor f in obiger Gleichung ist schon unter der Annahme berechnet, daß B_r sinusartig um den Anker verteilt ist. Aus meinen Versuchen (s. Tabelle 10, Anhang I*) ergibt sich allerdings in der Hilfsspule eine maximale E.M.K. von nur 6,49 Volt, welche also etwas kleiner ist als die durch die Rechnung gefundene E.M.K. Dieser Unterschied hat nicht zum geringsten Teil seinen Grund in obiger Annahme.

Da sich wegen der Rotation des Drehfeldes die Größe der magnetischen Kräfte an irgend einer Stelle des Ankerumfangs fortwährend ändert, ist es erforderlich, die Verteilung der magnetischen Kraft beim Dreiphasenmotor in dem Augenblick zu betrachten, welcher einem bestimmten Moment in der Periode des Primärstromes entspricht. Man kann diesen Augenblick praktisch durch einen Momentkontakt festlegen, welcher sich auf der Achse des Generators befindet, denn in entsprechenden Punkten gleicher Phase des Primärstromes muß die Verteilung der magnetischen Kraft die gleiche sein.

Die Meßanordnung und kurze Beschreibung des untersuchten Motors.

Zur Bestimmung der in den von mir benutzten Hilfsspulen induzierten E.M.K. wurde ein bekanntes Kompensationsverfahren angeordnet. Das Schaltungsschema hierzu ist aus Figur 1, Tafel I zu ersehen. Es sind hier nur die wichtigsten Hilfs-

*) Es sei darauf hingewiesen, daß sämtliche den Ergebnissen zu Grunde liegenden Werte in den Tabellen des Anhanges I zusammengestellt und die Erläuterungsskizzen, sowie die graphischen Darstellungen auf den Tafeln des Anhanges II enthalten sind.

instrumente eingezeichnet. M bezeichnet den Motor, die Enden einer Hilfsspule H führen zu einem Umschalter U. Von hier aus geht eine Leitung zu dem oben erwähnten Momentkontakt, einer Joubertschen Scheibe, welche auf der Welle des Drehstromgenerators angebracht ist, und weiterhin zu einem empfindlichen Galvanometer G. Die zweite Klemme des Galvanometers steht mit einem Ende c des veränderlichen Widerstandes c—d in Verbindung, während das Ende d dieses Widerstandes zu dem Umschalter U zurückführt. Der Widerstand c—d ist ein Teil des veränderlichen Widerstandes a—b, die Enden des letzteren sind direkt mit einer Akkumulatorenbatterie von 8 Volt verbunden, welche die in der Hilfsspule induzierte E.M.K. kompensieren soll. Zwischen c und d ist schließlich ein Präzisionsvoltmeter V geschaltet. Letzteres ermöglicht die Ablesung der Spannung, welche gleich der momentanen E.M.K. der Hilfsspule ist, wenn das Galvanometer keinen Ausschlag zeigt. Ferner waren besondere Einrichtungen getroffen, um für die Dauer der Versuche mit Drehstrom von möglichst konstanter Spannung und Periodenzahl zu arbeiten.

Zur Verfügung stand mir ein Dreiphasenmotor mit Phasenanker der Firma Max Schorch & Cie. in Rheydt, an welchem ich sämtliche Versuche der vorliegenden Arbeit ausgeführt habe. Das Wickelungsschema des Motors geht aus Figur 2 der Tafel I hervor, wo die drei Phasen durch die römischen Zahlen I, II und III gekennzeichnet sind. Die äußeren, größeren Kreise stellen die 36 Nuten des primären Gehäuses dar, in welchem je 8 Drähte untergebracht sind, wie Figur 3, Tafel I zeigt; die 48 kleineren Kreise im Inneren bedeuten die Nuten des Ankers, in welchen 12 Drähte, je 2 parallel geschaltet, liegen. Zur Messung dienten mir 19 Hilfsspulen, welche ich in den durch die Zahlen 1 bis 19 markierten Nuten (s. Figur 2, Tafel I) des Primärgehäuses unterbrachte, und zwar so, daß die Spulen sich möglichst nahe dem Ankerumfang und außerdem möglichst gleich weit von einander entfernt befanden. Ich legte die Hilfsspulen um das Primärgehäuse und nicht um den Anker, weil mir letzteres einerseits aus Mangel an Platz nicht möglich war und weil ich andererseits zunächst die Absicht hatte, die Versuche bei laufendem Anker anzustellen, wovon ich jedoch aus später zu erörternden Gründen absehen mußte.

Die Lage der Hilfsspulen in den Nuten ist durch die kleineren, schwarzen Kreise der Figur 3, Tafel I ersichtlich.

Der Motor ist bestimmt für eine Leistung von 5 P.S. bei einer Stromstärke von 28 Amp. und einer verketteten Spannung von 110 Volt. Er ist für 1500 Touren bei Leerlauf gebaut und vierpolig konstruiert, weshalb die Periodenzahl des Verbrauchstromes 50 pro Sekunde betragen muß.

Versuche bei offenem Anker.

Bei meinem ersten Versuch war der Anker des Motors offen, befand sich daher in Ruhe. Aus diesem Grunde fielen die sonst bei Leerlauf vorhandenen mechanischen Verluste fort. Dieser Versuch sei als ideeller Leerlaufversuch bezeichnet. Als Stromquelle benutzte ich dabei einen Schuckertschen Umformer, welcher mir eine verkettete Spannung von 68 Volt und einen Strom von 7,5 Amp. lieferte. Da es für die Untersuchung von Wert ist, die Form der benutzten Spannungs- und Stromkurve zu kennen, so habe ich dieselbe für alle bei den verschiedenen Versuchen benutzten Kurven bestimmt und auf Tafel II graphisch veranschaulicht. Die Spannungskurven sind ausgezogen, die Stromkurven dagegen punktiert gezeichnet. Diese Kurven wurden durch dasselbe Kompensationsverfahren ermittelt. Die Werte für die im ersten Versuch benutzten Spannungs- und Stromkurven sind in den Tabellen 1 und 2 niedergelegt, und in Figur 1, Tafel II sind die Kurven zur Darstellung gebracht.

Die Resultate dieses Versuches sind in der Tabelle 3 enthalten und auf Tafel III graphisch zum Ausdruck gebracht. Es wurden 10 Kurven aufgenommen, welche ich dadurch erhielt, daß ich als Abszissenachse die den primären Nuten 1 bis 19 gegenüberliegende Hälfte der Ankerperipherie in der Abwicklung bildete und an denjenigen Stellen der Abszissen-

achse, welche den in den 19 Nuten liegenden Hilfsspulen gegenüber liegen, die in den letzteren gemessenen E.M.Ke. als Ordinaten auftrug. Zeitlich liegen die Kurven um je $\frac{1}{18}$ einer Periode, also um je 20° auseinander, sie wandern der Rotation des Drehfeldes entsprechend von links nach rechts fort, und Kurve 1 ist genau gegen Kurve 10 zeitlich um eine halbe Periode verschoben.

In den Tabellen ist die Zeitdifferenz in der ersten senkrechten Kolonne angegeben und zwar in Winkelmaß ausgedrückt, sodaß 360° einer vollen Periode entsprechen. In Höhe dieses Zeitwinkels sind die zugehörigen Werte der einzelnen Kurven der graphischen Darstellung entsprechend nebeneinander angeordnet und bedeuten die gemessenen elektromotorischen Kräfte in Volt. Die Zahlen in der ersten horizontalen Kolonne bedeuten die Nummern der Hilfsspulen 1 bis 19. In der letzten senkrechten Kolonne ist der Flächeninhalt einer jeden Kurve angegeben.

Unter dem Flächeninhalt der Kurve soll diejenige Fläche verstanden sein, welche von der Abszissenachse und dem zwei benachbarte, entgegengesetzte Pole umfassenden Kurvenzug eingeschlossen wird. Dies ist wegen der durchschnittlich etwa 1% betragenden Ungleichheit zweier entgegengesetzter Teile der Kurve geschehen, um dadurch dem Mittelwert näher zu kommen. Der Wert dieser Fläche entspricht also der doppelten Kraftlinienzahl und kann ohne weiteres beibehalten werden, da es nur auf einen Vergleich der Werte ankommt.

Die graphische Darstellung dieser bei Leerlauf erhaltenen Kurven zeigt, daß sie glatt verlaufen und von der Sinusform abweichen, daß diese Abweichung aber nicht erheblich ist. Die Form der Kurven ändert sich mit der Zeit, wie das Aussehen der von 20° zu 20° aufgenommenen Kurven zeigt, nach je 60° jedoch nehmen die Kurven fast wieder die gleiche Gestalt an. Natürlich ist der Übergang in der Form von 20° zu 20° kein plötzlicher, es liegen vielmehr innerhalb dieses Zeitraumes noch unendlich viele Zwischenformen.

Mit der Form ändert sich auch der Flächeninhalt der Kurven, welcher ein Maß für die gesamte Kraftlinienzahl bildet.

Die Schwankungen im Flächeninhalt zeigen sich deutlich in den unteren Figuren der Tafeln III und IIIa, in welchen

der planimetrisch bestimmte Flächeninhalt einer jeden Kurve als Ordinate der Reihe nach abgetragen ist. Die Maxima der durch die Endpunkte der Ordinaten gelegten Kurven liegen in Abständen von 60° auseinander, ebenso die Minima. Auf die Erklärung dieser Formveränderung und der damit verbundenen Schwankungen komme ich am Ende meiner Arbeit zurück.

Versuche bei belastetem Anker.

Halbe Belastung.

Die folgenden Versuche, bei welchen der Motor belastet wurde, beabsichtigte ich anfangs bei laufendem Anker anzustellen; es stellte sich jedoch bald heraus, daß ich hiervon absehen mußte, da ich bei der Kompensation das Galvanometer nicht in Ruhe bringen konnte; ich erhielt vielmehr bald größere, bald geringere Ausschläge. Die momentan auftretende E.M.K. der Hilfsspule war daher nicht mehr konstant. Dies ist teils eine Folge der ungenauen Zentrierung des Ankers, nämlich der hiervon hervorgerufenen Veränderlichkeit des Luftzwischenraumes zwischen Anker und Gehäuse bei laufendem Anker, teils eine Folge des auftretenden Ankerstromes, wie ich später noch näher zeigen werde. Ich mußte also zu einem anderen Mittel greifen, um die weiteren Versuche bei verschiedenen Belastungen anstellen zu können. Zu diesem Zweck klemmte ich den Anker fest und schaltete zwischen die 3 Phasen Widerstände von je 1,5 Ohm ein. Ich erhielt so einen Primärstrom von 21,2 Amp. bei einer verketteten Spannung von 65 Volt, was ungefähr der Hälfte der normalen Belastung des Motors, also etwa $2\frac{1}{2}$ P.S. entspricht. Die Werte für die Strom- und Spannungskurve sind wieder in den Tabellen 1a und 2a enthalten; in Figur 2, Tafel II sind die Kurven graphisch dargestellt.

Bei der Messung ergab sich jetzt die Tatsache, daß die induzierte E.M.K. in der Hilfsspule konstant war und ich infolge-

dessen eine genaue Ablesung erzielen konnte; die erhaltenen Werte dieser Messung sind in Tabelle 4 zusammengestellt und zwar nach demselben Schema wie in Tabelle 3.

Bei einem Vergleich der graphischen Darstellung auf Tafel IV mit der sich auf den Leerlauf beziehenden Darstellung auf Tafel III sieht man sofort den erheblichen Unterschied in der Gestalt der Kurven. Die Abweichung von der Sinusform ist bei dieser Belastung beträchtlich geworden und tritt jetzt deutlich hervor. An den mit den Zahlen 3, 6, 9, 12, 15 u. s. w. versehenen Stellen, an welchen sich die betreffenden Nuten des Primärgehäuses befinden, weisen die Kurven starke Erhöhungen auf. Die Gestalt der Kurven ändert sich mit der Zeit, nach je 20° hat die Kurve ein vollständig anderes Aussehen und nach je 60° , also nach $\frac{1}{6}$ Periode nimmt die Kurve nahezu dieselbe Gestalt wieder an. In der untenstehenden Figur (Tafel IV) sind die Schwankungen im Flächeninhalt der Kurven veranschaulicht, welche regelmäßig verlaufen, Maxima und Minima treten nach je 60° auf. Während der Unterschied des maximalen und minimalen Flächeninhalts bei Leerlauf im Mittel 4% beträgt, ist er bei dieser Belastung von $2\frac{1}{2}$ P.S. jetzt auf 5% gestiegen. Eine unmittelbare Folge dieser Schwankungen ist die Veränderlichkeit des Drehmomentes. Da der Mittelwert des Drehmomentes nach der Formel*):

$$M(D_r) = \frac{r^2 \cdot l^2}{W} (\omega_1 - \omega_2) \cdot M(B_r^2)$$

proportional ist dem Mittelwert der Quadratwerte von B_r , so habe ich in Tabelle 5 die Werte für die Kurven von B_r^2 berechnet und auf Tafel V graphisch aufgetragen. Die Größen des Flächeninhalts dieser Kurven bilden ein Maß für das Drehmoment und sind in der untenstehenden Figur als Ordinaten aufgezeichnet. Die durch die Endpunkte der Ordinaten gelegte Kurve gibt ein Bild von der Veränderlichkeit des Drehmomentes. Es treten also ähnliche regelmäßige Schwankungen beim Drehmoment auf, wie bei der gesamten Kraftlinienzahl; Maxima und Minima liegen wiederum in Abständen von 60° . Die Schwankungen des Drehmomentes sind indessen größer als die vorher

*) Roessler, Elektromotoren für Wechselstrom und Drehstrom.

betrachteten Schwankungen, und es beträgt der Unterschied des Maximum und Minimum im Mittel 6,3% des Maximalinhaltes.

Bei den bisher besprochenen Versuchen hatte der Anker eine ganz bestimmte, unveränderliche Stellung eingenommen. Die Inkonstanz der in den Hilfsspulen induzierten E.M.K., welche sich bei laufendem Anker in einem bestimmten Moment der Periode ergab, veranlaßte mich, zu untersuchen, ob vielleicht die Stellung des Ankers einen Einfluß auf die Gestalt der Kurve B_r auszuüben imstande wäre.

Zu diesem Zweck machte ich folgenden Versuch. Ich nahm für einen bestimmten Moment der Periode bei verschiedenen Stellungen des Ankers 10 Kurven für B_r auf und zwar drehte ich den Anker bei der Aufnahme jeder folgenden Kurve um 10° . Tabelle 6 enthält die numerischen Werte dieses Versuches. In der ersten senkrechten Kolonne der Tabelle ist der Winkel angegeben, um welchen der Anker gedreht wurde, die erste horizontale Kolonne enthält die Zahlen der Hilfsspulen 1 bis 19, die übrigen horizontalen Kolonnen geben wieder die Zahlen der in den Hilfsspulen gemessenen E.M.K. in Volt an und in der letzten, senkrechten Kolonne ist der Flächeninhalt dieser Kurven angegeben. Tafel VI veranschaulicht die Vorgänge graphisch und zeigt, daß sich bei Drehung des Ankers die Gestalt der Kurven wesentlich ändert, trotzdem die Stromverhältnisse in der primären Wickelung für diesen Versuch konstant bleiben. Nach einer Ankerdrehung von je 30° nehmen die Kurven wieder dieselbe Gestalt an. Wie die untenstehende, die Änderung des Flächeninhaltes darstellende Figur zeigt, treten auch hier regelmäßige Schwankungen auf, welche indessen bedeutend geringer sind, als die vorher betrachteten. Die Deutlichkeit dieser Schwankungen wird dadurch beeinträchtigt, daß die Wellenlinie absteigend verläuft. Diese Erscheinung rührt daher, daß der Anker nicht genau zentrisch gelagert ist und der Luftzwischenraum durch die Drehung des Ankers an der oberen Peripheriehälfte allmählich größer wurde. Ich konnte dies durch einen kleinen Keil, den ich zwischen Gehäuse und Anker einschob, nachweisen. Eine genaue Messung dieser Veränderlichkeit des Luftzwischenraumes, welche man vielleicht durch Anbringung eines feinen Maßstabes auf einem sorgfältig

bearbeiteten Metallkeil hätte erzielen können, hielt ich wegen der durch die Ankerbleche hervorgerufenen Unebenheit der Ankeroberfläche für zwecklos.

Hätte ich die Hilfsspulen um die ganze Peripherie gewickelt und die Kurven auch für den unteren Teil des Umfanges noch ergänzt, so hätte sich der Unterschied ausgeglichen, die Wellenlinie wäre mithin horizontal verlaufen. Diese von der Stellung des Ankers abhängigen Schwankungen bilden zum Teil den Grund für die Inkonstanz der in den Hilfsspulen momentan auftretenden E.M.Ke. bei laufendem Anker.

Die Größenänderung des Drehmomentes erkennt man aus der planimetrischen Bestimmung des Flächeninhalts der Kurven B_r^2 . Die hierfür gefundenen Werte sind in Tabelle 7 enthalten und auf Tafel VII graphisch aufgetragen.

Normale Belastung.

Der bisher benutzte Umformer reichte leider nicht aus, um den Motor voll belasten zu können; ich mußte mich aber zu Anfang meiner Messungen mit ihm begnügen, da mir kein größeres Aggregat zur Verfügung stand. Für die normale Belastung bediente ich mich einer Drehstrommaschine der A.E.G., welche die auf Tafel II Fig. 3 dargestellten Kurven für die Spannungen und Stromstärken bei Leerlauf und voller Belastung aufwies, die hierzu gehörigen Ordinatenwerte sind in den Tabellen 8a und 8b enthalten.

Vor dem Übergang zur normalen Belastung nahm ich 4 Feldkurven für Leerlauf auf, um einen Vergleich mit den zuerst erhaltenen Kurven anstellen zu können. Die Feldkurven, welche die A.E.G.-Maschine ergab, sind auf Tafel XV, Figur 1 bis 4 dargestellt; sie weichen nur ganz unerheblich von den früher gewonnenen Kurven des Schuckertschen Umformers ab, sodaß die mit beiden Generatoren erhaltenen Ergebnisse unmittelbar vergleichbar sind.

Die Versuche bei normaler Belastung des Motors wurden bei einer verketteten Spannung von 110 Volt und einem Strom von 28 Amp. ausgeführt. Der Anker war wieder festgeklemmt und es waren der normalen Belastung entsprechend zwischen die drei Phasen Widerstände von je 2,17 Ohm eingeschaltet. Die

Feldkurven wurden zunächst bei einer bestimmten Ankerstellung in zeitlicher Aufeinanderfolge zusammengestellt.

Die Zeitdifferenz zwischen 2 Kurven beträgt wieder $\frac{1}{18}$ Periode oder 20° , was $\frac{1}{900}$ Sekunde ausmacht. Diese Kurven ergeben sich aus den in Tabelle 8 enthaltenen Werten, die graphische Darstellung enthält Tafel VIII, die Kurven B_r^2 ergeben sich aus den in Tabelle 9 enthaltenen Werten und sind graphisch auf Tafel IX dargestellt.

Die Schwankungen der gesamten Kraftlinienzahl sowie die des Drehmomentes, welche auf den Tafeln wieder durch die unteren Figuren veranschaulicht werden, nehmen einen regelmäßigen Verlauf, sie sind aber erheblich größer, als diejenigen bei halber Belastung, in welchem Falle die verkettete Spannung nur 65 Volt betrug. Die Schwankungen in der gesamten Kraftlinienzahl betragen jetzt im Mittel 10% , diejenigen in der Größe des Drehmomentes im Mittel 14% .

Die Kurven, welche ich bei verschiedenen Ankerstellungen erhalten habe und welche zeitlich zusammenfallen, sind in den in Tabelle 10 zusammengestellten Werten enthalten und auf Tafel X dargestellt, die entsprechenden Kurven für B_r^2 enthalten Tabelle 11 und Tafel XI.

Diese Versuche bei normaler Belastung führen zu denselben charakteristischen Erscheinungen, welche vorher bei halber Belastung gefunden sind, die Schwankungen der zeitlich aufeinanderfolgenden Kurven sind indessen erheblich stärker geworden.

Um festzustellen, zu welchem Ergebnis ich gekommen wäre, wenn ich die Hilfsspulen um den Anker gewickelt hätte, legte ich eine Hilfsspule zu 4 Windungen um den Anker und gelangte zu den Kurven, welche auf Tafel I, Figur 4 bis 6 dargestellt und deren Ordinatenwerte in den Tabellen 12, 13 und 14 enthalten sind. Die Kurven Figur 4 wurden bei Leerlauf ermittelt, die ausgezogene Kurve stellt den zeitlichen Verlauf der E.M.K. einer primären Hilfsspule, die punktierte Kurve den zeitlichen Verlauf der E.M.K. der neuen, um den Anker gelegten Hilfsspule dar, welche sich der primären Hilfsspule genau gegenüber befand. Da die neue Hilfsspule nur 4 Windungen enthält, die primäre Hilfsspule nach früherer Angabe aus 7 Windungen besteht, so sind die Werte der in der neuen Hilfs-

spule induzierten E.M.K. sämtlich mit dem Faktor 1,75 multipliziert. Die einzelnen Messungen umfassen insgesamt eine Zeitdauer von einer Periode und wurden von 20° zu 20° ausgeführt. Eine ähnliche Kurve (Figur 5) wurde bei normaler Belastung erhalten. Man sieht, daß in beiden Fällen die schraffierte Kurve der ausgezogenen ähnlich ist, daß sie zeitlich nacheilt und ihre Ordinaten um einen geringen Betrag kleiner als die der ausgezogenen Kurve sind, ein Umstand, der von der Streuung herrührt.

Kurve Figur 6, welche ebenfalls bei normaler Belastung aufgenommen ist, stellt die Verhältnisse in etwas anderer Weise dar. Bei ihrer Aufnahme wurden die einzelnen Messungen in demselben Moment der Periode, aber bei verschiedenen Ankerstellungen ausgeführt, derart, daß die Meßspule des Ankers nacheinander den Meßspulen des primären Gehäuses gegenübergestellt wurde; mithin eilt also die schraffierte Kurve der ausgezogenen nach. Der Mittelwert der schraffierten Kurve Figur 5 ist um 2,32%, derjenige der Kurve Figur 6 um 2,49% kleiner, als der Mittelwert der zugehörigen ausgezogenen Kurve, während bei Leerlauf (Figur 4) nur ein Unterschied in den Mittelwerten von 0,92% vorhanden ist. Da nun bei laufendem Anker wegen der geringen Periodenzahl des Ankerstromes die Wirkung der Streuung kleiner ist, als bei stillstehendem Anker, so wird bei laufendem Anker der Unterschied der E.M.K. in der primären und sekundären Hilfsspule noch geringer werden. Die Anbringung der Hilfsspule an dem Primärgehäuse statt an dem Anker ist also berechtigt.

Erörterung der Ergebnisse.

Die Betrachtung möge wieder beginnen mit dem Leerlauf. Auf Tafel XII sind in den Figuren 1 bis 4 die Stromverhältnisse auseinandergesetzt, wie sie den 4 ersten Kurven auf Tafel III zu Grunde liegen. Rechts sind die Vektordiagramme der Ströme aufgezeichnet; die Vektoren, deren Lage aus der am Anfang besprochenen Stromkurve entnommen ist, drehen sich in den 4 Diagrammen jedesmal um 20° entgegengesetzt der Uhrzeigerbewegung. Der Ankerumfang ist als Abwicklung gedacht und es stellen die 19 Kreise die Nuten 1 bis 19 des Primärgehäuses dar, in welchem die Hilfsspulen untergebracht sind. Senkrecht unter diesen Kreisen ist die Stromverteilungskurve gezeichnet, und zwar sind die Stromordinaten bei den mit Kreuzen versehenen Phasen positiv nach oben, bei den mit Punkten versehenen Phasen negativ nach unten gezeichnet. Die Größe der Ordinaten ist durch die Horizontalprojektionen der zugehörigen Stromvektoren gefunden. Die Konstruktion dieser Stromverteilungskurven beruht auf sinusartigem Verlauf der Ströme. Da letztere nun, wie Tafel I zeigt, von der Sinusform abweichen, so wird die wahre Stromverteilungskurve von der konstruierten etwas verschieden sein, in der Gestalt wird sie sich in der Hauptsache jedoch ähnlich verändern wie die konstruierte Verteilungskurve. Auf die im folgenden gegebene Erklärung der gefundenen, charakteristischen Erscheinungen ist aber diese geringe Abweichung der Stromkurve von Sinusart nicht von Einfluß.

Die von der Zeit abhängige Änderung in der Gestalt der Stromverteilungskurve ist der Grund, weshalb sich die Form der Feldkurve und auch der Inhalt derselben ändert. Ebenso wie die Stromverteilungskurve nach 60° genau wieder dieselbe Form annimmt, tut dies auch die Kurve B. Man kann sogar direkt aus der Gestalt der Stromverteilungskurve auf die der Feldkurve schließen. Auf Tafel XII sind die entsprechenden Feldkurven eingezeichnet, außerdem sind punk-

tierte Hilfshalbkreise geschlagen und durch die senkrechten Halbmesser derselben die ideellen Maxima der Feldkurve angedeutet.

Sowohl die Stromverteilungskurve wie auch die Feldkurve wandert nach rechts, jedoch die relative Lage der beiden Kurven zu einander ändert sich. Am besten sieht man dies, wenn man die Lage des ideellen Maximum der Feldkurve mit der Lage des Durchschnittspunktes der Stromverteilungskurve und der Abszissenachse vergleicht. Am günstigsten wird offenbar der Fall sein, wenn ein positiver oder negativer Teil der Verteilungskurve gerade von zwei ideellen Maxima der Feldkurve begrenzt wird, dies geschieht in der nicht gezeichneten Zwischenlage von Figur 1 und 2, also etwa bei dem Zeitwinkel 10° . Wie das untenstehende Diagramm auf Tafel III zeigt, liegen die Maxima der die Veränderlichkeit der gesamten Kraftlinienzahl vorstellenden Kurve auch zwischen 0° und 20° , 60° und 80° ; dagegen ungünstig ist der Fall in Figur 3 Tafel XII bei 40° . Das ideelle Maximum der Feldkurve ist hier weit von dem Durchschnittspunkt der Stromverteilungskurve mit der Achse entfernt und die Verteilung der Ströme zu beiden Seiten des Maximum eine sehr ungleichmäßige, weshalb auch hier der Inhalt der wirklichen Feldkurve gering ist. Die ungleichmäßige Verteilung der Ströme zu beiden Seiten des Maximum der Feldkurve hat zur Folge, daß der auf- und absteigende Zweig der wahren Feldkurve unsymmetrisch ist.

Weit deutlicher tritt die Abhängigkeit der Gestalt der Feldkurve von der Gestalt der dazugehörigen Stromverteilungskurve bei Belastung des Motors hervor. Auf Tafel XIII sind die Vorgänge bei normaler Belastung des Motors dargestellt, wie sie den 4 ersten Kurven auf Tafel VIII entsprechen. Zwischen je 2 Figuren ist also wieder eine Zeitdifferenz von $\frac{1}{18}$ Periode oder 20° vorhanden.

Die Darstellung der Stromverhältnisse bei Belastung ist nun weit verschieden von derjenigen bei Leerlauf. Dieses hat seinen Grund in der Rückwirkung des induzierten Ankerstroms auf das Primärfeld. Zu diesem Zweck ist die Kurve des Ankerstromes ermittelt, sie ergibt sich aus Tabelle 15 und ist auf Tafel II, Figur 4 dargestellt. Unter den Nuten des Primärgehäuses sind die Nuten des Ankers als kleinere Kreise auf-

gezeichnet, in welchen die Stromrichtung ebenfalls angedeutet ist. Die Größe der Ströme in den Ankerphasen ist mit Hilfe des Vektordiagrammes des Ankerstromes gefunden. Dieses ist gegen das primäre Stromdiagramm um einen gewissen Winkel verschoben, welcher durch die relative Lage der Ankerphasen zu den Primärphasen bedingt ist. Die Lage des sekundären Vektordiagrammes ist gegeben durch die Ermittlung der Ankerstromkurve. Die 4 zugehörigen Feldkurven sind eingezeichnet und zur Erklärung sind die punktierten Halbkreise angedeutet, deren senkrecht stehende, punktierte Radien die ideellen Maxima der Feldkurven bedeuten. Außer der primären Stromverteilungskurve, welche in den Figuren schwach gezeichnet ist, tritt noch eine sekundäre Stromverteilungskurve auf. Diese ist punktiert dargestellt. Da die Drahtzahl der primären Phase gleich derjenigen der sekundären Phase ist, so darf man die beiden Stromverteilungskurven, welche ja auch die Verteilung der Amperewindungen bedeuten, zusammensetzen und erhält dadurch eine resultierende Stromverteilungskurve. Diese letztere ist stark gezeichnet und hat ein ganz anderes Aussehen wie die einfachen Stromverteilungskurven. Während die positiven und negativen Teile der einfachen Stromverteilungskurve zusammenhängend sind, weisen die gleichnamigen Teile der resultierenden Stromverteilungskurve tiefe Einschnitte auf, an welchen entgegengesetzt gerichtete Ströme zur Wirkung gelangen.

Figur 4 stimmt mit Figur 1 überein, nur sind in Figur 4 sämtliche Stromverteilungskurven sowie auch die Feldkurve um die Breite einer Phase nach rechts verschoben, wieder ein Beweis dafür, daß nach je 60° auch die Feldkurve wieder dieselbe Gestalt angenommen hat. In Figur 3 sind die Amperewindungen zu beiden Seiten der ideellen Maxima der Feldkurve weit gleichmäßiger verteilt als in Figur 2, weshalb der Inhalt der Feldkurve bei Figur 3 auch größer ist als der Inhalt der Feldkurve bei Figur 2, was wiederum mit dem Diagramm Tafel VIII übereinstimmt.

Die Vorgänge, die sich bei verschiedenen Ankerstellungen abspielen, sind auf Tafel XIV veranschaulicht. Der Anker ist gegenüber derjenigen Stellung, für welche die in Tafel XIII dargestellten Verhältnisse zutreffen, bei den Figuren 1, 2 und 3

auf Tafel XIV um 10° , 20° und 30° gedreht, das sekundäre Vektordiagramm ist deshalb um je 20° in der Bewegungsrichtung des Uhrzeigers gedreht, während das primäre Vektordiagramm seine Lage beibehält. Die primären Stromverteilungskurven sind daher in allen drei Figuren gleich, die sekundären Stromverteilungskurven hingegen verändern ihre Gestalt. Beide Stromverteilungskurven sind wieder zu einer resultierenden Stromverteilungskurve zusammengesetzt, deren Form in sämtlichen drei Figuren verschieden ist. In Figur 3, welche die Verhältnisse des um 30° gedrehten Ankers veranschaulicht, ist die resultierende Stromverteilungskurve kongruent mit derjenigen in Figur 1, Tafel XIII, das heißt, nach einer Ankerdrehung von je 30° muß die Feldkurve wieder die gleiche Gestalt annehmen, wie dies auch aus den Kurven auf Tafel X hervorgeht. Die Formveränderung der resultierenden Stromverteilungskurve auf Tafel XIV ist wesentlich verschieden von der Formveränderung auf Tafel XIII, sie hat also auch einen anderen Einfluß auf die Gestalt der Feldkurven. Von den gezeichneten Figuren stellt Figur 2 den günstigsten Fall dar, weil hier die gleichnamigen Teile der Kurve nicht durch Teile entgegengesetzter Richtung unterbrochen sind, wie dies bei den anderen Figuren der Fall ist.

Bei der Drehung des Ankers zwischen 10° und 20° (zwischen Figur 1 und Figur 2, genau bei $16,6^{\circ}$) muß die Stromverteilungskurve für einen Augenblick ein der in Figur 4 für Leerlauf dargestellten Kurve ähnliches Aussehen haben, es tritt dann ein, wenn die Ankerphasen sich gerade den primären Phasen gegenüber befinden. Dieser Fall ist in Figur 5, Tafel XIV dargestellt. Vergleicht man hiermit das untenstehende Diagramm auf Tafel X, so sieht man, daß die Maxima zwischen 10° und 20° , zwischen 40° und 50° u. s. w. liegen. Für die in Figur 3, Tafel XIV zu Grunde liegenden Verhältnisse sind die Amperewindungen zu beiden Seiten des ideellen Maximum sehr ungleichmäßig verteilt, weshalb auch hier bei 30° Ankerdrehung der Inhalt der Kurven geringer ist, als in den übrigen Lagen.

Schlussfolgerungen für den Betrieb.

Im folgenden soll die Bedeutung der Schwankungen des Drehmomentes erörtert werden, welche einerseits in verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer Periode für eine bestimmte Ankerstellung und andererseits in demselben Zeitpunkt der Periode, aber bei verschiedenen Ankerstellungen ermittelt worden sind. Diese letzteren Schwankungen liegen in Wirklichkeit zeitlich hintereinander, sie erfolgen jedoch wesentlich langsamer als die ersteren. Unter Schwankung soll derjenige Teil der Drehmomentkurve verstanden werden, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima oder Minima der Kurve liegt. Die Drehung des Ankers hat hier eine relative Bedeutung und zwar bedeutet sie die relative Verschiebung des Ankers gegenüber dem Drehfelde. Nehme ich an, daß bei normaler Belastung die Schlüpfung 5% beträgt, so hat sich das Drehfeld während einer Schwankung, welche bei den Versuchen einer Ankerdrehung von 30° entsprach, in Wirklichkeit um $20 \cdot 30^\circ = 600^\circ$ gedreht. Bei den Schwankungen der ersteren Art, welche bei stillstehendem Anker ermittelt wurden, entspricht einer Schwankung eine Zeitdifferenz von 60°, was eine Drehung des Drehfeldes um 30° bedeutet. Hieraus geht hervor, daß das Schlüpfungsverhältnis direkt das Verhältnis der Zahlen derjenigen Schwankungen pro Sekunde angibt, welche bei verschiedenen Ankerstellungen ermittelt und derjenigen Schwankungen, welche bei stillstehendem Anker durch Änderung des Zeitpunktes erhalten wurden.

Die Schwankungen beider Arten überlagern sich also und bei normaler Belastung ist das Verhältnis der sekundlichen Schwankungszahlen 1:20. Infolgedessen ist der Einfluß dieser Schwankungen auf den Gleichförmigkeitsgrad des Motors verschiedenartig, er geht deutlich aus einer Formel (nach Prof. Troske-Hannover) hervor, welche für die Bestimmung des Schwungradgewichtes einer Dampfmaschine dient:

$$G = k \cdot \frac{f \cdot i \cdot N}{F \cdot c^2 \cdot n} \cdot$$

Dieser Formel liegt das Tangentialdruckdiagramm zu Grunde, k bedeutet einen konstanten Faktor, welcher den Wert 44145 hat, f bedeutet die größte Fläche, die über oder unter derjenigen Linie liegt, welche den Mittelwert des Tangentialdruckes darstellt, und ist in diesem Fall gleich 40 qmm, F entspricht der Fläche, welche die Arbeit einer Umdrehung darstellt, sie umfaßt 14760 qmm, i ist der Gleichförmigkeitsgrad, c die mittlere Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes, in dem die Schwungmasse vereinigt gedacht werden kann gleich 156,25 m, N bedeutet die Anzahl der Pferdestärken und n die Tourenzahl pro Minute. N ist bei dem untersuchten Motor gleich 5 und n gleich 1450. An Stelle des Tangentialdruckdiagramms treten in unserem Fall die Diagramme auf den Tafeln V, VII, IX, XI, welche die Schwankungen des Drehmomentes veranschaulichen. Ich nehme einen Gleichförmigkeitsgrad von 300 an und berechne hierfür das Gewicht der Schwungmasse. Setzt man in obige Formel die zugehörigen Werte für normale Belastung ein, so erhält man in dem Falle, in welchem man nur die Schwankungen bei stillstehendem Anker (s. Diagramm auf Tafel IX) berücksichtigt, für das ganze Gewicht der Schwungmasse:

$$G = 44145 \cdot \frac{40 \cdot 300 \cdot 5}{14760 \cdot 156,25 \cdot 1450}, \text{ also}$$

$$G = \text{rund } 0,8 \text{ kg.}$$

Legt man der Berechnung das Diagramm auf Tafel XI zu Grunde, betrachtet man also die Schwankungen, welche bei verschiedenen Ankerstellungen ermittelt wurden, so erhält man für das Gewicht der Schwungmasse:

$$G = 44145 \cdot \frac{10 \cdot 300 \cdot 5}{720 \cdot 156,25 \cdot 1450},$$

$$G = \text{rund } 4 \text{ kg.}$$

Hier ist also das Gewicht 5 mal so groß wie vorhin, trotzdem die Intensität der Schwankungen wesentlich geringer ist als im ersten Fall. Da nun das Gewicht der Schwungmasse des Ankers bedeutend größer ist als 4 kg, nämlich rund 50 kg, so wird auch bei normaler Belastung ein wesentlich höherer

Gleichförmigkeitsgrad als der angenommene von 300 erzielt werden, nämlich ein solcher von $\frac{300 \cdot 50}{4} = 3750$, d. h. prak-

tisch sind die Schwankungen des Drehmomentes in Hinsicht auf den Gleichförmigkeitsgrad des Motors zu vernachlässigen.

Alle bisher besprochenen Versuche sind bei stillstehendem Anker ausgeführt worden, sie entsprechen daher nicht den Betriebsverhältnissen des Motors in der Praxis. Um nun einen Beweis dafür zu haben, daß die gefundenen Ergebnisse auch für den laufenden Motor ihre Gültigkeit haben, stellte ich noch die folgenden Versuche an, deren Ergebnisse auf Tafel XV graphisch zur Darstellung gebracht worden sind. Zunächst ließ ich den Anker bei normaler Spannung von 110 Volt leer laufen.

Die E.M.Ke., welche ich in den Hilfsspulen erhielt, waren nun nicht mehr konstant, sie schwankten zwischen zwei bestimmten Grenzen. Innerhalb dieser Grenzen schlug das Galvanometer bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin aus, außerhalb dieser Grenzen jedoch erhielt ich nur Ausschläge nach einer Richtung hin. Auf diese Weise ermittelte ich für die 19 Hilfsspulen die beiden Grenzwerte der E.M.Ke. und erhielt durch Verbindung entsprechender äußerer Grenzpunkte zwei Kurven, welche einen schmalen Raum begrenzen, innerhalb dessen diejenigen Abschnitte auf den Ordinaten liegen, welche der Größenänderung der gemessenen E.M.Ke. entsprechen. Auf Tafel XV sind diese Kurven in den Figuren 1 bis 4 punktiert gezeichnet, ihre Zahlenwerte sind in Tabelle 16 enthalten. Die ausgezogenen Kurven sind bei stillstehendem Anker und der gleichen verketteten Spannung von 110 Volt ermittelt, sie bedeuten die Feldkurven bei Leerlauf und wurden bei verschiedenen Stellungen des Ankers aufgenommen, indem der Anker nämlich wie auch früher um je 10° gedreht wurde. Tabelle 18 enthält die Zahlenwerte für diese 4 Feldkurven. Aus der graphischen Darstellung ergibt sich, daß die ausgezogenen Kurven im wesentlichen innerhalb der beiden punktierten Kurven liegen, was auch der Fall sein muß, da sich die Schwankungen nur durch die verschiedene Gestalt der Feldkurven, welche von der relativen Ankerstellung abhängig ist, erklären lassen.

An einigen Stellen liegen die ausgezogenen Kurven etwas außerhalb der Grenzkurven. Dieses ist auf Ungenauigkeit der Messung zurückzuführen, da sich die beiden Grenzpunkte nur annähernd, nicht aber mit absoluter Sicherheit, feststellen lassen; vielleicht ist auch an dieser Abweichung der geringe Leerlaufstrom des Ankers schuld, welcher bei stillstehendem Anker nicht vorhanden ist.

Die folgenden Figuren 5 bis 8 auf Tafel XV sind auf ähnliche Weise erhalten worden, sie gelten für normale Belastung. Die beiden Grenzkurven, welche wieder bei laufendem Anker aufgenommen wurden, sind punktiert gezeichnet, ihre Zahlenwerte ergeben sich aus Tabelle 17. Die ausgezogenen Kurven sind bei stillstehendem Anker und verschiedenen Ankerstellungen aufgenommen und stimmen mit den 4 ersten Kurven auf Tafel X überein. Noch deutlicher als bei Leerlauf zeigt hier die graphische Darstellung, wie die ausgezogenen Kurven sämtlich innerhalb der punktierten Grenzkurven liegen. Diese letzteren Kurven liegen hier weiter auseinander als die Grenzkurven bei Leerlauf; es entspricht der gefundenen Tatsache, daß bei normaler Belastung die Änderung in der Gestalt der Feldkurven erheblicher ist, als bei Leerlauf.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die Gestalt der rotierenden Feldkurve bei einem modernen Dreiphasenmotor mit Phasenanker ist zunächst durch die Form der primären Spannungskurve bedingt. Dieses zeigt der Vergleich der Feldkurven, welche durch die beiden in verschiedener Kurve verlaufenen Spannungen erhalten wurden.

Die Gestalt der Feldkurve weicht von der Sinusform ab und ist keineswegs dauernd die gleiche, sie ändert sich mit der Zeit. Ferner hängt die Gestalt der Feldkurve von der Belastung des Motors ab. Während bei Leerlauf die Feld-

kurven ziemlich glatt verlaufen, ihre Abweichung von der Sinusform nicht erheblich und ihre von der Zeit abhängige Formveränderung gering ist, treten bei Belastung des Motors scharf ausgeprägte Unregelmäßigkeiten in dem Verlauf der Kurve auf, ihre Gestalt weicht daher bei Belastung von der Sinusform in beträchtlichem Maße ab und die von der Zeit abhängige Veränderung der Gestalt ist erheblich geworden.

Mit der Formveränderung der Feldkurve ist auch eine Änderung in der Größe des Drehmomentes verbunden. Es sind zwei Arten von Schwankungen in der Größe des Drehmomentes vorhanden, welche sich überlagern. Beide Arten unterscheiden sich sowohl durch die Größe ihrer Intensität, als auch durch die Anzahl ihrer Schwankungen pro Sekunde. Die Zahl der sekundlichen Schwankungen der ersten Art ist bei gleicher Periodenzahl konstant, es treten 6 Schwankungen pro Periode auf, die Zahl derjenigen der zweiten Art dagegen ist veränderlich und von der Schlüpfung des Motors abhängig; das Verhältnis der sekundlichen Schwankungszahlen der letzteren Art und derjenigen der ersteren Art ist durch das Schlüpfungsverhältnis gegeben. Diese Schwankungen sind auch bei der Annahme sinusartigen Verlaufes der Stromkurve erklärbar.

In Hinsicht auf den Gleichförmigkeitsgrad des Motors kann der Einfluß der Schwankungen des Drehmomentes praktisch vernachlässigt werden.

Aus diesen Ergebnissen möchte ich noch eine Folgerung auf den Kurzschlußanker ziehen. Die Schwankungen der Kraftlinienzahl, welche der Motor mit Phasenanker bei Leerlauf aufzuweisen hat, werden auch beim Motor mit Kurzschlußanker und gleicher, primärer Wicklung vorhanden sein, denn diese Schwankungen sind nur eine Folge der primären Phasenwicklung, dagegen werden wahrscheinlich die bei Belastung auftretenden Schwankungen beim Kurzschlußanker geringer sein als beim Phasenanker, da die stark hervortretenden Unregelmäßigkeiten in der Gestalt der Kurven bei Belastung sich hauptsächlich durch die Phasenwicklung des Ankers erklären lassen.

Die vorliegende Arbeit ist auf Anregung des Herrn Prof. Dr. G. Roessler entstanden. Durch sein reges Interesse sowie durch seine wertvollen Ratschläge hat er mich zu großem Dank verpflichtet.

Die Arbeitsstätte der Versuche war das elektrotechnische Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. Dem Direktor des Laboratoriums, Herrn Geheimen Regierungsrat Prof. Dr. A. Slaby, sowie dem stellvertretenden Direktor desselben, Herrn Prof. Dr. W. Wedding, spreche ich hiermit für ihr bereitwilliges Entgegenkommen meinen besten Dank aus.

Tabella I.

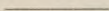
Tabella Ia.

Tabella II.

Tabella III.

| Anno 1880 | | Anno 1881 | | Anno 1882 | | Anno 1883 | |
|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| Valore | Variaz. | Valore | Variaz. | Valore | Variaz. | Valore | Variaz. |
| 10 | ... | 10 | ... | 10 | ... | 10 | ... |
| 20 | ... | 20 | ... | 20 | ... | 20 | ... |
| 30 | ... | 30 | ... | 30 | ... | 30 | ... |
| 40 | ... | 40 | ... | 40 | ... | 40 | ... |
| 50 | ... | 50 | ... | 50 | ... | 50 | ... |
| 60 | ... | 60 | ... | 60 | ... | 60 | ... |
| 70 | ... | 70 | ... | 70 | ... | 70 | ... |
| 80 | ... | 80 | ... | 80 | ... | 80 | ... |
| 90 | ... | 90 | ... | 90 | ... | 90 | ... |
| 100 | ... | 100 | ... | 100 | ... | 100 | ... |

Anhang I.



| Anno 1884 | | Anno 1885 | | Anno 1886 | | Anno 1887 | |
|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| Valore | Variaz. | Valore | Variaz. | Valore | Variaz. | Valore | Variaz. |
| 10 | ... | 10 | ... | 10 | ... | 10 | ... |
| 20 | ... | 20 | ... | 20 | ... | 20 | ... |
| 30 | ... | 30 | ... | 30 | ... | 30 | ... |
| 40 | ... | 40 | ... | 40 | ... | 40 | ... |
| 50 | ... | 50 | ... | 50 | ... | 50 | ... |
| 60 | ... | 60 | ... | 60 | ... | 60 | ... |
| 70 | ... | 70 | ... | 70 | ... | 70 | ... |
| 80 | ... | 80 | ... | 80 | ... | 80 | ... |
| 90 | ... | 90 | ... | 90 | ... | 90 | ... |
| 100 | ... | 100 | ... | 100 | ... | 100 | ... |

Tabelle 1.

Tabelle 1a.

Tabelle 2.

Tabelle 2a.

Stromkurven für: ($E_p = 65$ Volt)

Spannungskurven für: ($E_p = 65$ Volt)

| ωt | Leerlauf | halbe Belast. |
|------------|--------------|---------------|
| 0° | + 10,36 Amp. | + 12,5 Amp. |
| 10 | + 9,7 | + 7,875 |
| 20 | + 8,91 | + 2,635 |
| 30 | + 7,85 | - 1,85 |
| 40 | + 6,6 | - 6,70 |
| 50 | + 5,11 | - 11,75 |
| 60 | + 3,38 | - 16,60 |
| 70 | + 1,41 | - 20,5 |
| 80 | - 0,157 | - 23,45 |
| 90 | - 1,96 | - 25,60 |
| 100 | - 3,69 | - 27,30 |
| 110 | - 5,46 | - 28,55 |
| 120 | - 6,72 | - 29,4 |
| 130 | - 7,88 | - 29,0 |
| 140 | - 9,04 | - 27,0 |
| 150 | - 10,05 | - 24,15 |
| 160 | - 10,52 | - 20,85 |
| 170 | - 10,55 | - 17,30 |
| 180 | - 10,28 | - 12,70 |
| 190 | - 9,78 | - 8,25 |
| 200 | - 8,87 | - 3,05 |
| 210 | - 7,9 | + 1,80 |
| 220 | - 6,48 | + 7,10 |
| 230 | - 4,95 | + 11,85 |
| 240 | - 3,06 | + 16,85 |
| 250 | - 1,29 | + 20,90 |
| 260 | + 0,47 | + 23,70 |
| 270 | + 2,31 | + 25,80 |
| 280 | + 4,0 | + 27,5 |
| 290 | + 5,65 | + 28,65 |
| 300 | + 7,18 | + 28,9 |
| 310 | + 8,47 | + 28,25 |
| 320 | + 9,45 | + 25,7 |
| 330 | + 10,11 | + 22,5 |
| 340 | + 10,48 | + 19,5 |
| 350 | + 10,32 | + 15,0 |
| 360 | + 9,94 | + 10,40 |

| ωt | Leerlauf | halbe Belast. |
|------------|------------|---------------|
| 0° | + 0,9 Volt | - 0,30 Volt |
| 10 | - 16,5 | - 16,8 |
| 20 | - 32,4 | - 31,26 |
| 30 | - 48,8 | - 47,8 |
| 40 | - 63,0 | - 60,0 |
| 50 | - 72,1 | - 66,6 |
| 60 | - 80,0 | - 75,2 |
| 70 | - 87,6 | - 82,0 |
| 80 | - 94,6 | - 87,6 |
| 90 | - 99,0 | - 92,0 |
| 100 | - 95,4 | - 87,6 |
| 110 | - 88,4 | - 81,0 |
| 120 | - 79,8 | - 75,0 |
| 130 | - 70,4 | - 66,8 |
| 140 | - 61,8 | - 56,0 |
| 150 | - 48,4 | - 45,4 |
| 160 | - 32,6 | - 30,8 |
| 170 | - 13,5 | - 14,84 |
| 180 | + 4,5 | + 1,5 |
| 190 | + 19,2 | + 16,96 |
| 200 | + 37,2 | + 33,4 |
| 210 | + 53,0 | + 49,6 |
| 220 | + 65,4 | + 58,2 |
| 230 | + 75,2 | + 69,0 |
| 240 | + 82,8 | + 77,8 |
| 250 | + 91,4 | + 84,2 |
| 260 | + 98,9 | + 88,8 |
| 270 | + 98,8 | + 91,6 |
| 280 | + 91,4 | + 89,8 |
| 290 | + 82,0 | + 80,0 |
| 300 | + 73,5 | + 71,5 |
| 310 | + 63,6 | + 62,2 |
| 320 | + 52,8 | + 46,4 |
| 330 | + 39,2 | + 37,8 |
| 340 | + 22,8 | + 17,8 |
| 350 | + 4,0 | + 4,5 |
| 360 | - 14,7 | - 11,7 |

Tabelle 3.

| Neit Winkel | E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfsspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt | |
|-------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | 19 |
| 0° | + 0,6 | + 2,24 | + 3,5 | + 4,01 | + 4,2 | + 4,08 | + 3,6 | + 2,43 | + 0,81 | - 0,70 | - 2,23 | - 3,55 | - 4,08 | - 4,2 | - 4,12 | - 3,55 | - 2,58 | - 0,8 | + 0,75 | 51,1 |
| 20 | - 0,92 | + 0,78 | + 2,42 | + 3,53 | + 4,02 | + 4,25 | + 4,15 | + 3,52 | + 2,37 | + 0,98 | - 0,6 | - 2,42 | - 3,52 | - 4,0 | - 4,15 | - 4,07 | - 3,51 | - 2,30 | - 0,62 | 51,2 |
| 40 | - 2,38 | - 0,8 | + 0,82 | + 2,24 | + 3,28 | + 3,93 | + 4,05 | + 3,93 | + 3,42 | + 2,52 | + 1,13 | - 0,75 | - 2,12 | - 3,15 | - 3,80 | - 3,96 | - 3,85 | - 3,3 | - 2,27 | 49,3 |
| 60 | - 3,41 | - 2,20 | - 0,66 | + 0,77 | + 2,22 | + 3,57 | + 4,09 | + 4,27 | + 4,20 | + 3,75 | + 2,75 | + 1,03 | - 0,49 | - 2,02 | - 3,30 | - 3,90 | - 4,05 | - 3,97 | - 3,43 | 50,45 |
| 80 | - 3,78 | - 3,24 | - 2,02 | - 0,72 | + 0,82 | + 2,59 | + 3,64 | + 4,20 | + 4,35 | + 4,26 | + 3,70 | + 2,47 | + 1,05 | - 0,5 | - 2,28 | - 3,38 | - 3,87 | - 4,0 | - 3,88 | 50,45 |
| 100 | - 3,76 | - 3,65 | - 3,12 | - 2,2 | - 0,8 | + 0,94 | + 2,32 | + 3,49 | + 4,0 | + 4,19 | + 4,10 | + 3,56 | + 2,50 | + 1,12 | - 0,64 | - 2,0 | - 3,0 | - 3,6 | - 3,73 | 48,95 |
| 120 | - 3,75 | - 3,93 | - 3,85 | - 3,32 | - 2,29 | - 0,64 | + 0,82 | + 2,30 | + 3,67 | + 4,15 | + 4,33 | + 4,22 | + 3,72 | + 2,57 | + 0,95 | - 0,44 | - 1,86 | - 3,24 | - 3,84 | 50,45 |
| 140 | - 3,30 | - 3,90 | - 4,06 | - 3,94 | - 3,35 | - 2,18 | - 0,82 | + 0,8 | + 2,57 | + 3,63 | + 4,2 | + 4,34 | + 4,24 | + 3,60 | + 2,39 | + 1,02 | - 0,46 | - 2,2 | - 3,28 | 51,1 |
| 160 | - 2,14 | - 3,22 | - 3,83 | - 3,95 | - 3,83 | - 3,29 | - 2,3 | - 0,86 | + 0,88 | + 2,3 | + 3,37 | + 3,97 | + 4,10 | + 3,98 | + 3,38 | + 2,4 | + 1,04 | - 0,66 | - 2,13 | 49,7 |
| 180 | - 0,57 | - 2,20 | - 3,45 | - 4,0 | - 4,15 | - 4,02 | - 3,55 | - 2,4 | - 0,75 | + 0,75 | + 2,17 | + 3,50 | + 4,05 | + 4,25 | + 4,08 | + 3,55 | + 2,5 | + 0,80 | - 0,83 | 51,1 |

Tabelle 4.

| Neit Winkel | E.M.Ke. gemessen in Volt, in den Hilfsspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt | |
|-------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | 19 |
| 0° | + 0,80 | + 1,86 | + 3,38 | + 3,60 | + 3,64 | + 3,88 | + 3,05 | + 1,66 | + 0,52 | - 0,66 | - 1,96 | - 3,55 | - 3,73 | - 3,73 | - 3,94 | - 3,09 | - 1,85 | - 0,66 | + 0,50 | 45,6 |
| 20 | - 0,58 | + 0,82 | + 2,52 | + 3,25 | + 3,51 | + 4,00 | + 3,60 | + 2,75 | + 2,25 | + 0,84 | - 0,72 | - 2,64 | - 3,33 | - 3,60 | - 4,10 | - 3,67 | - 2,81 | - 2,33 | - 1,06 | 47,75 |
| 40 | - 1,72 | - 0,36 | + 1,10 | + 2,07 | + 2,85 | + 3,73 | + 3,69 | + 3,33 | + 3,28 | + 2,10 | + 0,51 | - 1,12 | - 2,10 | - 2,87 | - 3,79 | - 3,67 | - 3,33 | - 3,25 | - 2,15 | 45,95 |
| 60 | - 2,69 | - 1,57 | - 0,35 | + 0,71 | + 1,96 | + 3,50 | + 3,74 | + 3,75 | + 4,00 | + 3,21 | + 1,89 | + 0,57 | - 0,52 | - 1,66 | - 3,42 | - 3,65 | - 3,66 | - 3,90 | - 3,12 | 45,25 |
| 80 | - 3,35 | - 2,52 | - 2,14 | - 0,82 | + 0,72 | + 2,59 | + 3,28 | + 3,57 | + 4,28 | + 3,78 | + 2,97 | + 2,34 | + 1,05 | - 0,68 | - 2,41 | - 3,14 | - 3,51 | - 4,05 | - 3,60 | 47,5 |
| 100 | - 3,41 | - 3,08 | - 3,12 | - 2,00 | - 0,43 | + 1,14 | + 2,14 | + 2,92 | + 3,94 | + 3,83 | + 3,50 | + 3,49 | + 2,34 | + 0,61 | - 0,95 | - 1,94 | - 2,68 | - 3,63 | - 3,50 | 45,45 |
| 120 | - 3,32 | - 3,40 | - 3,75 | - 2,92 | - 1,59 | - 0,49 | + 0,66 | + 1,86 | + 3,57 | + 3,80 | + 3,82 | + 4,08 | + 3,22 | + 1,83 | + 0,65 | - 0,43 | - 1,65 | - 3,12 | - 3,38 | 44,6 |
| 140 | - 3,00 | - 3,36 | - 3,94 | - 3,52 | - 2,57 | - 2,07 | - 0,82 | + 0,83 | + 2,59 | + 3,35 | + 3,63 | + 4,2 | + 3,71 | + 2,82 | + 2,37 | + 1,04 | - 0,44 | - 2,20 | - 2,94 | 46,7 |
| 160 | - 2,03 | - 2,69 | - 3,68 | - 3,53 | - 3,19 | - 3,07 | - 1,93 | - 0,33 | + 1,16 | + 2,24 | + 3,00 | + 3,81 | + 3,70 | + 3,34 | + 3,22 | + 2,08 | + 0,61 | - 0,91 | - 1,85 | 44,95 |
| 180 | - 0,72 | - 1,80 | - 3,38 | - 3,55 | - 3,60 | - 3,85 | - 3,16 | - 1,70 | - 0,58 | + 0,51 | + 1,78 | + 3,48 | + 3,67 | + 3,75 | + 3,95 | + 3,10 | + 1,85 | + 0,69 | - 0,40 | 45,2 |

Tabelle 5.

Die Quadratwerte der E.M.Ke., gemessen in den Hilfspulen No.

| Zeit- Winkel | Die Quadratwerte der E.M.Ke., gemessen in den Hilfspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt | |
|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | 19 |
| 0° | 0,64 | 3,46 | 11,4 | 13,0 | 13,2 | 15,0 | 9,3 | 2,75 | 0,27 | 0,43 | 3,84 | 12,6 | 13,9 | 13,9 | 15,5 | 9,53 | 3,42 | 0,435 | 36,1 | |
| 20 | 0,336 | 0,67 | 6,32 | 10,6 | 12,3 | 16,0 | 13,0 | 7,55 | 5,05 | 0,705 | 0,52 | 6,95 | 11,1 | 13,0 | 16,8 | 13,4 | 17,9 | 5,4 | 1,12 | 36,7 |
| 40 | 2,95 | 0,113 | 1,21 | 4,28 | 8,10 | 13,9 | 13,6 | 11,05 | 10,75 | 4,41 | 0,26 | 1,25 | 4,41 | 8,20 | 14,4 | 13,4 | 11,05 | 10,55 | 4,62 | 34,7 |
| 60 | 7,22 | 2,46 | 0,122 | 0,503 | 3,84 | 12,3 | 14,0 | 14,2 | 16,0 | 10,3 | 3,57 | 0,325 | 0,27 | 2,75 | 11,7 | 13,3 | 13,4 | 15,2 | 9,72 | 36,1 |
| 80 | 11,2 | 6,34 | 4,56 | 0,672 | 0,52 | 0,67 | 10,75 | 12,72 | 18,3 | 14,24 | 8,80 | 5,48 | 1,10 | 0,46 | 5,8 | 9,82 | 12,3 | 16,4 | 13,0 | 37,1 |
| 100 | 11,6 | 9,5 | 9,7 | 4,0 | 0,182 | 1,30 | 4,56 | 8,5 | 15,5 | 14,65 | 12,22 | 12,20 | 5,48 | 0,372 | 0,90 | 3,76 | 7,20 | 13,2 | 12,22 | 34,5 |
| 120 | 11,0 | 11,6 | 14,0 | 8,5 | 2,52 | 0,24 | 0,435 | 3,45 | 12,8 | 14,4 | 14,6 | 16,6 | 10,4 | 3,35 | 0,423 | 0,185 | 2,72 | 9,70 | 11,4 | 35,1 |
| 140 | 9,0 | 11,26 | 15,5 | 12,2 | 6,6 | 4,28 | 0,67 | 0,69 | 6,70 | 11,2 | 13,2 | 17,6 | 13,8 | 7,95 | 5,6 | 1,08 | 0,194 | 4,84 | 8,62 | 36,1 |
| 160 | 4,25 | 7,23 | 13,52 | 12,44 | 10,2 | 9,42 | 3,72 | 0,108 | 1,34 | 5,0 | 9,0 | 14,5 | 13,68 | 11,2 | 10,4 | 4,12 | 0,372 | 0,83 | 3,42 | 33,8 |
| 180 | 0,518 | 3,24 | 11,4 | 12,6 | 13,0 | 14,8 | 10,0 | 2,9 | 0,336 | 0,26 | 3,16 | 12,1 | 13,42 | 14,02 | 15,6 | 9,6 | 3,42 | 0,475 | 0,16 | 35,8 |

Tabelle 6.

E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfspulen No.

| Anker- stellung | E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt | |
|--------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | 19 |
| 0° | + 0,80 | + 1,86 | + 3,38 | + 3,60 | + 3,64 | + 3,88 | + 3,05 | + 1,66 | + 0,52 | - 0,66 | - 1,96 | - 3,55 | - 3,73 | - 3,73 | - 3,94 | - 3,09 | - 1,85 | - 0,66 | + 0,50 | 45,6 |
| 10 | + 0,96 | + 1,83 | + 3,22 | + 3,64 | + 3,59 | + 3,55 | + 3,05 | + 1,87 | + 0,33 | - 0,94 | - 1,92 | - 3,46 | - 3,85 | - 3,80 | - 3,76 | - 3,30 | - 2,09 | - 0,57 | + 0,66 | 46,1 |
| 20 | + 0,83 | + 1,95 | + 3,2 | + 3,48 | + 3,62 | + 3,64 | + 2,91 | + 1,90 | + 0,54 | - 0,92 | - 2,16 | - 3,52 | - 3,80 | - 3,93 | - 3,92 | - 3,10 | - 2,15 | - 0,83 | + 0,56 | 46,5 |
| 30 | + 0,78 | + 1,89 | + 3,32 | + 3,52 | + 3,51 | + 3,71 | + 2,98 | + 1,62 | + 0,42 | - 0,82 | - 2,02 | - 3,57 | - 3,80 | - 3,78 | - 3,95 | - 3,10 | - 1,84 | - 0,64 | + 0,49 | 45,55 |
| 40 | + 0,78 | + 1,58 | + 3,05 | + 3,45 | + 3,39 | + 3,50 | + 2,95 | + 1,82 | + 0,35 | - 0,92 | - 1,92 | - 3,42 | - 3,80 | - 3,74 | - 3,76 | - 3,32 | - 2,12 | - 0,55 | + 0,74 | 45,1 |
| 50 | + 0,82 | + 1,90 | + 3,18 | + 3,38 | + 3,50 | + 3,52 | + 2,80 | + 1,81 | + 0,43 | - 0,91 | - 2,18 | - 3,50 | - 3,74 | - 3,83 | - 3,90 | - 3,12 | - 2,08 | - 0,64 | + 0,72 | 45,9 |
| 60 | + 0,69 | + 1,78 | + 3,19 | + 3,41 | + 3,44 | + 3,62 | + 2,83 | + 1,62 | + 0,44 | - 0,75 | - 1,97 | - 3,55 | - 3,79 | - 3,78 | - 3,96 | - 3,01 | - 1,86 | - 0,57 | + 0,58 | 44,9 |
| 70 | + 0,71 | + 1,60 | + 2,95 | + 3,37 | + 3,27 | + 3,31 | + 2,91 | + 1,70 | + 0,34 | - 0,85 | - 1,94 | - 3,98 | - 3,82 | - 3,68 | - 3,71 | - 3,23 | - 1,92 | - 0,48 | + 0,85 | 43,7 |
| 80 | + 0,74 | + 1,78 | + 2,94 | + 3,24 | + 3,36 | + 3,40 | + 2,73 | + 1,82 | + 0,54 | - 0,78 | - 1,98 | - 3,35 | - 3,66 | - 3,76 | - 3,78 | - 3,11 | - 2,10 | - 0,68 | + 0,70 | 43,8 |
| 90 | + 0,67 | + 1,69 | + 3,07 | + 3,32 | + 3,35 | + 3,50 | + 2,60 | + 1,52 | + 0,33 | - 0,80 | - 1,97 | - 3,54 | - 3,72 | - 3,75 | - 3,91 | - 2,98 | - 1,85 | - 0,50 | + 0,77 | 43,5 |

Tabelle 7.

Quadratwerte der E.M.Ke. gemessen in den Hilfsspulen No.

| Ankerstellung | Inhalt | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 0° | 0,64 | 3,46 | 11,4 | 13,0 | 13,2 | 15,0 | 9,30 | 2,75 | 0,27 | 0,435 | 3,85 | 12,6 | 13,9 | 13,9 | 15,5 | 9,53 | 3,42 | 0,435 | 36,1 |
| 10 | 0,921 | 3,34 | 10,37 | 13,25 | 12,89 | 12,60 | 9,302 | 3,49 | 0,109 | 0,884 | 3,68 | 11,97 | 14,82 | 14,44 | 14,14 | 10,89 | 4,37 | 0,325 | 35,75 |
| 20 | 0,689 | 3,80 | 10,24 | 12,11 | 13,10 | 13,25 | 8,47 | 3,61 | 0,292 | 0,846 | 4,66 | 12,39 | 14,44 | 15,44 | 15,36 | 9,61 | 4,62 | 0,689 | 36,1 |
| 30 | 0,608 | 3,57 | 11,02 | 12,39 | 12,32 | 13,76 | 8,88 | 2,624 | 0,176 | 0,672 | 4,08 | 12,74 | 14,44 | 14,29 | 15,60 | 9,61 | 3,38 | 0,409 | 35,72 |
| 40 | 0,608 | 2,496 | 9,302 | 11,9 | 11,49 | 12,25 | 8,702 | 3,312 | 0,1225 | 0,846 | 3,686 | 11,69 | 14,44 | 13,98 | 14,13 | 11,02 | 4,49 | 0,302 | 33,9 |
| 50 | 0,672 | 3,61 | 10,10 | 11,40 | 12,25 | 12,40 | 7,84 | 3,276 | 0,185 | 0,828 | 4,752 | 12,25 | 13,99 | 14,67 | 15,21 | 9,73 | 4,326 | 0,409 | 34,50 |
| 60 | 0,476 | 3,17 | 10,17 | 11,628 | 11,83 | 13,10 | 8,008 | 2,624 | 0,194 | 0,562 | 3,88 | 12,60 | 14,36 | 14,29 | 15,68 | 9,06 | 3,46 | 0,325 | 33,84 |
| 70 | 0,541 | 2,56 | 8,702 | 11,36 | 10,69 | 10,96 | 8,41 | 2,89 | 0,115 | 0,722 | 3,764 | 11,424 | 14,59 | 13,54 | 13,76 | 10,43 | 3,08 | 0,23 | 32,2 |
| 80 | 0,547 | 3,168 | 8,644 | 10,49 | 11,28 | 11,56 | 7,453 | 3,31 | 0,291 | 0,608 | 3,92 | 11,22 | 13,39 | 14,14 | 14,29 | 9,67 | 4,41 | 0,462 | 32,5 |
| 90 | 0,449 | 2,856 | 9,424 | 11,02 | 11,22 | 12,25 | 6,76 | 2,31 | 0,109 | 0,64 | 3,88 | 12,53 | 13,84 | 14,06 | 15,29 | 8,88 | 3,42 | 0,25 | 32,61 |

Tabelle 8a.

| Stromkurven für: ($E_p = 110$ Volt) | | |
|--------------------------------------|-------------|-----------------|
| ωt | Leerlauf | normale Belast. |
| 0° | + 16,9 Amp. | + 29,8 Amp. |
| 10 | + 17,0 | + 24,7 |
| 20 | + 16,6 | + 19,3 |
| 30 | + 15,65 | + 13,77 |
| 40 | + 14,2 | + 6,28 |
| 50 | + 12,35 | + 0,07 |
| 60 | + 10,40 | - 5,20 |
| 70 | + 7,95 | - 10,5 |
| 80 | + 5,36 | - 16,62 |
| 90 | + 2,63 | - 22,10 |
| 100 | - 0,37 | - 27,4 |
| 110 | - 3,42 | - 33,4 |
| 120 | - 6,30 | - 36,2 |
| 130 | - 8,95 | - 37,22 |
| 140 | - 11,40 | - 37,4 |
| 150 | - 13,40 | - 37,0 |
| 160 | - 15,0 | - 35,3 |
| 170 | - 16,15 | - 32,62 |
| 180 | - 16,90 | - 29,1 |
| 190 | - 17,0 | - 24,5 |
| 200 | - 16,7 | - 18,15 |
| 210 | - 15,7 | - 13,14 |
| 220 | - 14,4 | - 6,26 |
| 230 | - 12,7 | - 0,07 |
| 240 | - 10,4 | + 5,01 |
| 250 | - 8,05 | + 11,05 |
| 260 | - 5,42 | + 16,8 |
| 270 | - 2,63 | + 22,2 |
| 280 | - 0,0 | + 29,0 |
| 290 | + 3,47 | + 33,2 |
| 300 | + 6,36 | + 36,4 |
| 310 | + 9,10 | + 37,45 |
| 320 | + 11,5 | + 37,6 |
| 330 | + 13,6 | + 37,0 |
| 340 | + 15,1 | + 35,4 |
| 350 | + 16,2 | + 33,2 |
| 360 | + 16,95 | + 29,9 |

Tabelle 8b.

| Spannungskurven für: ($E_p = 110$ Volt) | | |
|--|-------------|-----------------|
| ωt | Leerlauf | normale Belast. |
| 0° | + 40,2 Volt | + 48,4 Volt |
| 10 | + 13,6 | + 22,0 |
| 20 | - 8,2 | + 1,0 |
| 30 | - 31,4 | - 20,4 |
| 40 | - 58,8 | - 47,2 |
| 50 | - 84,0 | - 77,0 |
| 60 | - 107,6 | - 100,8 |
| 70 | - 121,0 | - 125,0 |
| 80 | - 146,0 | - 139,2 |
| 90 | - 149,6 | - 145,0 |
| 100 | - 150,0 | - 148,4 |
| 110 | - 149,6 | - 150,6 |
| 120 | - 149,2 | - 151,0 |
| 130 | - 147,6 | - 150,0 |
| 140 | - 139,4 | - 143,2 |
| 150 | - 118,4 | - 124,8 |
| 160 | - 93,6 | - 101,2 |
| 170 | - 69,4 | - 78,6 |
| 180 | - 43,2 | - 51,8 |
| 190 | - 16,4 | - 25,0 |
| 200 | + 5,2 | - 3,4 |
| 210 | + 29,0 | + 19,8 |
| 220 | + 54,8 | + 43,6 |
| 230 | + 82,0 | + 69,6 |
| 240 | + 106,8 | + 96,6 |
| 250 | + 130,2 | + 122,0 |
| 260 | + 144,6 | + 137,0 |
| 270 | + 148,8 | + 144,0 |
| 280 | + 149,4 | + 147,0 |
| 290 | + 149,4 | + 149,8 |
| 300 | + 149,2 | + 150,4 |
| 310 | + 147,4 | + 148,6 |
| 320 | + 138,4 | + 142,0 |
| 330 | + 117,4 | + 122,6 |
| 340 | + 92,8 | + 101,4 |
| 350 | + 67,6 | + 75,6 |
| 360 | + 41,2 | + 51,4 |

Tabelle 8.

| Zeit- Winkel | E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt | |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | 19 |
| 0° | +5,81 | +5,71 | +5,82 | +4,44 | +1,57 | -1,24 | -3,42 | -4,79 | -6,08 | -6,29 | -6,23 | -6,36 | -4,88 | -1,89 | +1,02 | +3,15 | +4,57 | +5,77 | +5,99 | 52,50 |
| 20 | +5,51 | +5,67 | +6,15 | +5,34 | +3,51 | +2,34 | +0,03 | -2,56 | -5,22 | -5,71 | -5,90 | -6,35 | -5,49 | -3,69 | -2,58 | -0,14 | +2,38 | +4,97 | +5,45 | 49,40 |
| 40 | +4,82 | +5,33 | +6,28 | +6,21 | +5,53 | +5,06 | +2,92 | -0,28 | -3,79 | -5,06 | -5,60 | -6,49 | -6,40 | -5,71 | -5,30 | -5,12 | -0,18 | +3,33 | +4,66 | 55,17 |
| 60 | +3,11 | +4,58 | +5,91 | +6,13 | +6,01 | +6,11 | +4,68 | +1,67 | -1,26 | -3,49 | -4,88 | -6,09 | -6,23 | -6,12 | -6,28 | -4,76 | -1,96 | +0,86 | +3,01 | 53,39 |
| 80 | +0,25 | +2,63 | +5,18 | +5,66 | +5,81 | +6,30 | +5,48 | +3,60 | +2,41 | -0,12 | -2,72 | -5,29 | -5,72 | -5,85 | -6,34 | -5,39 | -3,56 | -2,47 | -0,11 | 49,94 |
| 100 | -2,30 | +0,47 | +3,79 | +5,06 | +5,52 | +6,48 | +6,46 | +5,73 | +5,29 | +3,03 | -0,22 | -3,85 | -5,10 | -5,56 | -6,49 | -6,34 | -5,66 | -5,29 | -3,12 | 55,80 |
| 120 | -4,13 | -1,47 | +1,26 | +3,37 | +4,77 | +6,06 | +6,29 | +6,11 | +4,79 | +1,70 | -3,30 | -3,50 | -4,76 | -5,97 | -6,16 | -6,04 | -6,25 | -4,80 | -5,28 | 52,87 |
| 140 | -5,11 | -3,30 | -2,04 | +0,26 | +2,72 | +5,30 | +5,75 | +5,82 | +6,33 | +5,50 | +3,65 | +2,45 | -0,0 | -2,67 | -5,16 | -5,61 | -5,75 | -6,28 | -5,35 | 49,66 |
| 160 | -5,91 | -5,21 | -4,70 | -2,52 | +0,46 | +3,93 | +5,15 | +5,59 | +6,55 | +6,52 | +5,88 | +5,40 | +3,15 | -0,02 | -3,61 | -4,87 | -5,34 | -6,28 | -6,17 | 54,33 |
| 180 | -5,88 | -5,71 | -5,80 | -4,39 | -1,54 | +1,38 | +3,53 | +4,80 | +6,11 | +6,33 | +6,27 | +6,39 | +4,84 | +1,84 | -1,10 | -3,30 | -4,62 | -5,83 | -6,03 | 52,64 |

Tabelle 9.

| Zeit- Winkel | Quadratwerte der E.M.Ke. für die Hilfspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt | |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | 19 |
| 0° | 33,76 | 32,60 | 33,87 | 19,71 | 2,46 | 1,54 | 11,70 | 22,94 | 36,97 | 39,56 | 38,81 | 40,45 | 23,81 | 3,57 | 1,04 | 9,92 | 20,88 | 33,29 | 35,88 | 40,80 |
| 20 | 30,36 | 32,15 | 37,82 | 28,52 | 12,32 | 5,48 | 0,0 | 6,55 | 27,25 | 32,60 | 34,81 | 40,32 | 30,14 | 13,62 | 6,66 | 0,019 | 5,66 | 24,7 | 29,70 | 36,85 |
| 40 | 23,23 | 28,40 | 39,44 | 38,56 | 30,58 | 25,60 | 8,53 | 0,078 | 14,36 | 25,60 | 31,36 | 42,12 | 40,96 | 32,60 | 28,09 | 9,73 | 0,032 | 11,09 | 21,72 | 43,25 |
| 60 | 9,67 | 20,98 | 34,93 | 37,58 | 36,12 | 37,33 | 21,90 | 2,79 | 1,58 | 12,18 | 23,81 | 37,08 | 38,81 | 37,45 | 39,44 | 22,66 | 3,84 | 0,71 | 9,06 | 42,08 |
| 80 | 0,062 | 6,92 | 26,83 | 32,04 | 33,76 | 39,69 | 30,03 | 12,96 | 5,80 | 0,014 | 7,34 | 27,98 | 32,72 | 34,22 | 40,20 | 29,05 | 12,60 | 6,10 | 0,012 | 37,73 |
| 100 | 5,29 | 0,22 | 14,36 | 25,60 | 30,47 | 41,99 | 41,73 | 32,83 | 27,98 | 9,18 | 0,048 | 14,8 | 26,01 | 30,91 | 42,12 | 40,20 | 32,03 | 27,98 | 9,73 | 44,56 |
| 120 | 17,06 | 2,16 | 1,61 | 11,36 | 22,75 | 36,72 | 39,56 | 37,33 | 39,56 | 22,94 | 2,89 | 1,69 | 12,25 | 22,66 | 35,64 | 37,95 | 36,48 | 39,06 | 23,04 | 42,18 |
| 140 | 26,11 | 10,89 | 4,16 | 0,068 | 7,40 | 28,09 | 33,06 | 33,75 | 40,07 | 30,25 | 13,32 | 6,0 | 0,0 | 7,128 | 26,62 | 31,47 | 33,06 | 39,44 | 28,62 | 37,32 |
| 160 | 34,93 | 27,14 | 22,09 | 6,35 | 0,212 | 15,44 | 26,52 | 31,25 | 42,90 | 42,51 | 34,57 | 29,16 | 9,92 | 0,0 | 13,03 | 23,72 | 28,51 | 39,44 | 38,07 | 42,55 |
| 180 | 33,99 | 32,60 | 33,64 | 19,27 | 2,37 | 1,90 | 12,46 | 23,04 | 37,33 | 40,07 | 39,31 | 40,83 | 23,43 | 3,38 | 1,21 | 10,89 | 21,34 | 33,99 | 36,36 | 41,28 |

Tabelle 10.

E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfsspulen No.

| Ankerstellung | E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfsspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt |
|----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| 0 ⁰ | + 5,81 | + 5,71 | + 5,82 | + 4,44 | + 1,57 | - 1,24 | - 3,42 | - 4,79 | - 6,08 | - 6,29 | - 6,23 | - 6,36 | - 4,88 | - 1,89 | + 1,02 | + 3,15 | + 4,57 | + 5,77 | + 5,99 | 52,50 |
| 10 | + 5,68 | + 5,54 | + 5,41 | + 4,51 | + 2,02 | - 1,23 | - 3,62 | - 4,67 | - 5,92 | - 6,22 | - 6,20 | - 6,05 | - 5,10 | - 2,47 | + 0,95 | + 3,35 | + 4,52 | + 5,75 | + 6,03 | 53,04 |
| 20 | + 5,69 | + 5,75 | + 5,65 | + 4,07 | + 2,0 | - 0,87 | - 3,51 | - 4,78 | - 5,99 | - 6,15 | - 6,30 | - 6,25 | - 4,68 | - 2,45 | + 0,73 | + 3,52 | + 4,62 | + 5,88 | + 6,02 | 52,58 |
| 30 | + 5,63 | + 5,57 | + 5,68 | + 4,26 | + 1,57 | - 1,20 | - 3,30 | - 4,72 | - 6,00 | - 6,21 | - 6,17 | - 6,38 | - 4,82 | - 1,80 | + 1,19 | + 3,41 | + 4,68 | + 5,90 | + 6,11 | 52,10 |
| 40 | + 5,53 | + 5,41 | + 5,28 | + 4,33 | + 1,90 | - 1,18 | - 3,50 | - 4,65 | - 5,90 | - 6,20 | - 6,15 | - 6,00 | - 5,18 | - 2,42 | + 1,0 | + 3,51 | + 4,69 | + 5,87 | + 6,18 | 52,40 |
| 50 | + 5,58 | + 5,67 | + 5,54 | + 3,95 | + 1,90 | - 0,82 | - 3,41 | - 4,65 | - 5,88 | - 6,03 | - 6,19 | - 6,11 | - 4,60 | - 2,38 | + 0,76 | + 3,62 | + 4,72 | + 5,98 | + 6,10 | 52,06 |
| 60 | + 5,58 | + 5,51 | + 5,58 | + 4,22 | + 1,57 | - 1,10 | - 3,10 | - 4,56 | - 4,90 | - 6,11 | - 6,09 | - 6,22 | - 4,76 | - 1,77 | + 1,13 | + 3,37 | + 4,70 | + 5,91 | + 6,11 | 51,44 |
| 70 | + 5,58 | + 5,47 | + 5,28 | + 4,29 | + 1,92 | - 1,09 | - 3,39 | - 4,58 | - 5,80 | - 6,11 | - 6,07 | - 5,91 | - 5,10 | - 2,34 | + 1,04 | + 3,54 | + 4,67 | + 5,85 | + 6,16 | 52,23 |
| 80 | + 5,63 | + 5,72 | + 5,56 | + 3,97 | + 1,93 | - 0,78 | - 3,27 | - 4,61 | - 5,85 | - 5,99 | - 6,16 | - 6,09 | - 4,53 | - 2,32 | + 0,84 | + 3,56 | + 4,67 | + 5,89 | + 6,04 | 51,60 |
| 90 | + 5,60 | + 5,55 | + 5,64 | + 4,22 | + 1,68 | - 0,88 | - 3,00 | - 4,46 | - 5,79 | - 6,00 | - 6,00 | - 6,20 | - 4,59 | - 1,74 | + 1,25 | + 3,51 | + 4,70 | + 5,92 | + 6,07 | 51,08 |

Tabelle 11.

Quadratwerte der E.M.Ke., für die Hilfsspulen No.

| Ankerstellung | Quadratwerte der E.M.Ke., für die Hilfsspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt |
|----------------|---|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| 0 ⁰ | 33,76 | 32,60 | 33,87 | 19,71 | 2,46 | 1,54 | 11,70 | 22,94 | 39,96 | 39,56 | 38,81 | 40,45 | 23,81 | 3,57 | 1,04 | 9,92 | 20,88 | 33,29 | 35,88 | 40,80 |
| 10 | 32,26 | 30,69 | 29,27 | 20,34 | 4,08 | 1,51 | 13,1 | 21,80 | 35,05 | 38,69 | 38,44 | 36,60 | 27,56 | 6,10 | 0,90 | 11,22 | 20,43 | 33,06 | 36,36 | 40,43 |
| 20 | 32,38 | 33,06 | 31,92 | 16,56 | 4,00 | 0,76 | 12,32 | 22,85 | 35,88 | 37,82 | 39,69 | 39,06 | 21,90 | 6,00 | 0,53 | 12,39 | 21,34 | 34,57 | 36,24 | 40,51 |
| 30 | 31,70 | 31,02 | 32,26 | 18,15 | 2,46 | 1,44 | 10,89 | 22,28 | 36,00 | 38,56 | 38,07 | 40,70 | 23,23 | 3,24 | 1,42 | 11,63 | 21,90 | 34,81 | 37,33 | 40,58 |
| 40 | 30,58 | 29,27 | 27,88 | 18,75 | 3,61 | 1,39 | 12,25 | 21,62 | 34,81 | 38,44 | 37,82 | 36,0 | 26,83 | 5,86 | 1,0 | 12,32 | 22,0 | 34,46 | 37,19 | 40,13 |
| 50 | 31,14 | 32,15 | 30,69 | 15,60 | 3,61 | 0,67 | 11,63 | 21,62 | 34,57 | 36,36 | 38,32 | 37,33 | 21,16 | 5,66 | 0,58 | 13,10 | 22,28 | 35,76 | 37,21 | 39,78 |
| 60 | 31,14 | 30,36 | 31,14 | 17,81 | 2,46 | 1,21 | 9,61 | 20,79 | 34,81 | 37,33 | 37,09 | 38,69 | 22,66 | 3,13 | 1,28 | 11,36 | 22,09 | 34,93 | 37,33 | 39,17 |
| 70 | 31,14 | 29,92 | 27,88 | 18,40 | 3,69 | 1,19 | 11,49 | 20,98 | 33,64 | 37,33 | 36,84 | 34,93 | 26,01 | 5,48 | 1,08 | 12,53 | 21,81 | 34,22 | 37,95 | 39,15 |
| 80 | 31,70 | 32,72 | 30,91 | 15,76 | 3,72 | 0,61 | 10,69 | 21,25 | 34,22 | 35,88 | 37,95 | 37,09 | 20,52 | 5,38 | 0,71 | 12,67 | 21,81 | 34,69 | 36,48 | 38,84 |
| 90 | 31,36 | 30,38 | 31,81 | 17,81 | 2,82 | 0,77 | 9,0 | 19,89 | 33,52 | 36,0 | 36,0 | 38,44 | 21,07 | 3,03 | 1,56 | 12,32 | 22,09 | 35,05 | 36,84 | 39,38 |

Tabelle 12.

Versuch bei Leerlauf

| $\omega \cdot t$ | 0° | 20° | 40° | 60° | 80° | 100° | 120° | 140° | 160° | 180° | 200° | 220° | 240° | 260° | 280° | 300° | 320° | 340° | 360° |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| E.M.K. in der Primärspule (7Wind.) | + 5,91 | + 5,34 | + 4,74 | + 2,61 | - 0,38 | - 3,53 | - 5,07 | - 5,62 | - 6,23 | - 5,96 | - 5,41 | - 4,74 | - 2,61 | + 0,53 | + 3,59 | + 5,10 | + 5,69 | + 6,26 | + 5,90 |
| E.M.K. in der Anker-spule (4Wind.) | + 3,33 | + 3,04 | + 2,72 | + 1,53 | - 0,25 | - 1,98 | - 2,86 | - 3,13 | - 3,50 | - 3,38 | - 3,10 | - 2,72 | - 1,54 | + 0,25 | + 2,02 | + 2,86 | + 3,18 | + 3,51 | + 3,32 |
| $\times 1,75$ | + 5,83 | + 5,31 | + 4,76 | + 2,68 | - 0,43 | - 3,46 | - 5,0 | - 5,48 | - 6,13 | - 5,91 | - 5,42 | - 4,76 | - 2,69 | + 0,437 | + 3,53 | + 5,0 | + 5,56 | + 6,14 | + 5,81 |

Tabelle 13.

Versuch bei normaler Belastung

| $\omega \cdot t$ | 0° | 20° | 40° | 60° | 80° | 100° | 120° | 140° | 160° | 180° | 200° | 220° | 240° | 260° | 280° | 300° | 320° | 340° | 360° |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| E.M.K. in der Primärspule (7 Wind.) | + 5,93 | + 5,37 | + 4,69 | + 3,28 | + 0,52 | - 2,33 | - 4,21 | - 5,16 | - 5,92 | - 5,94 | - 5,42 | - 4,74 | - 3,32 | - 0,45 | + 2,42 | + 4,26 | + 5,22 | + 6,02 | + 5,93 |
| E.M.K. in der Anker-spule (4 Wind.) | + 3,33 | + 3,12 | + 2,80 | + 2,10 | + 0,54 | - 1,05 | - 2,20 | - 2,73 | - 3,22 | - 3,37 | - 3,14 | - 2,83 | - 2,10 | - 0,50 | + 1,12 | + 2,22 | + 2,79 | + 3,29 | + 3,35 |
| $\times 1,75$ | + 5,83 | + 5,46 | + 4,72 | + 3,68 | + 0,94 | - 1,84 | - 3,85 | - 4,78 | - 5,64 | - 5,90 | - 5,50 | - 4,95 | - 3,68 | - 0,82 | + 1,96 | + 3,88 | + 4,88 | + 5,76 | + 5,86 |

Tabelle 14.

Versuch bei normaler Belastung

| Hilfspule No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| E.M.K. in der Primärspl (7 Wind.) | + 5,94 | + 5,87 | + 5,59 | + 4,23 | + 1,64 | - 1,16 | - 3,45 | - 4,58 | - 5,78 | - 5,94 | - 5,87 | - 5,59 | - 4,23 | - 1,64 | + 1,16 | + 3,45 | + 4,58 | + 5,78 | + 5,94 |
| | + 3,32 | + 3,25 | + 3,03 | + 2,26 | + 0,83 | - 0,68 | - 2,01 | - 2,68 | - 3,20 | - 3,32 | - 3,26 | - 3,01 | - 2,23 | - 0,82 | + 0,71 | + 2,03 | + 2,70 | + 3,21 | + 3,30 |
| E.M.K. in der Ankerspl. (4 Wind.) | + 5,80 | + 5,69 | + 5,30 | + 3,96 | + 1,45 | - 2,06 | - 3,52 | - 4,69 | - 5,60 | - 5,81 | - 5,70 | - 5,21 | - 3,90 | - 1,435 | + 1,24 | + 3,55 | + 4,72 | + 5,62 | + 5,82 |
| × 1,75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle 15.

Stromkurve des Ankers

| ωt | 0° | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° | 100° | 110° | 120° |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Amp. | + 31,2 | + 27,05 | + 22,2 | + 16,7 | + 10,6 | + 5,20 | - 0,17 | - 5,8 | - 11,76 | - 17,6 | - 23,6 | - 28,45 | - 31,6 |
| ωt | 120° | 130° | 140° | 150° | 160° | 170° | 180° | 190° | 200° | 210° | 220° | 230° | 240° |
| Amp. | - 31,6 | - 33,3 | - 34,15 | - 34,5 | - 34,4 | - 33,6 | - 31,35 | - 27,2 | - 22,45 | - 16,85 | - 10,85 | - 5,43 | + 0,226 |
| ωt | 240° | 250° | 260° | 270° | 280° | 290° | 300° | 310° | 320° | 330° | 340° | 350° | 360° |
| Amp. | + 0,226 | + 6,0 | + 12,0 | + 17,85 | + 23,75 | + 28,5 | + 31,55 | + 33,3 | + 34,05 | + 34,4 | + 34,2 | + 33,4 | + 31,1 |

Tabelle 16.

| Versuch bei Leerlauf | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Hilfsspule No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Minimum | + 5,8 | + 5,7 | + 5,4 | + 4,7 | + 2,75 | - 0,2 | - 2,7 | - 4,5 | - 5,6 | - 5,8 | - 5,8 | - 5,7 | - 5,1 | - 3,3 | - 0,1 | + 2,55 | + 4,5 | + 5,4 | + 5,75 |
| Maximum | + 6,4 | + 6,3 | + 5,9 | + 5,1 | + 3,2 | - 0,0 | - 3,0 | - 4,95 | - 6,1 | - 6,35 | - 6,45 | - 6,3 | - 5,55 | - 3,8 | - 0,45 | + 2,85 | + 4,9 | + 5,85 | + 6,3 |

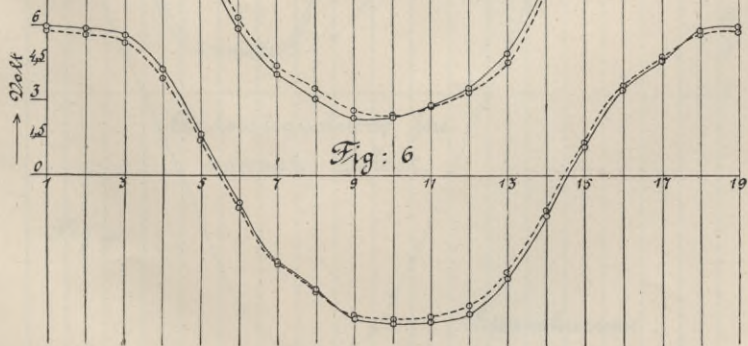
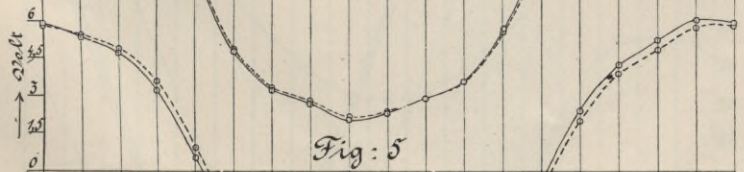
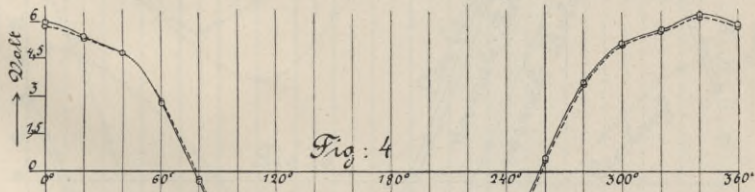
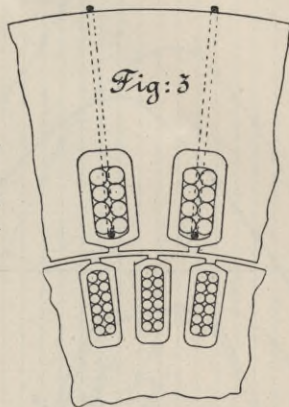
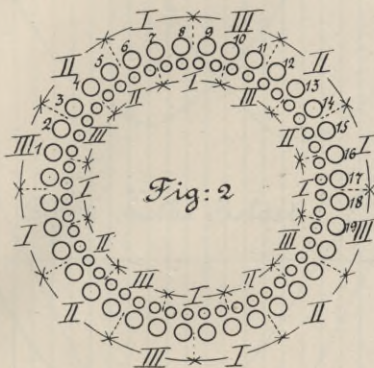
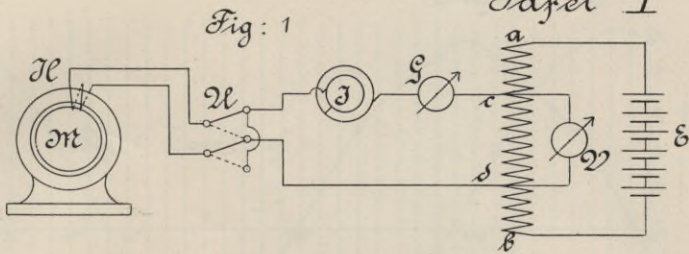
Tabelle 17.

| Versuch bei normaler Belastung. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| Hilfsspule No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Minimum | + 5,5 | + 5,5 | + 5,4 | + 4,2 | + 1,6 | - 0,6 | - 3,0 | - 4,2 | - 5,3 | - 5,6 | - 5,7 | - 5,5 | - 5,0 | - 1,9 | + 0,6 | + 3,01 | + 4,30 | + 5,40 | + 5,6 |
| Maximum | + 6,4 | + 6,3 | + 6,15 | + 4,7 | + 2,1 | - 1,2 | - 3,6 | - 4,8 | - 6,1 | - 6,5 | - 6,5 | - 6,4 | - 4,3 | - 2,6 | + 1,2 | + 3,5 | + 4,9 | + 6,1 | + 6,3 |

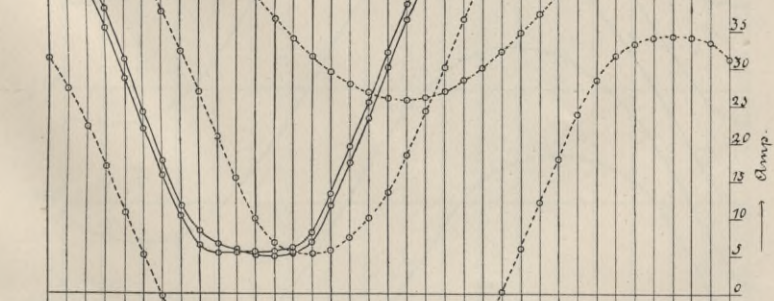
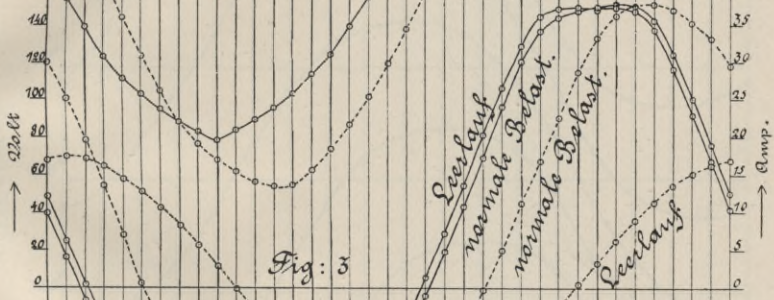
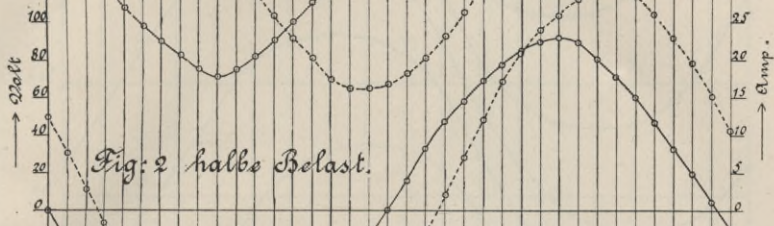
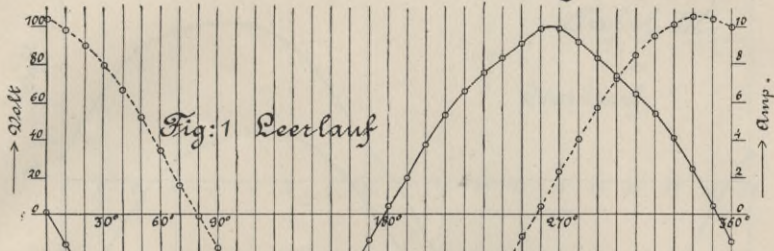
Tabelle 18.

| Ankerstellung | E.M.Ke. in Volt, gemessen in den Hilfsspulen No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Inhalt |
|----------------|--|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| 0 ⁰ | + 5,90 | + 5,88 | + 5,64 | + 4,92 | + 3,12 | - 0,0 | - 2,97 | - 5,14 | - 6,10 | - 6,40 | - 6,38 | - 6,20 | - 5,50 | - 3,88 | - 0,45 | + 2,71 | + 4,81 | + 5,70 | + 6,04 | 55,05 |
| 10 | + 5,90 | + 5,90 | + 5,63 | + 4,95 | + 3,03 | - 0,02 | - 2,88 | - 5,05 | - 6,05 | - 6,41 | - 6,49 | - 6,19 | - 5,56 | - 3,69 | - 0,46 | + 2,48 | + 4,65 | + 5,65 | + 6,02 | 54,67 |
| 20 | + 5,80 | + 5,87 | + 5,64 | + 4,90 | + 3,20 | - 0,0 | - 2,90 | - 4,96 | - 6,05 | - 6,30 | - 6,41 | - 6,17 | - 5,51 | - 3,95 | - 0,6 | + 2,48 | + 4,55 | + 5,63 | + 5,97 | 54,57 |
| 30 | + 5,81 | + 5,78 | + 5,62 | + 4,96 | + 3,35 | + 0,035 | - 2,60 | - 4,95 | - 5,99 | - 6,31 | - 6,32 | - 6,17 | - 5,58 | - 3,99 | - 0,75 | + 2,35 | + 4,53 | + 5,53 | + 5,90 | 54,56 |

Anhang II.



Tafel II.



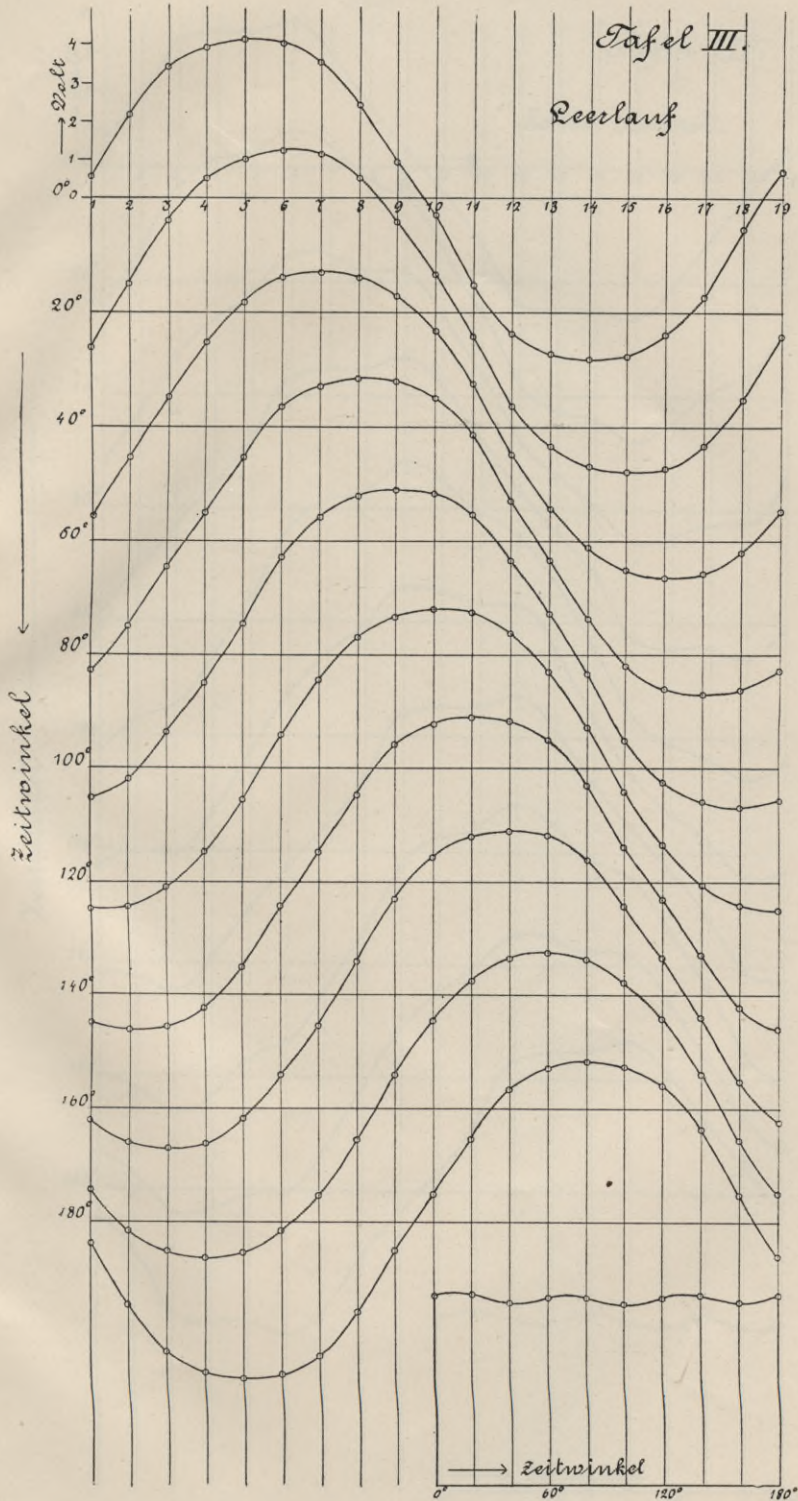
Ankerstromkurve für normale Belast.

Fig 4

Stromkurven.
Spannungskurven.

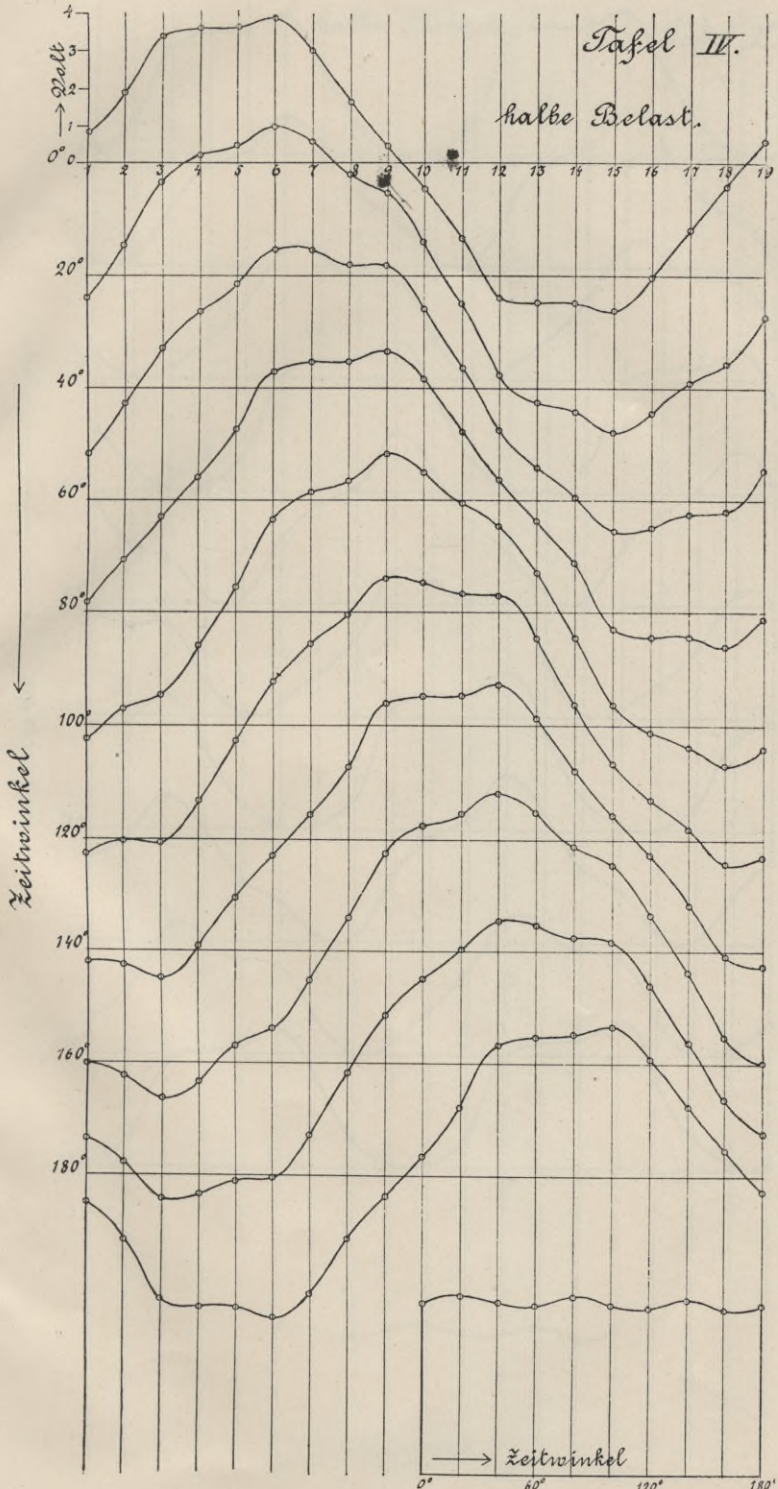
Tafel III.

Leerlauf



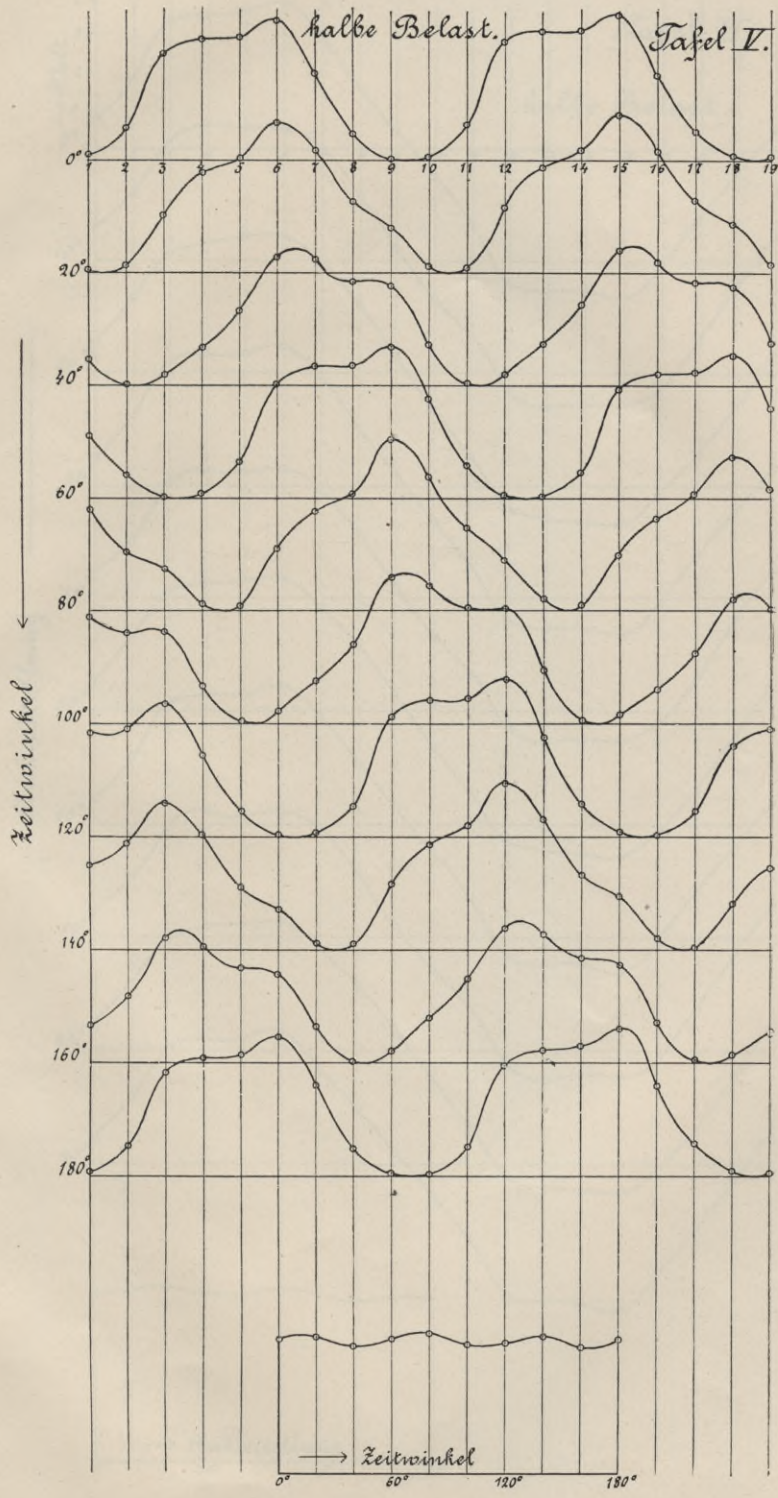
Tafel IV.

halbe Belast.



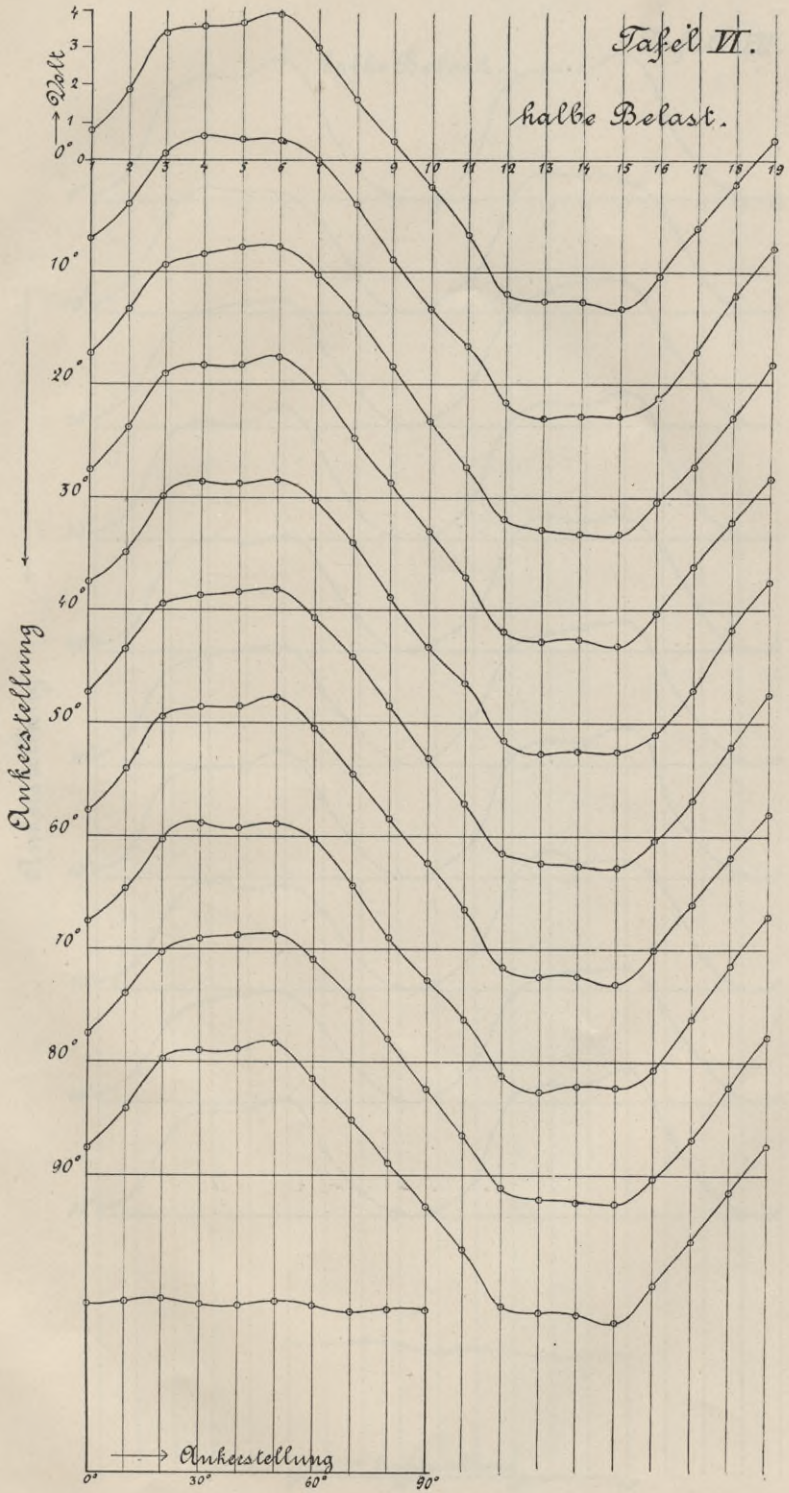
halbe Belast.

Tafel V.



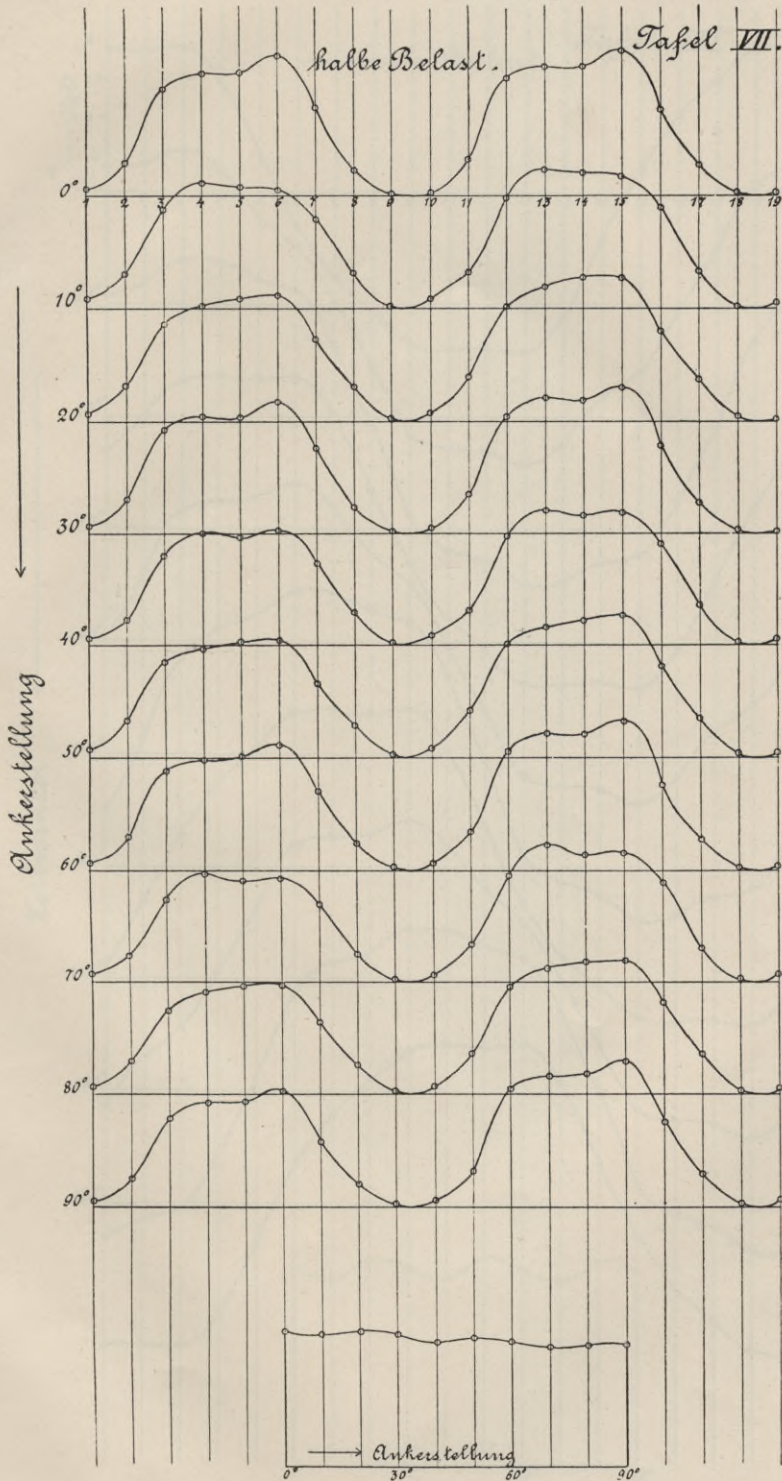
Tafel II.

halbe Belast.

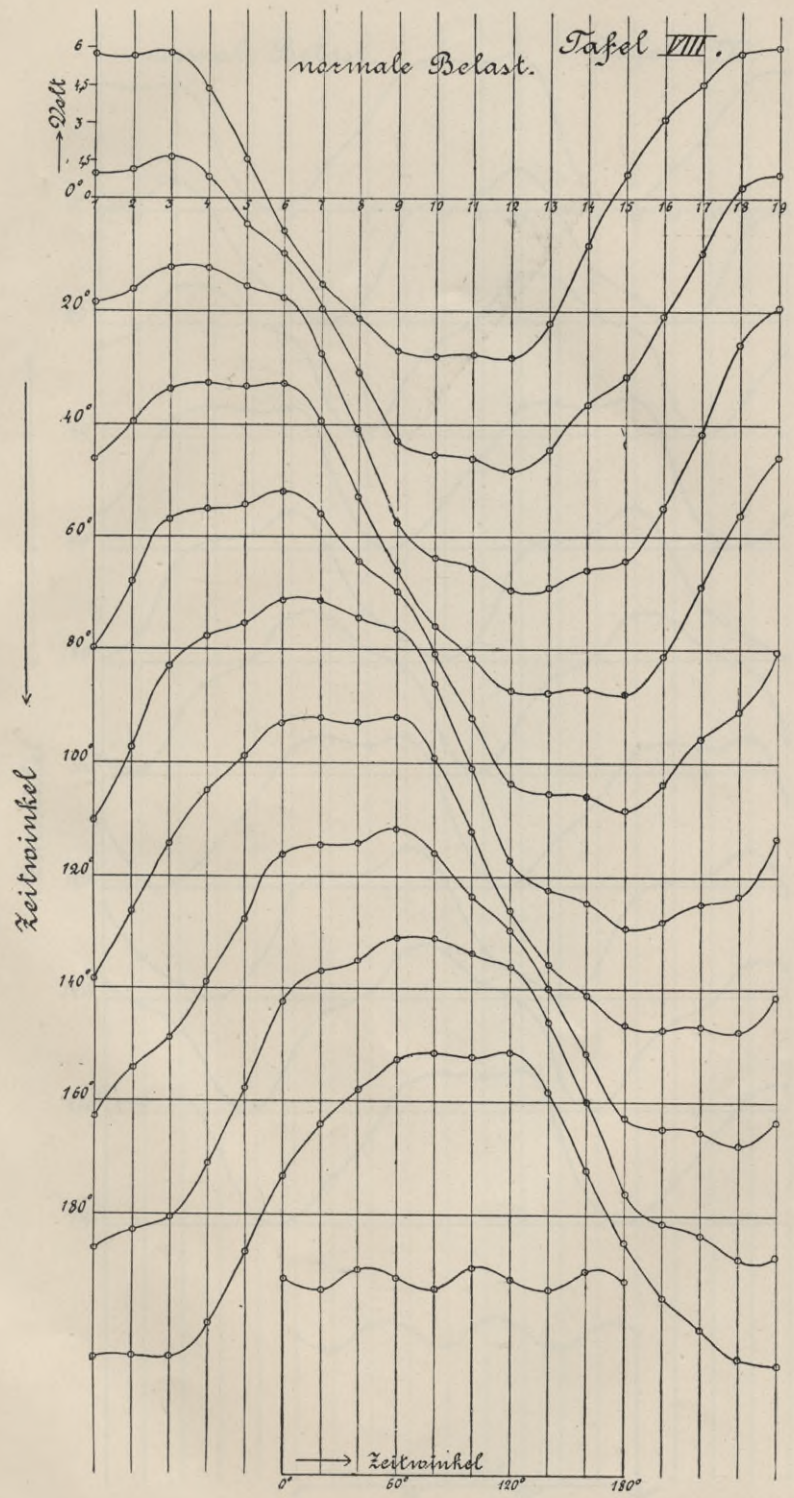


halbe Belast.

Tafel VII.

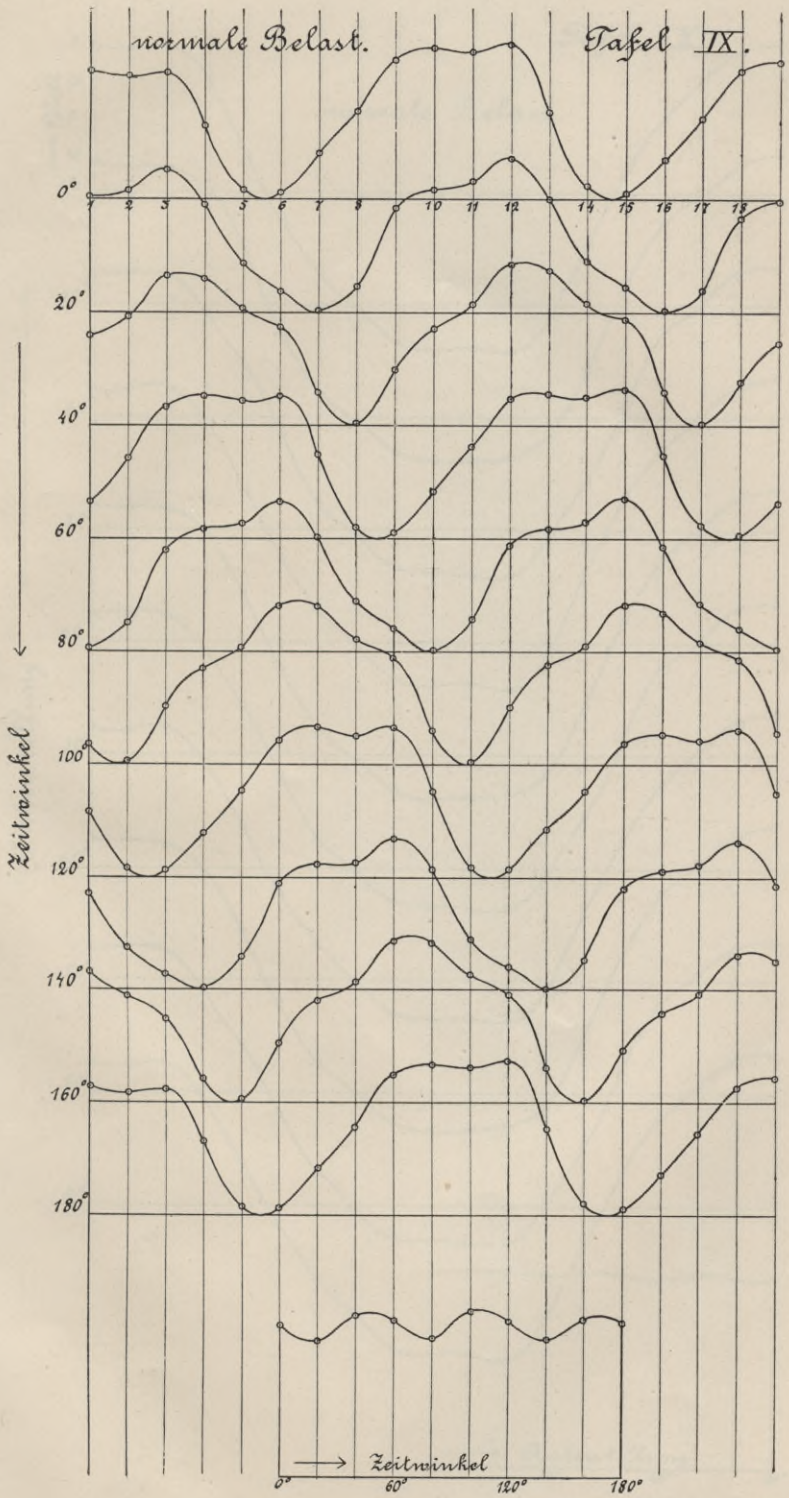


normale Belast. Tafel VIII.

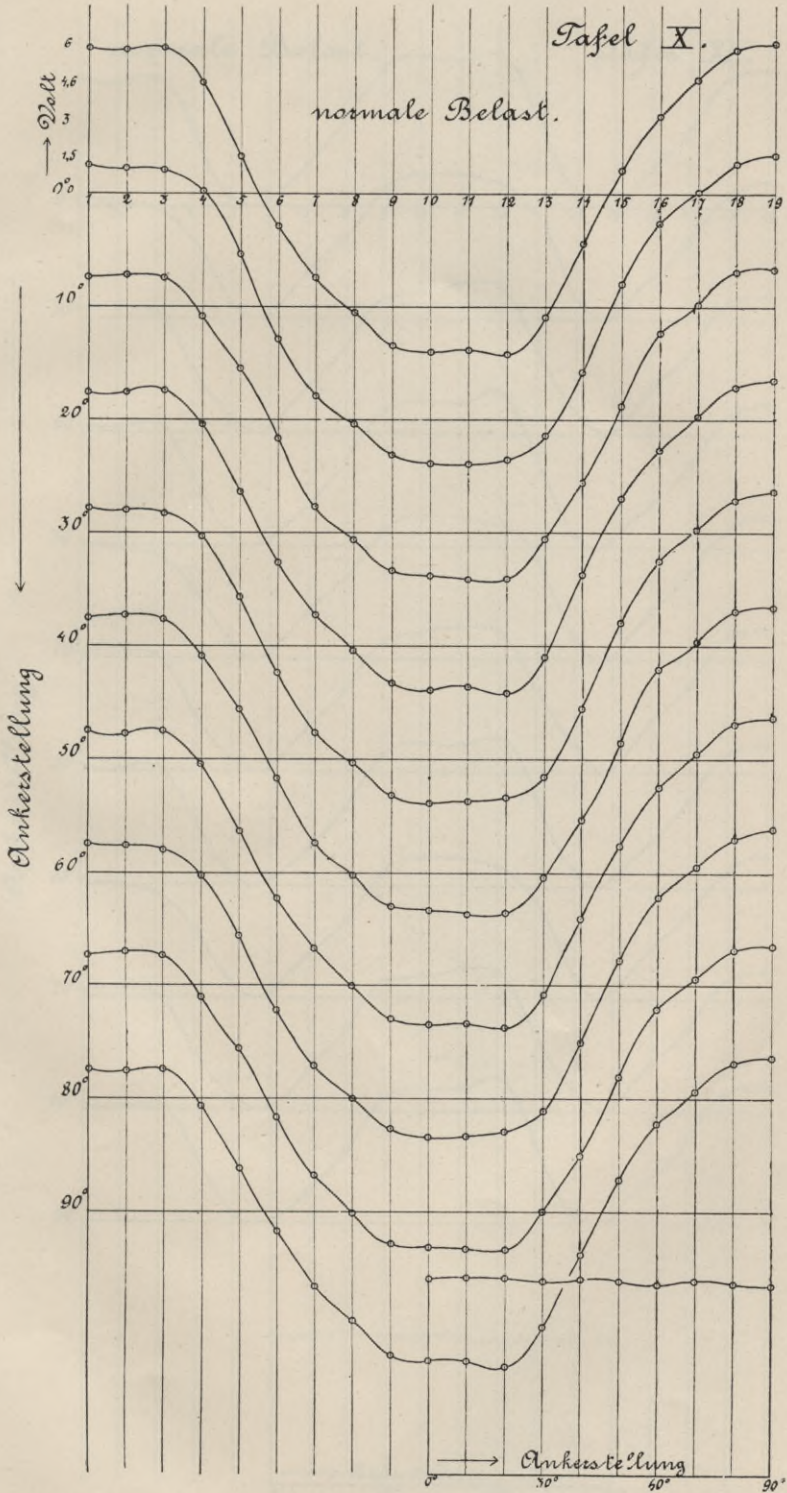


normale Belast.

Tafel IX.

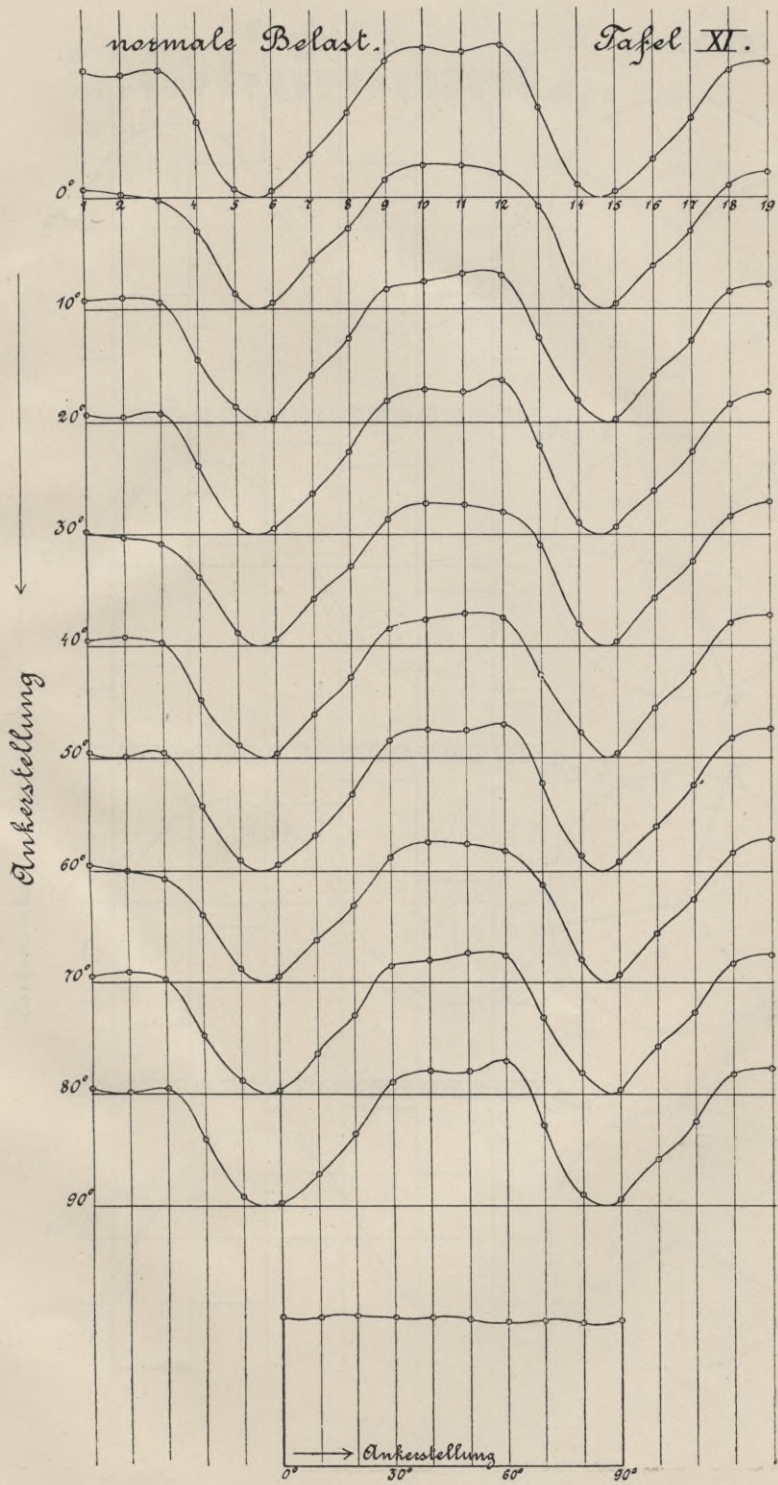


normale Belast.



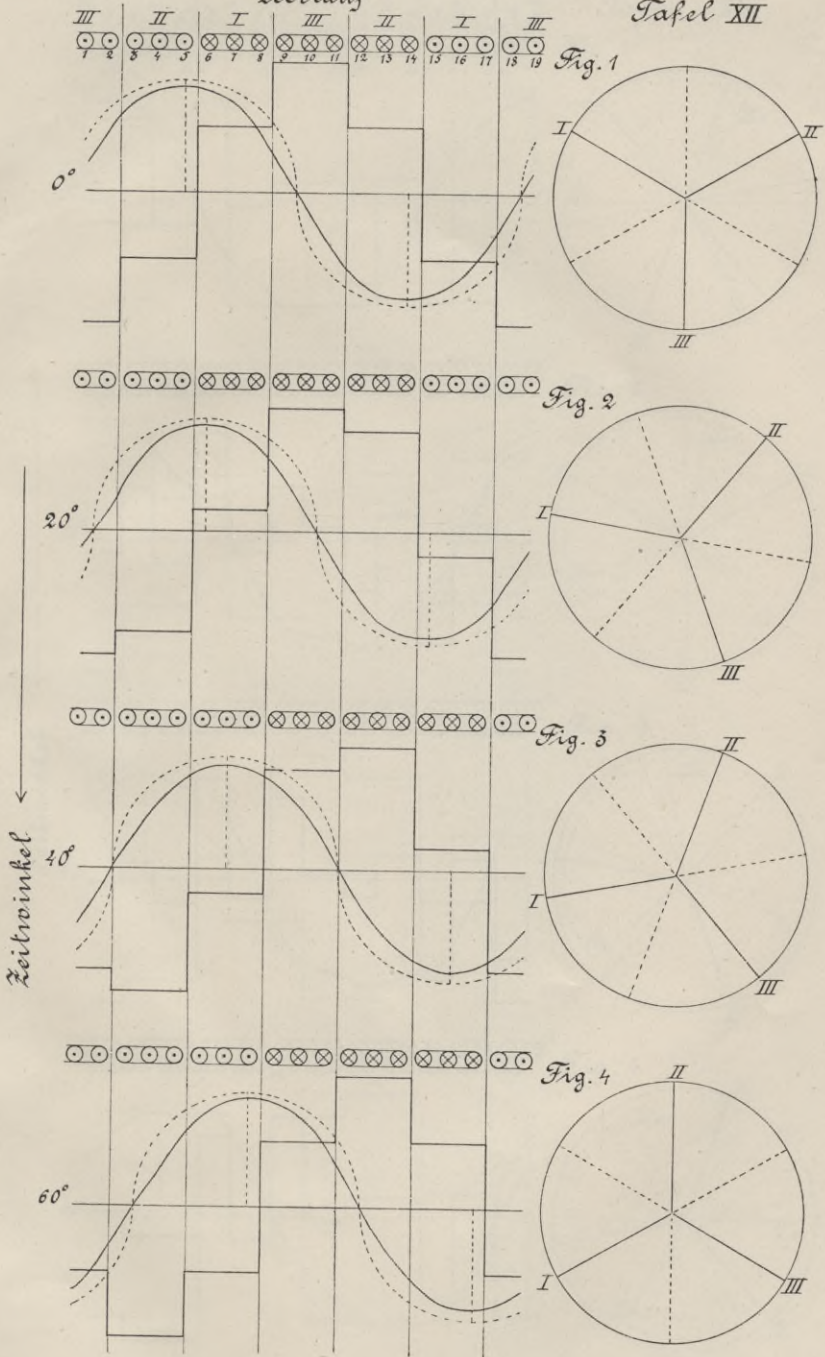
normale Belast.

Tafel XI.



Leerlauf

Tafel XIII



Tafel XIII.

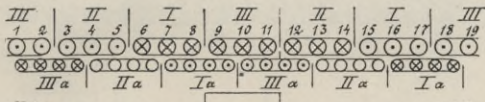


Fig. 1

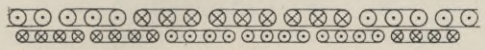
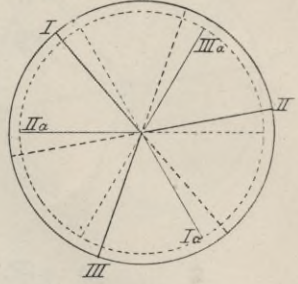
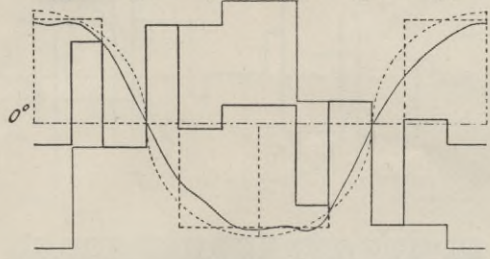


Fig. 2

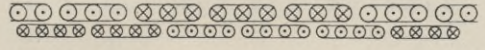
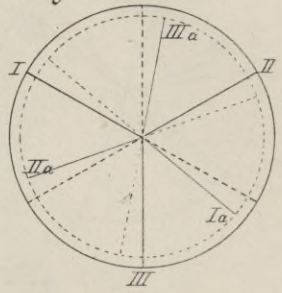
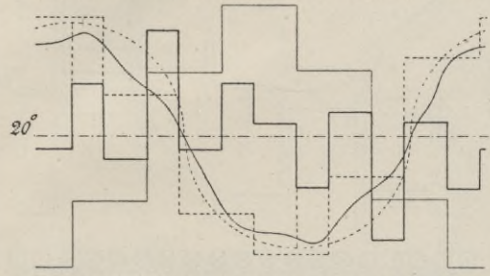


Fig. 3

Zeitwinkel

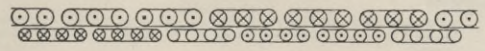
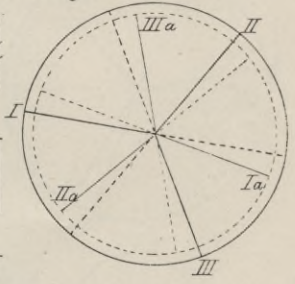
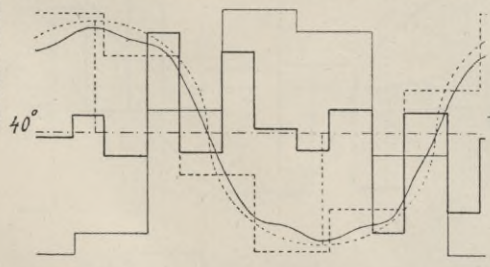
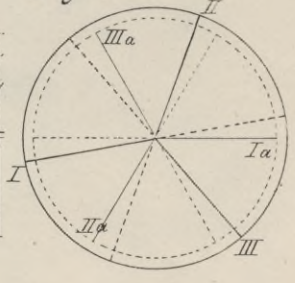
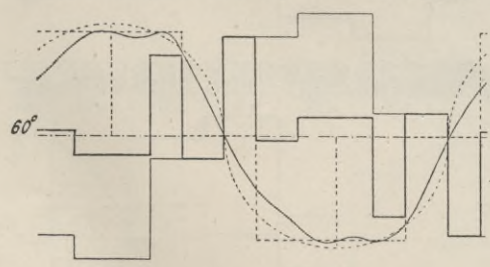


Fig. 4



Tafel XIV.

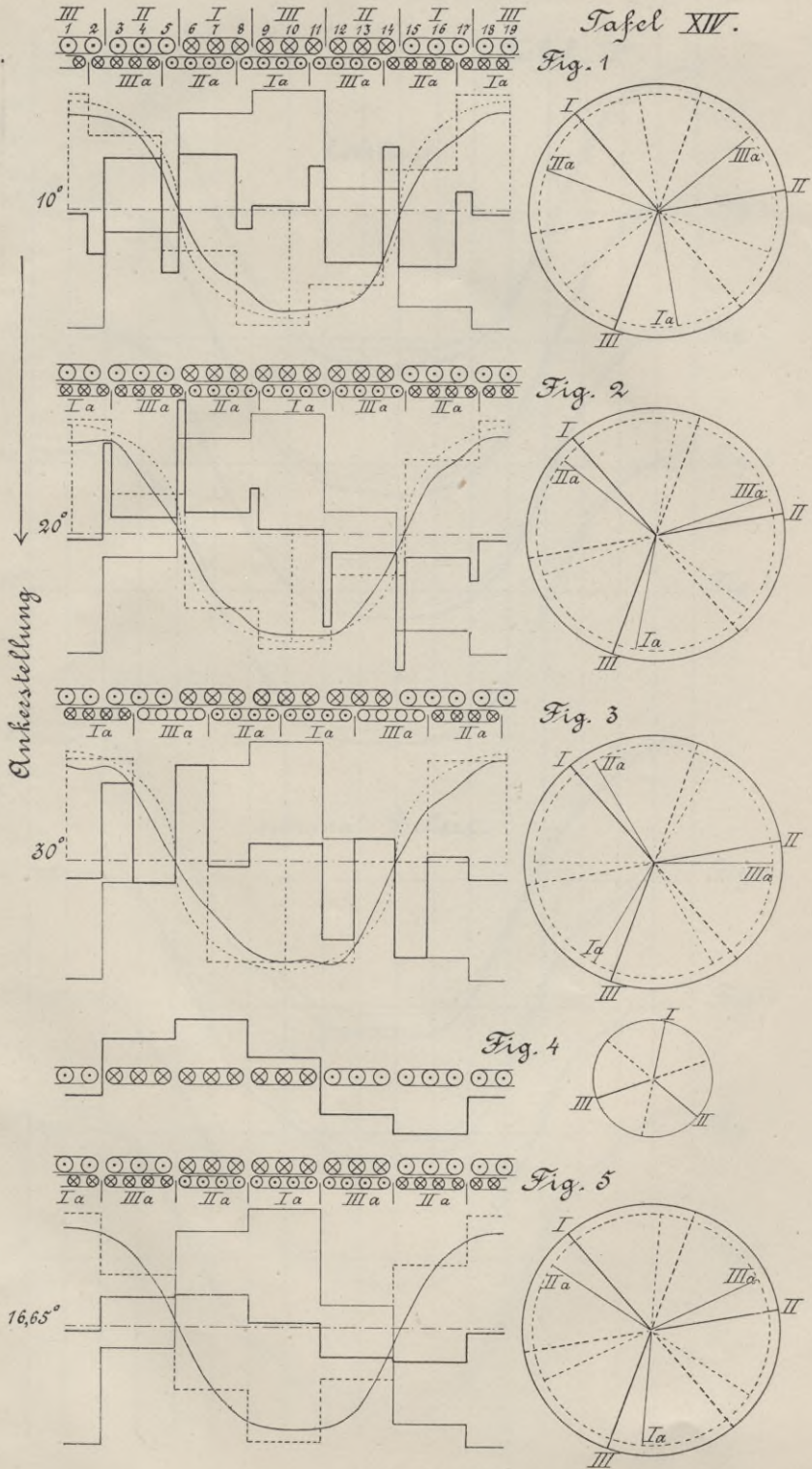


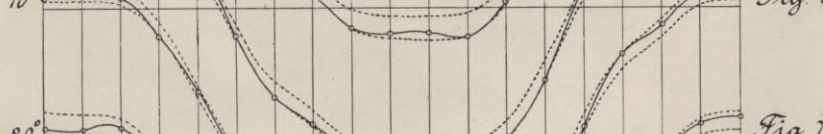
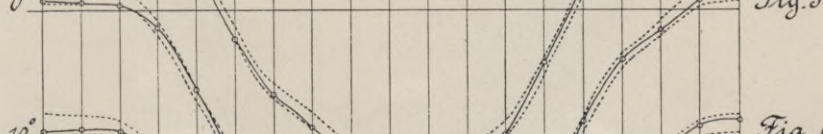
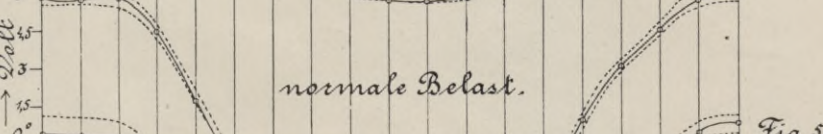
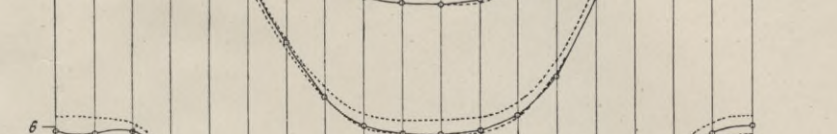
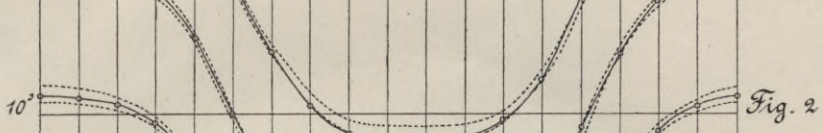
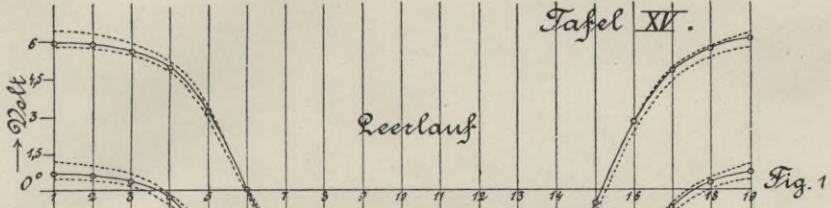
Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 5



normale Belast.

S. 61

110

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

32260

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299728