Persistenter Identifier:	1532432313942_34
Titel:	Mitschrift zu Allgemeine Elektrotechnik und Elektrotechnische Messkunde von [Wilhelm Dietrich] durch Ludwig Kieninger 1897-1900
Autor:	Dietrich, Wilhelm
Ort:	Stuttgart
Datierung:	1897-1900
Signatur:	UASt 60/34
Strukturtyp:	volume
Lizenz:	https://creativecommons.org/publicdomain/mark/1.0/deed.de
PURL:	https://digibus.ub.uni-stuttgart.de/viewer/image/1532432313942_34/1/

Elektrotechnik.

Ludwig Kieninger

Ludwig Kieninger hat nach Feststellung der Univ. Verwaltung v. 1897–1900 Maschinenbau studiert und Diplom als Maschinenbauer bekommen.

Valerungen:
Dietrich Allg. Elektrotechnik 2. Jahr W.S. für Studierende der elektro-technischen Richtung } die Vorlesung

3. Jahr W.S. für Maschineningenieure

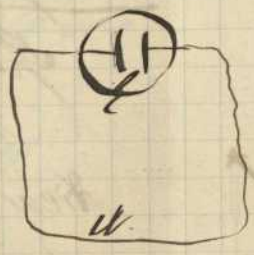
Dietrich Elektrot. Meßkunde I SS 2 Stunden f. Maschinen- und Elektrotechniker

W. Buder 18.2.79

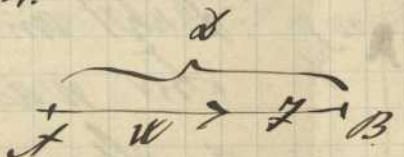
Allgemeine Elektrotechnik.

Ohmsche Gesetz.

$$J = \frac{E}{W}$$



Strom = Elektrom. Kraft : Widerstand.
Es wird sich gewöhnlich nur um
Stücke von Stromkreisen handeln.
Zwischen A u. B herrsche eine
Spannungsdifferenz δ
B sei der schwächere Strom.
Der Strom fließt also von A nach B
Es ist daher



$$J = \frac{\delta}{W} \qquad (1)$$

1 Amp. = $\frac{1}{10}$ absol. Stromeinheit
1 Volt = 10^8 absol. Spannungseinheit
1 Ohm = 10^9 absol. Widerstandseinh.

Absol. Stromeinheit $L^{1/2} g^{1/2} s^{-1}$
" Spannungseinh. $L^{3/2} g^{1/2} s^{-2}$
" Widerstandseinh. $L\, s^{-1}$

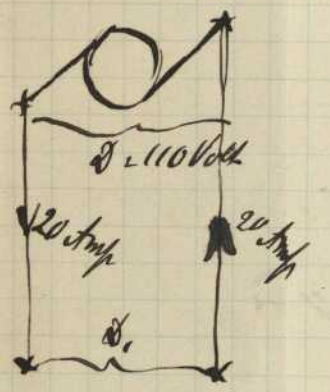
} aufgestellt im Elektromagnet. Maßsystem.

2)

$J = \frac{d}{W}$ $d = JW$

Spannungsverlust in einem Leiter = Strom × Widerst.

<u>Beisp.</u> Man habe einen Generator Spannungsdiff. an den Enden 110 Volt. Es gehen von den Enden aus 2 Leiter. Diese Leiter führen zu einem Stromverbraucher der 200 m entfernt sein soll vom Generator. Draht aus Cu u. habe 12 qmm Querschn. Für was für eine Klemmenspannung ist der Stromverbraucher zu bauen? Spannungsverlust ist d.



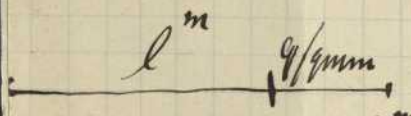
$$d = JW$$

$$= 20\,A \times \underbrace{\frac{1 \cdot 400^{m}}{55 \; 12^{mm^2}}}_{0{,}61\,Ohm}$$

$$d = 12{,}2 \text{ Volt.}$$

da der Generator 110 Volt hat somit Stromverbraucher

<u>97,8 Volt</u>



Widerst. in Ohm $= \frac{\sigma \cdot l^{m}}{q^{mm^2}}$

Widerstand. Koeff. $= \frac{1}{60}$ bei Cu $t = 0°$ $\sigma = \frac{1}{10}$ Fe

gewöhnlich für Cu $\sigma = \frac{1}{55}$

Berech. des Arbeitsverlustes.

Wärmemenge in einem Draht

$$J^2 W = 400 \cdot 0{,}61 = 244$$ ~~Voltampère~~ Watt

9,81 Watt = 1 Kmkg

1 PS = 9,81 . 75 Watt = 736 Watt

Eine PS ist äquivalent mit einer ~~Kraft~~ Arbeit von 736 Watt.

Ebenso $J\mathfrak{E} = 20 \cdot 12{,}2 \cdot 244$ Watt.

2) Beispiel. Es möge mit dem Betrieb eines Gen. eine mech. Kraft von 50 PS verwendet werden. Es möge die damit erhaltene elektrische Energie 3 km weit fortgeleitet. Berechnung der Leitung. Es dürfen nur 10% Strom verloren gehen?

Es sei möglich für jede PS 660 Watt zu erhalten. Es gehen daher in die Leitung hinein eine Energie von

$$50 \cdot 660 = 33000 \text{ Watt}$$
$$= 33 \text{ Kilo Watt.}$$

Es ist der Verlust in einer Leitung

$$J^2 W = 3300$$

Wie groß soll die Spannung des Generators sein die Klemmenspann. sei $\mathfrak{E} = 2000$ Volt. Die Spannung

dass man größer als je länger die Leitung.
Elektrische Arbeit.

$$N_e = JE$$

$$3300 = J \cdot 200$$

$$J = \frac{3300}{200} = 16{,}5 \text{ Amp.}$$

Man hat somit.

$$J^2 W = 3300$$

$$16{,}5^2 W = 3300$$

$$W = 12{,}1 \text{ Ohm.}$$

$$W = \frac{\sigma L^m}{q^{mm^2}}$$

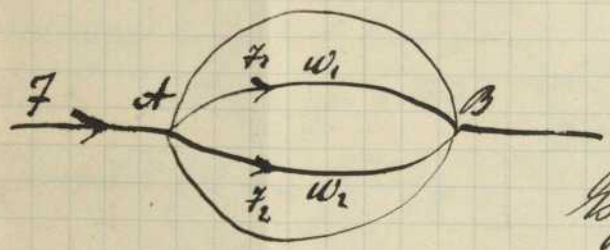
$$12{,}1 = \frac{1 \cdot 6000}{55 \; q^{mm^2}}$$

$$q = 8{,}25 \text{ qmm}$$

$$\delta = 3{,}24 \text{ mm.}$$

Man wählt einen Draht von 3,3 mm Ø

<u>Beispiel.</u> Wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen A u. B. Was ist der Ersatzwiderst. dieser 4 geschalteten Stäme



Es gilt das Gesetz:

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3}$$

Spannungsdifferenz

$$J\,w$$

Sind mehr 2 Ströme vorhanden

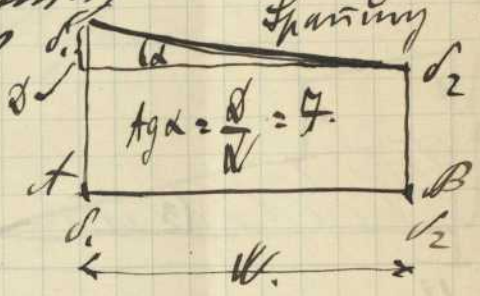
$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}$$

$$W = \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}$$

$$J \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}$$

Wie gestaltet sich nun das Ohm'sche Gesetz wenn es sich um eine elektromotorische Kraft handelt?

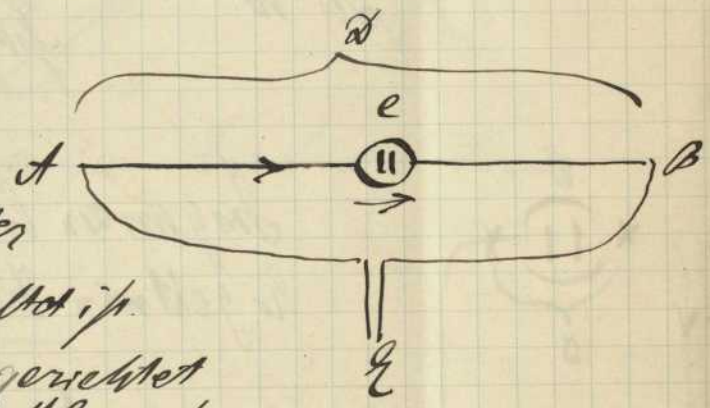
Graph. Darst. der Abnahme der Spannung



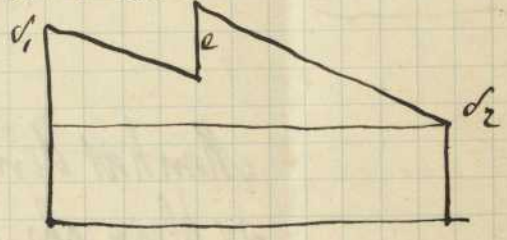
Hat jeder Punkt des Leiters eine gewisse Spannung. Sei Span. am Anfang δ_1 am Schluss δ_2 so entspreche die Länge AB dem Widerstand W. Man trage in A δ_1 auf u. in B δ_2

Die Spannung ändert sich proportional dem durchl. Leiter.

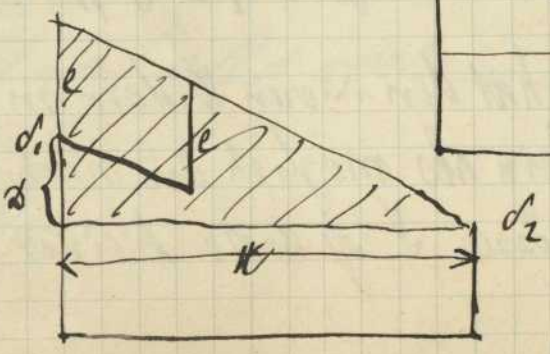
Was besteht nun für eine Beziehung wenn im Stromleiter eine elektrom. Kraft e eingeschaltet ist.



1) Elektrom. Kraft e sei gleichgerichtet mit dem Strom die elektrom. Kraft e fügt sich zur elek. Kraft E hinzu

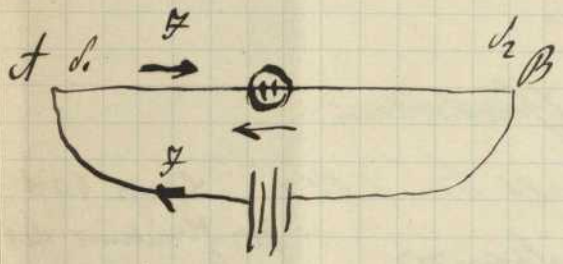


Man hat die Gleichung wenn es sich um eine gleichsinnige elek. Kraft.

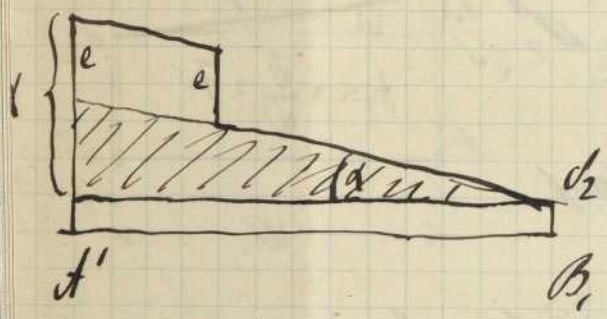


$$tg\alpha = J = \frac{e + \delta}{W}.$$

Handelt sich nun um eine elektrom. Gegenkraft. Ergänzt man die Figur so erhält man wieder ein Dreieck. Man hat dann.



$$A_g \alpha = J \cdot \frac{\delta - e}{W}$$

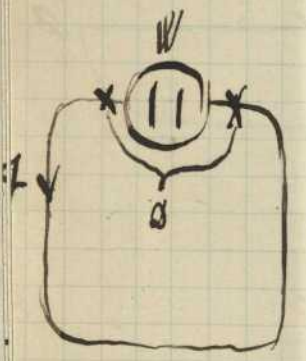


Wichtige Anwend. des Ohm'schen Gesetzes

Man habe ein Element von der el. Kraft. der Widerst. desselben sei W. Widerstand der Leitung sei w.

Spannung verlust im Element

$$J W$$



Im ganzen liefert aber das Element k. so geht von J W weg. somit. Elektrom. Kraft

$$k = \delta + J W$$
$$\delta = k - J W.$$

Hauptgleich. für einen Generator.

Man hat den inneren Widerstand eines Generators so klein als möglich zu machen. Man sieht dass je größer J ist desto kleiner wird die Klemmenspann.

Angenommen $J_{es} = 0$ so ist dann (offenes Element)

$$\mathcal{E} = E$$

Klemmenspan. u. elektrom. Kraft sind identisch.
Für den äusseren Strom gilt.

$$\mathcal{E} = J w$$

Ohm'sche Gesetz.

$$E = J(W + w)$$

$\mathcal{E}$ Nutzgef. w Nutzwiderst
E Gesamtgefälle W Gesamtwiderst

$$\frac{\mathcal{E}}{E} = \frac{w}{W + w}$$

$$\mathcal{E} = E \frac{w}{W + w}$$

Schliesst man das Element kurz d.h. $w = 0$
so sagt die Gleich. dass $\mathcal{E} = 0$. ist.
Lässt man w wachsen so wächst $\mathcal{E}$
Der offene Generator hat die Klemmenspan. $\mathcal{E}$ = der elek. Kraft

Arbeitsleistung der Generatoren.

Elektrische Arbeit welche ein Generator abgiebt. ist.

$$J E \text{ Watt.}$$

Es geht ein Teil im Element selbst verloren. so
hat man Nutzarbeit:

$$J \mathcal{E} \text{ Watt.}$$

Die beiden Arbeiten unterscheiden sich durch

$$J\mathcal{E} - \mathcal{E}J = \mathcal{E}(\mathcal{E} - J) = JJW.$$

Verlust im Element $= J^2W$

Güteverhältniss der Gesammtarbeit zur Nutzarbeit sei μ_e

Bei Dynamom. $\mu_e = 96\%$

Wirkungsgr. $\underline{\mu_e = \frac{\mathcal{E}J}{J\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}} = \frac{w}{W+w}}$

Dieser Ausdruck bezieht sich hauptsächlich auf Batterieen. Soll der Wirkungsgrad eines Generators nicht unter 80% herunterg[illegible]

$$0{,}8 < \frac{w}{W+w}$$

$$0{,}8W + 0{,}8w < w$$

$$0{,}8W < 0{,}2w$$

$$4W < w$$

Soll also der äussere Widerst 4 mal so gross sein als der innere Widerstand

<u>Physikalische Aufgabe</u> (technisch unwichtig) Bei welchem äusseren Widerstand W liefert ein Element die grösste äussere Arbeit?

$$M_{ax} = JJ = J(\mathcal{E} - JW)$$

$$\frac{d(JJ)}{dJ} = 0$$

$$0 = E - 2JW$$

$$J = \frac{E}{2W}$$

Allgemein ist

$$J = \frac{E}{W+w}$$

Somit muß daher sein:

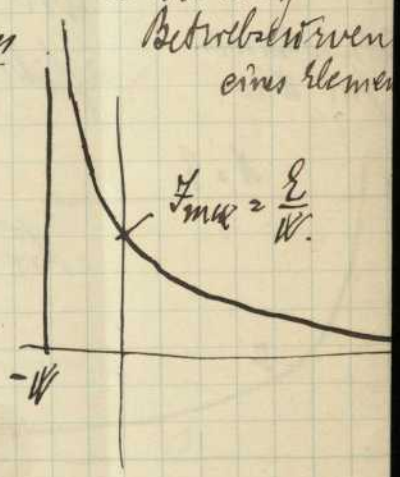
$$W + w = 2W$$

$$W = w.$$

Macht man die beiden Widerst. gleich so erreicht die Arbeitsleist. nach außen hin ein Max.
Technisch ist dies falsch da der Wirkungsgrad

$$\eta_e = \frac{w}{W+w} = \frac{1}{2} = 50\,\% \text{ wäre zu nieder}$$

<u>Verhalten des Stromes bei variablen Widerständen</u>



Angenommen E u. W konstant (man begeht allerdings einen kleinen Fehler.
Für den Strom hat man:

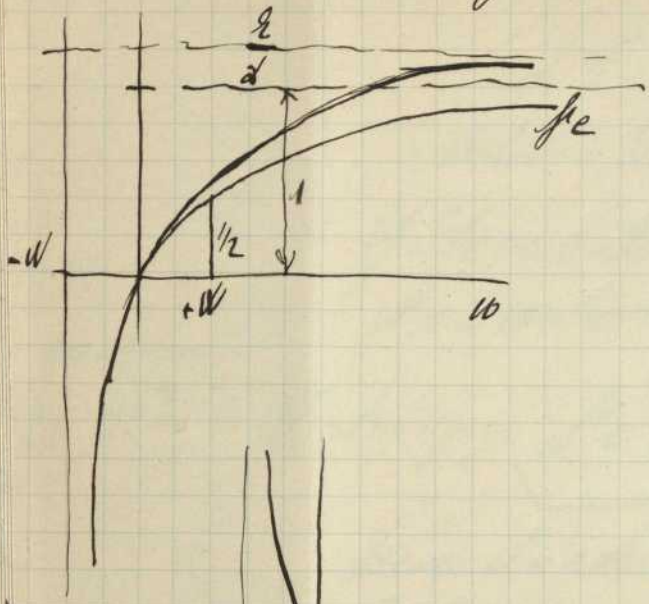
1) $J = \frac{E}{W+w}$

stellt eine Gleich. eines gleichseitigen Hyperbel dar.

2) Klemmenspan.

$$\mathfrak{D} = E\,\frac{w}{W+w}$$ Gleich. einer gleichseitige Hyperbel

Kurve geht durch 0. Je Kurve hat eine Asymptote im Abstand 1.

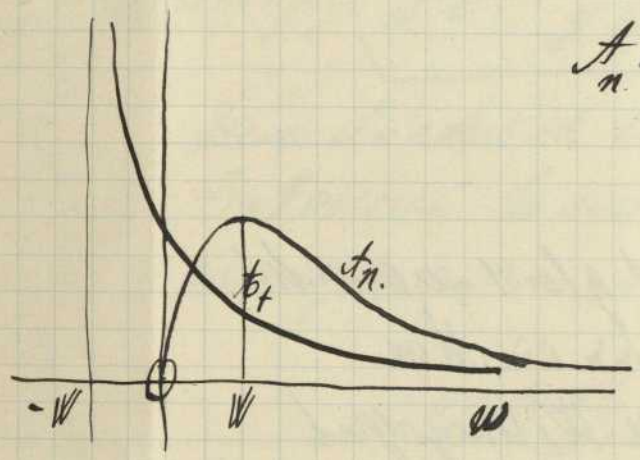


Gesamtarbeit.

$A_t = JE$. gleichseitige Hyperbel

Nutzarbeit

$$A_n = JD = \frac{E}{W+w} \cdot \frac{Ew}{W+w} = \frac{E^2 w}{(W+w)^2}$$

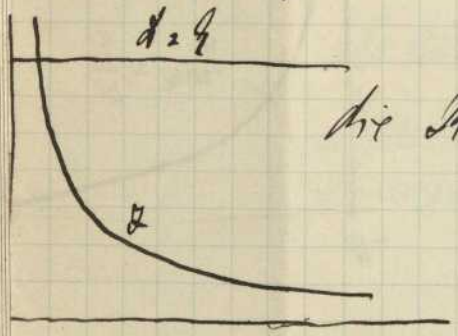


J ist 0 für $w = \infty$ somit hat A_n Kurve w als Asymptote. Für $W = w$ wird A_n ein Max.

Bei Kurzschluss wird $w = 0$ die Kurve geht also durch 0.

Wie wirdes nun aussehen wenn der innere Widerstand W sehr klein ist $W = 0$

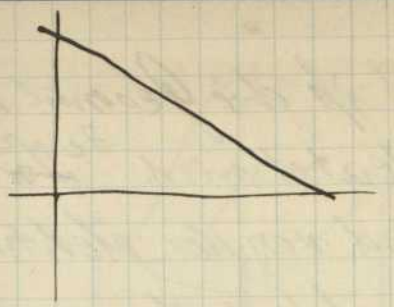
Betriebskurven für $W = 0$



$J = \frac{E}{w}$ gleichseitig. Hyperbel die die Koordinatenachsen zu Asymptoten hat

$D = J\frac{w}{w}$ $D = E$. #e Kurve Abszissenachse

$$\mathcal{E} = k - JW$$



Gleichung einer Gerade.

Nennt man alle äusseren Widerstände durch einen einzigen Widerstand w so beträgt derselbe

$$w = \frac{\mathcal{E}}{J}.$$

In welcher Form lässt sich nun die äussere Arbeit darstellen:

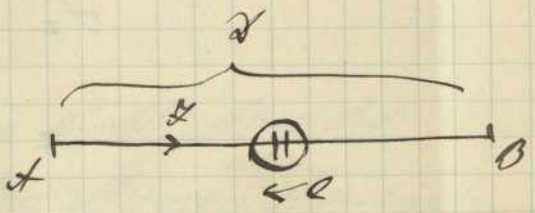
$$\frac{J\mathcal{E}}{J^2 w}$$

$$\frac{\mathcal{E}^2}{w}$$

Der erste Ausdruck gilt für alle Fälle mag anders sein was will der 2te wie 3te Ausdruck gilt nur für den Fall wenn außer nur reiner Widerstand ist.

Wie stehts nun wenn ein elektrom. Gegenkraft im Stromkreis wirkt?

Man hat die Beziehung:



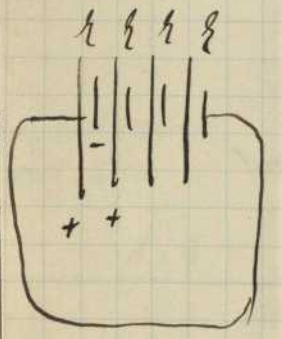
$$J = \frac{\mathcal{E} - e}{w}$$

$$\mathcal{E} = Jw + e$$

$$J\mathcal{E} = J^2 w + Je$$

Jt ist die Gesamtarbeit die zwischen A u. B geleistet wird. $J_e^2 t$ ist die Arbeit die geleistet wird von der elektrom. Gegenkraft. $J^2 w$ ist die Arbeit die aufgenommen werden muss um die inneren Widerst. zu überwinden. Die elek. Gegenkraft ist keine Nutzarbeit. Sie geht nicht verloren sondern wird zurückverwandelt in mech. Arbeit u. zwar ist J_e = Max derselben.

<u>Aufgabe</u> Wenn mit einer Batterie erreicht werden soll ein Strom von der Größe J u. eine Klemmenspannung δ. Ferner habe ein Element eine Elektr. Kraft h u. einen inneren Widerst. W. Wie müssen die Elemente geschaltet werden?



In Serie hintereinander auf Spannung werden die Elemente geschaltet wenn man + mit − der verbindet. Konst. Elek. Kraft δh

Innere Widerst. δW.

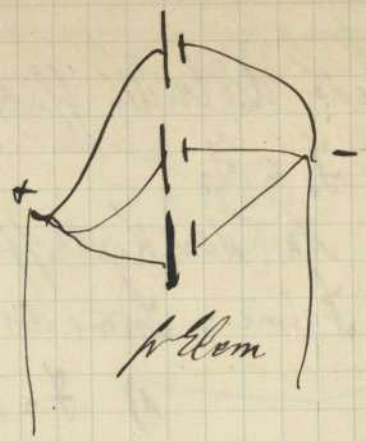
somit $$J = \frac{\delta h}{\delta W + w} \qquad w = \frac{\delta}{J}$$

$$= \frac{\delta h}{\delta W + \frac{\delta}{J}}$$

Ferner kann man die Elemente in Parallelschaltung bringen. Man vereinigt alle + u. alle negat. Pole

Es ist geblieben nur der innere Widerstand hat sich geändert. $\frac{W}{p}$

$$J = \frac{E}{\frac{W}{p} + \frac{\delta}{J}}$$

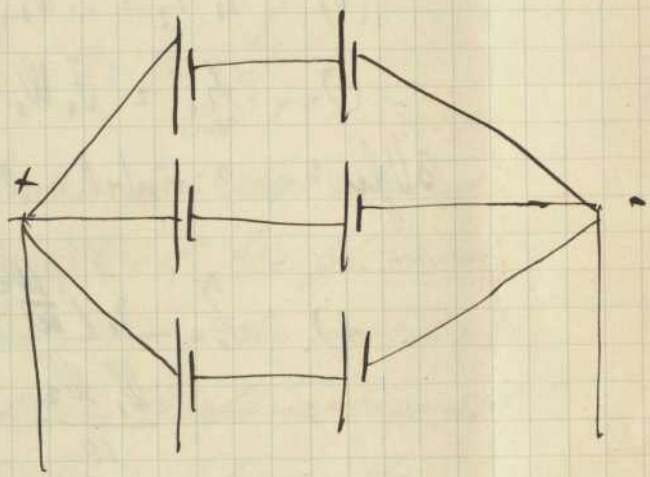


<u>Gruppenschaltung</u> (Vereinig. beider Schaltungen)

Elek. Kr = 2E

Innerer W. $\frac{2}{3}$ W.

$$J = \frac{2E}{\frac{2}{3}W + \frac{\delta}{J}}$$



e) Schalt. der Element II

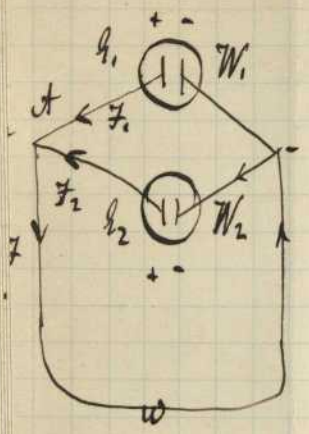
in normalb 3 # durch die beiden Batterienamen

El. Kr. 2E.

Widers $\frac{2W}{3}$

$$J = \frac{2E}{\frac{2}{3}W + w}$$

ist das gleiche wie vorhin. Man sieht daraus die beiden Schaltungen bezüglich ihres Stromes gleichwertig sind. Technisch sind die selben nicht gleich. Die Technik entscheidet erst zu Gunsten der ersteren Schaltung



Jedes der beiden Elemente einen Strom macht u. zwar die Ströme J_1 u. J_2

Nach dem Kirchhoffschen Gesetz ist Summe der ankommenden Ströme = Summe der abgehenden Ströme

$$1)\quad J = J_1 + J_2$$

2tes K. Ges. E_2 ist die Summe der elektrom. Kräfte von einem beliebig herausgenommenen Stück = Produkt der einzelnen Strom u. Widerst.

$$(2)\quad E_1 - E_2 = J_1 W_1 - J_2 W_2$$

$$(3)\quad E_1 = J_1 W_1 + J w$$

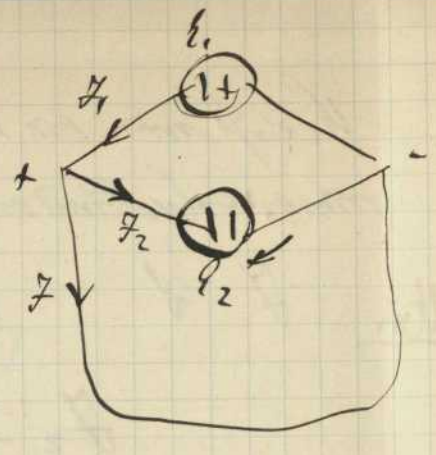
3 Gleich. u. 3 unbekannte Durch Elimination erhält man:

$$4)\quad J_1 = \frac{E_1\left(\frac{W_2}{w}+1\right) - E_2}{\frac{W_1 W_2}{w} + W_1 + W_2}$$

$$(5)\quad J_2 = \frac{E_2\left(\frac{W_1}{w}+1\right) - E_1}{\frac{W_1 W_2}{w} + W_1 + W_2}$$

$$(6)\quad J = \frac{E_2 \frac{W_2}{w} + E_1 \frac{W_1}{w}}{\frac{W_1 W_2}{w} + W_1 + W_2}$$

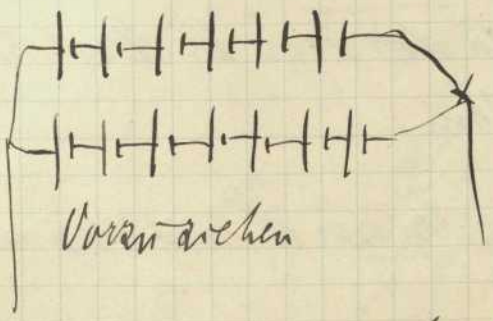
Ausdruck J muss immer + sein. Dagegen kann in Gleich. 4 u. 5 J_1 oder J_2 positiv oder negativ werden. Was bedeutet dies? Technisch erhält man J_1 neg. so ist der Strom falsch eingezeichnet, es fliesst J_1 entgeg.



das bedeutet: dass das Element E_1 immer Strom nicht blos für den äusseren Stromkreis liefert sondern auch für E_2. E_1 hat soviel Strom zu liefern dass Element erwärmt sich verbraucht. Unter welchen Verhältnissen kann dies geschehen d.h. die Ströme umkehren sich nicht. Wenn die <u>elektrom. Kraft</u> des Elem. E_2 kleiner ist als E_1

$$E_2\left(\frac{W_1}{W}+1\right) < E_1 \qquad E_2 < \frac{E_1}{\frac{W_1}{W}+1}$$

2) kann ein Rückstrom stattfinden wenn das Element E_1 einen sehr kleinen innern Widerstand besitzt. wenn grosse elekt. Kraft hat. Dies kann vermieden werden wenn Elemente von gleicher elektrom. Kraft verwendet werden. Dies gilt besonders bei Akkumulatoren da dieselben einen kleinen innern Widerst besitzen. Man umgeht daher wenn möglich Parallelschaltung. Man schaltet daher zwischen jeden Generator eine Sammelschiene um in jeder Zeit den Strom abzulesen



Wie ist nun ein best. Anzahl Element zu schalten um einen bestimmten Strom zu erhalten.

<u>Serienschaltung.</u> J S $w = \frac{S}{J}$ E W.

$$J = \frac{sE}{sW + \frac{S}{J}}$$

$$sJW + S = sE$$

$$s(JW - E) + S = 0$$

<u>Zahl der Element</u> $s = \frac{S}{E - JW}$

<u>Bsp.</u> Lalondesches Element. $E = 1V$ $W = 0{,}6$.

Man will eine Glühlampe von 16K v. 100 Volt mit einer Anzahl dieser Elem. betreiben. Dies Lampe braucht 0,5 Amp. Wieviel müssen hintereinander geschaltet werden?

$$s = \frac{100}{\underbrace{1 - \frac{1}{2}4}_{-1}}$$

Dies ist gar nicht möglich da der Innere W. größer gross ist. Ist $W = 2$ Ohm

$$s = \frac{100}{1 - \frac{1}{2}2} = \infty$$ Innere W. nahezu gross

$W = 1$ Ohm

$$s = \frac{100}{1 - \frac{1}{2}} = \underline{200}.$$

Gruppenschaltung

s Elem. hintereinander

p " in Gruppen.

$$J = \frac{sE}{\frac{sW}{p} + \frac{D}{J}} \qquad (1)$$

Anzahl der Elemente ein Min.

$$sp = \text{Min.}$$

$$s = \frac{2D}{E} \qquad p = \frac{2\theta W}{E} \qquad (2)$$

Innerer Wider.

$$\frac{sW}{p} = \frac{2DW}{E \cdot JW} = \frac{D}{J}$$

$$\boxed{w = \frac{D}{J}}$$

Giebt mit einem Wirkungsgrad von 50% Betriebsstrom an Lok.

Wirkungsgrad nun gegeben

$$J = \frac{sE}{\frac{sW}{p} + \frac{D}{J}} \qquad (1)$$

$$\eta_e = \frac{D/J}{\frac{sW}{p} + \frac{D}{J}}$$

Man hat gewünschte Strom gew. Wirkungsgrad gew. Spannung

Technisch vorteilhafter

$$\boxed{s = \frac{D}{E\eta_e}} \qquad \boxed{p = \frac{JW}{E(1-\eta_e)}}$$

Bisher war der Strom gegeben. Wie aber die Elemente den Strom J liefern das wissen wir nicht.
Ist i der Strom den die Elemente liefern
Ferner durch p. Strom

$$\frac{J}{i} \quad p = \frac{J}{i}$$

p Gruppen müssen # geschaltet werden. Der Fahrdraht gibt keine elekt. Kraft keinen inneren Widerst. an sondern nur die Klemmenspannung Δ. Braucht eine Batterie von der Klemmenspannung D

$$\frac{D}{\Delta} = s$$ sind hintereinander zu erhalten

um den Strom J zu erhalten. Sind die Klemmenspan. so sind Elemente einzuschalten. Entnimmt man einen Strom J in der Zeit t Std. so hat die Batterie eine Capacität Jt Amperestunden.
Die Größe des Stromes ist abhäng. von der Größe der Elektroden.

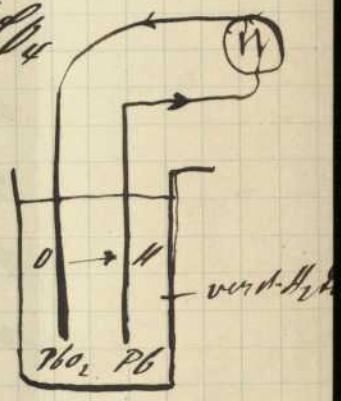
1 Coulomb transportiert in 1 Sek. einen Strom v. 1 Amperestunde = 3600 Cl. Eine Batterie liefert in t Sek. eine Arbeit.

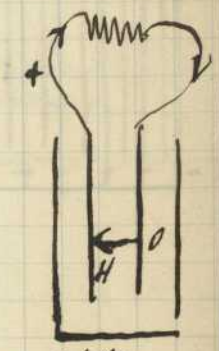
$$J D t \quad \underbrace{\text{Voltamperesek.}}_{\text{Wattstunden}}$$

Akkumulatoren.

Bleiakkumulatoren

Einentladener Bleiakk. besteht aus 2 Bleiplatten dort in einem Gefäß mit verdünnter H_2SO_4 stehen die Platten sind mit einer ~~Menge~~ geringen Menge von Bleisulfat $PbSO_4$ u. Bleioxyd PbO umgeben. Es gehe man Strom durch den Akkum. Es wird H_2O frei u. zwar wirkt H auf der rechten Seite reduzierend u. O auf der linken oxydierend. Es bildet sich PbO_2 Bleisuperoxyd u. Pb. Mit der Zeit entwickelt sich kein H mehr d. h. der Akk. ist geladen. Schaltet man die Lademaschine aus. u. schaltet einen Widerstand ein d. h. einen Stromentnehmenden Körper so kehrt sich der Prozess um. Die PbO_2 Platte wird + die reine Bleiplatte negativ. Der Strom geht von PbO_2 durch den Widerstand hindurch in die Pb Platte es wird H frei O verbindet sich mit Pb zu PbO und mit PbO_2 zu $PbSO_4$. Plante' fand daß die Capacität des Akk. abnimmt bei häufiger Ladung u. Entladung u. daß sich mit der Zeit an der neg. Platte eine schwammige Masse von Bleisuperoxyd niederschlug.

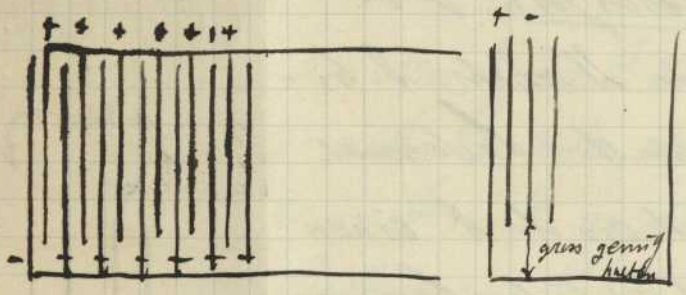




Akkumul. v. Faure bringt von vornherein Mennige auf die linke + Platte auf die rechte bringt er Bleiglätte. Hat zum Schluß das Material Platz bricht die in Bleisuperoxyd überführte Mennige fällt heraus. Ferner ändert sich das Volumen der positiv. Platte dies hat bei der vollen Planté Platte nichts zu sagen während bei der Faure Platte.

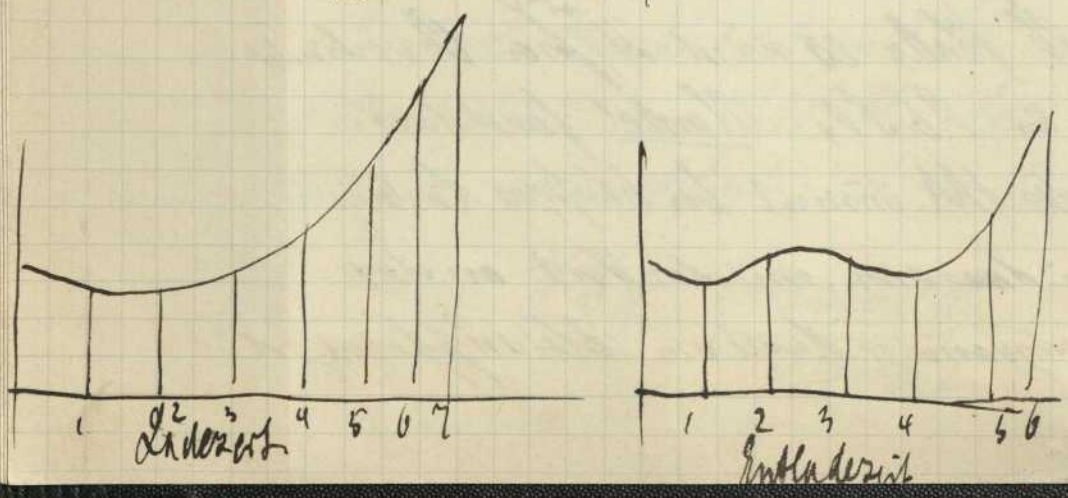
$Pb_3O_4 + O_2 = 3PbO_2$
Mennige Bleisuperoxyd

Diese Akkumul. haben sich nicht lange gehalten. Akkumgesellsch. in Hagen hat ~~die~~ eine Platte von Planté genommen und nach Faure formiert. Es zeigte sich nach einem Jahre der Zerfall der Faure Platte während eine Zunahme der darauf befindlichen Bleisuperoxyd ~~Platte~~ von Planté Platte zu konstatieren war.



Vorgänge beim Laden u. Entladen

Der innere Widerstand wächst mit der Größe der Ladung die Gasblasen die sich an den Platten ansammeln vergrößern den innerl. Ebenso wächst der innerl. gegen Ende der Entladung.



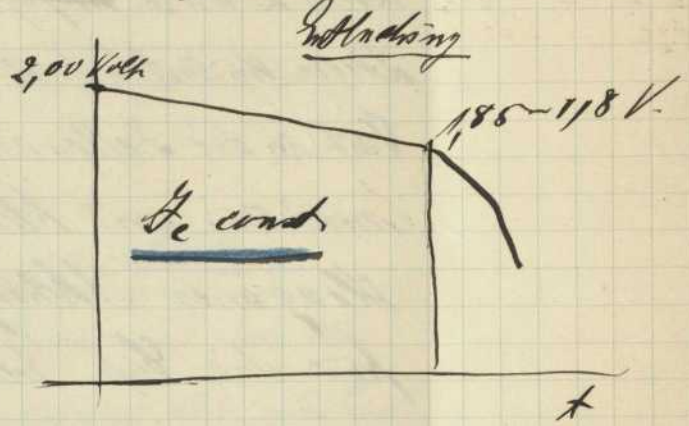
Elektr. Kraft eines Akk. wächst beim Laden u.
fällt bei der Entlad. El. Kr. berechnet

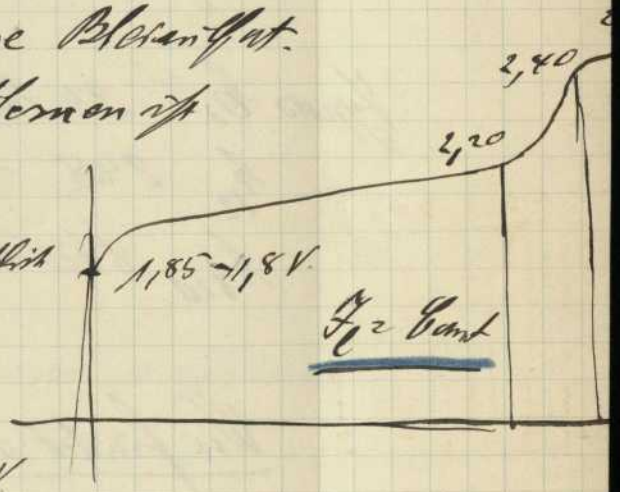
$$E = E + IW$$

Entladung

$$E = E - IW.$$

Entl. geschieht zuerst groß
die Zeit bis 1,85 – 1,80 V.
Hier fällt auf einmal die Entladung rasch.
Man hört hier gewöhnlich auf zu entladen
Entladet man weiter so bildet sich eine Bleisulfat-
bildung die nicht so leicht mehr zu entfernen ist
Beim Laden verhält es sich anders.
Die Spann. steigt rasch u. geht allmählich
langsamer bis 2,20 V. von hier an
bilden sich Gasblasen. Ladet man
weiter so steigt die Spann. rasch bis 2,4 V.
dann geht es wieder langsam weiter bis 2,65 V.
Hört man mit der Lad. auf so fällt die Spann.
bis auf 2,4 ab. Die Flüssigk. ist dann heftig siedend.
Bei der Lad. u. Entl. ändert auch ferner die Dichte
der Säure u. zwar hat man an Max u. Min
der Dichte bei Lad. u. Entlad. Die Änderung der Säure
proportional den Ampère Stunden. Man kann daher





mittelst einem Voltometer die Kapazität ablesen in Amp.-St.
Für jeden Akk. ist vorgeschrieben die Entlade- u. Ladestärke ~~angegeben~~. Es ist aber besser mit kleinem Strom zu entlad. u. laden, die Gase haben mehr Zeit in die Zellen einzudringen. Die Kapazität nimmt zu mit kleinerem Lade- u. Entladestrom.
Hagener Akkumuls. hat Formel aufgestellt für die Kap. beim Entladen

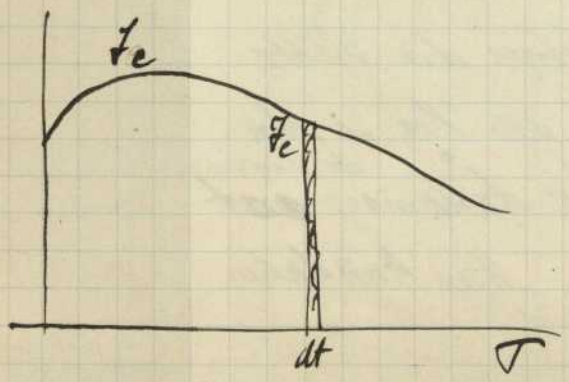
$$C = \frac{m}{J_e^{2/3}}$$ m abhäng. vom Elem.

Typus E_1 24 Std Entnahme 8 Amp. Lad. 3 Std lang
h_{12} 288 " " Max 96 " " 3 " "
h_{320} 8620 " Std 2870 " 9 "

<u>Wie findet man die Kap. des Akk. bei Entlad.</u>
Meistens wird der Akk. mit konst. Strom J_e entlad.

J_e in J Std

somit J_e T Std



Man habe nun Stromstärke dargestellt durch die Kurve wie findet man die Amp. Stunden Zahl.

Coulombmenge

$J_e\,dt$ somit Gesamte Elektrizitätsmenge

$$Q = \int_{t=0}^{t=T} J_e\,dt \quad \text{Amst}$$

Man rechnet den Inhalt der Flächenfläche am besten durch Planimeter.

<u>Welchen Wirkungsgrad besitzt ein Akkum</u>

Man kann sprechen von einem Wirkungsgrad von der Elektr. Menge ferner von dem Wirkungsgrad der Arbeit.

Man lädt einen Strom J_l in der Zeit T_l

Man holt heraus J_e in T_e

somit Wirkungsgrad

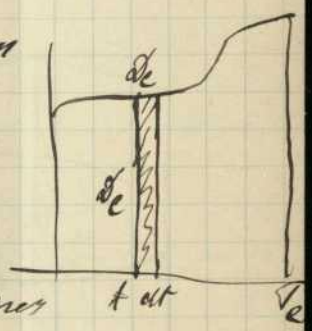
$$\eta_{Akku} = \frac{J_e \cdot T_e}{J_l\,T_l}$$

Bei der guten Bedienung kann man auf einen η von 96 % in Praxi <u>90 %</u>

Es möge geladen werden mit konstantem Strom Leh. Akkum. die ein Strom liefert

$J\,dt$

Hier haben einen Strom J_e in eine Spannung $\mathcal{E}_e$ somit Arbeit in einer bestimmten Zeit t



$J_e\,\mathcal{E}_e$

Arbeit in der Zeit dt $\quad J_e\,\mathcal{E}_e\,dt$ somit

Gesamtarbeit

$$\int_{t=0}^{t=T} J_e \mathfrak{D}_e \, dt = J_e \int_0^T \mathfrak{D}_e \, dt.$$

Nun ist aber $\int \mathfrak{D}_e \, dt$ die Fläche F_e der Ladungsfläche

$$A_l = J_l F_l$$

Entladungsarbeit

$$A_e = J_e F_e$$

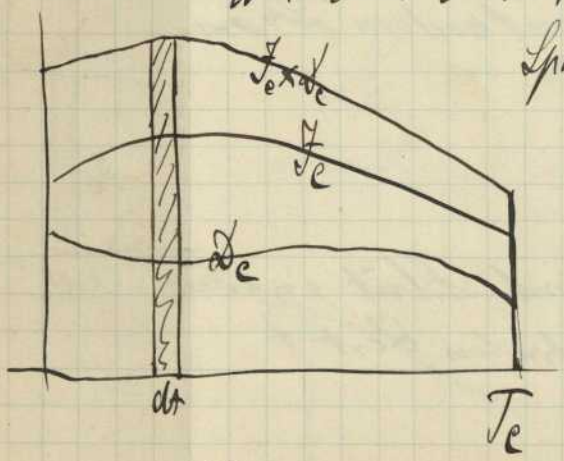
somit Wirkungsgr.

$$\eta_{Wst} = \frac{J_l F_l^{Wst}}{J_e F_e^{Wst}}$$

gibt einen Wirkgrad in Laboratorien 83–86 % in Praxis 75 %, resp. etwas mehr.

Wie sieht es nun wenn J_e nicht konstant ist.

Spannung wird auch Funktion der Zeit sein.



Elementararbeit.

$$J_e \mathfrak{D}_e \, dt$$

Man bilde nun einen 2te Kurve $J_e \mathfrak{D}_e$

Gesamte entladene Arbeit in Watt Stunden

$$A_e = \int_{t=0}^{t=T_e} J_e \, \mathfrak{E}_e \, dt$$

Wirkungsgrad für Amp. St. 90%

" " Watt St. 75%

<u>Beispiel.</u> Akkum. Batterie Kapazit. 1425 Amp St.

$J_e = 427$ A. $T_e = 356$ St.

Entladungszeit $T_e = \frac{1425}{427} = 3\frac{1}{3}$ Std.

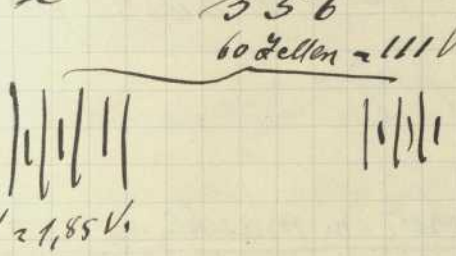
Mehrerh. zum Laden 1425 Amp St

+10% 142,5

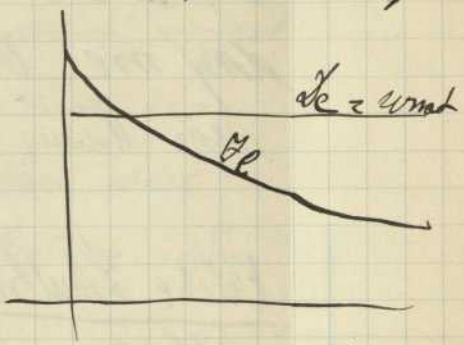
1567,5 Amp St

Zeit zum Laden

$$T_e = \frac{1567,5}{356} = 4,4 \text{ Std.}$$



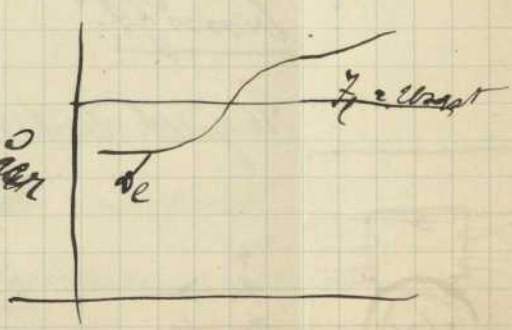
Lad. bei konst. Spann.



Die Kapazität soll größer sein bei Lad. mit konst. Spann. als bei d. mit konst. Strom. Bei ersterem kürzere Ladedauer bei letzterem größerer Wirkungsgrad.

(ist noch ganz best. die Versuche darüber noch angestellt werden)

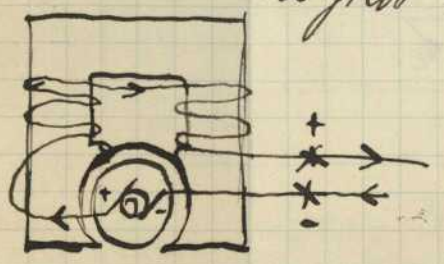
Lad. bei konst. Strom



Entladet man erst in 8 Tage wieder als in 24 Std. so entstehen größere Verluste (10 %) Das Stehenlassen vermindert die Kapacität. Will man die Batterie längere Zeit hindurch nicht benützen so muss sie mindestens alle 14 Tage geladen werden Batterien dürfen nie längere Zeit entladen stehen bleiben sofort muss geladen werden mindest. innerhalb 12 Std. Unterlässt man dasselbe so entsteht eine Bildung von grossen Mengen von Bleisulfat. Man kann aber das Bleisulfat wieder verschwindend machen durch Überladen der Batterie mit schwachem Strom Das schadet der Batterie nichts wenn der Strom noch so stark ist. Das Wasser sowie Säure dürfen nie Chlor enthalten Der Akk. Wärter muss sein Wasser stets auf Chlor prüfen.

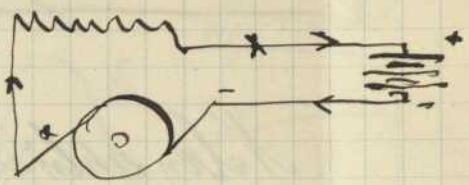
Welche Schaltungen von Gleichstrommaschinen sind üblich u. welches werden Ihnen Linien von Akk. benützt.

Es giebt 3 Arten von Gleichstrommasch.



Eine nebenst Maschine nennt man Serienmaschine oder da der Strom um die Anker fließt Hauptstrommasch.

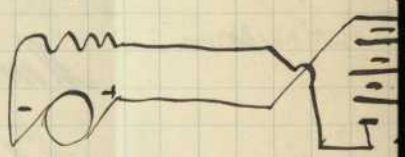
Der Hauptschlussmaschine.



Beim Laufen muss der Gesamt-
Pol der Masch. mit dem ganz
Pol der Batt. verbunden werden.
Bei der Lad. habe die Masch. eine
Elektr. K. E_1. Diese Kraft E_1 stellt sich entgegen
eine Kraft E_2 der Batterie
Nun ist nach dem Ohm'schen Gesetz

$$J = \frac{E_1 - E_2}{\Sigma W}.$$

Ist $E_1 = E_2$ dann Strom 0. E_1 kann sinken durch
kleinere Geschw. der Maschine. Sinkt E_1 weiter
so wird $E_1 < E_2$ der ganze Strom wird negat.
d.h. der Strom geht nach der entgeg. Richtung
Die Batt. entlad. sich. Die Magnet Pole ändern sich
ebenso ändern sich die Pole des Ankers Man
erhält dann einen starken Strom



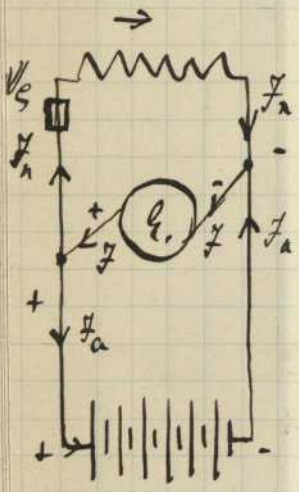
$$J = \frac{E_2 + E_1}{\Sigma W}.$$

Die Maschine hat sich umpolarisiert Man kann
dadurch abhelfen indem man die Pole vertauscht
Durch den starken Strom geht die Masch. sowie Generat.
zu Grunde. Man hat daraus folg. Folgerung.

NB!

Serienmaschinen sind für das Laden von Akkumulatoren nicht zu verwenden

Nebenschlußmaschine.



J_n Nebenschlußstrom

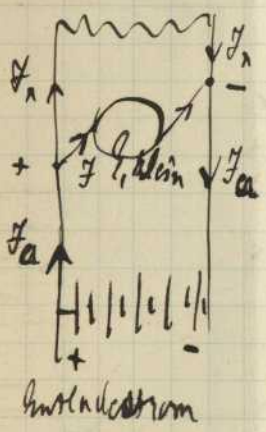
J_a äußerer Strom

$J = J_a + J_n$

In allen Nebenschlußmasch. ist ein Regulierwiderstand eingeschaltet. Mach. laufen, ganze Geschw. nach die elektr. Kraft E_1 wird klein

In den Magneten hat nun keinen Riechstrom

Die Magnete behalten ihre Magnetisierung bei. So ändert sich die Polarisierung der Magnete sowie des Ankers nicht. Es tritt kein Strom von der Größe $\frac{E_1 + E_2}{W}$ auf. Es tritt keine Entladung ein sie laden weiter.

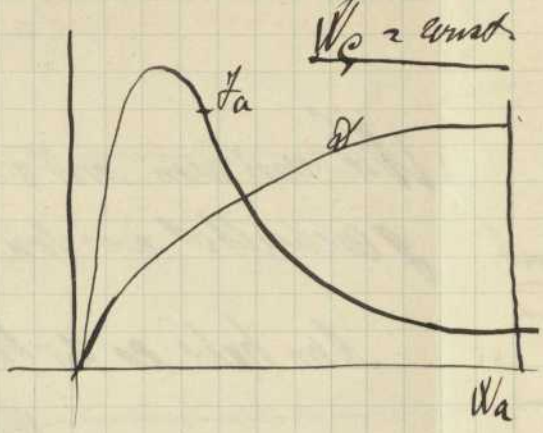


Man kann daher die

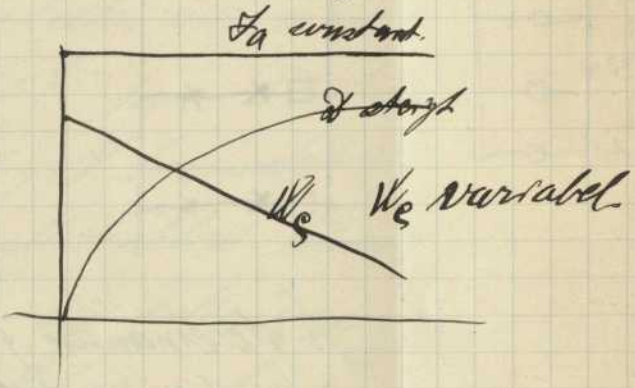
Nebenschlußmaschine als Ladungsmaschine verwenden.

Betriebskurven der Nebenschl. Masch.

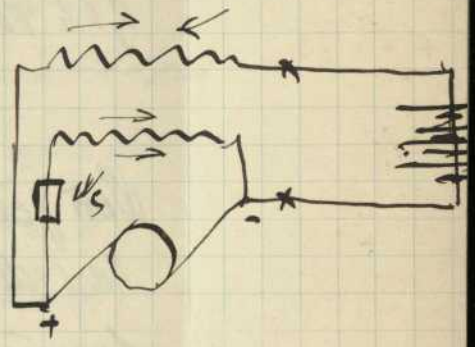
Es ist wie das durch J_a U_a von Belastung. Man hat eine steigende Klemmenspannung u. einen ~~sinkenden~~ ~~äußeren Widerstand~~ Strom.



Durch Verändern des W_ς kann man Strom u. Spann. ändern durch ein kleines W_ς steigt Spann. u. Strom.



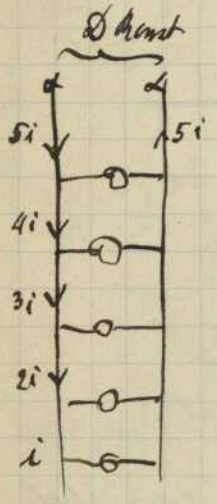
3) Doppelschlussmaschine



Man hat Nebenschl. u. Serienschluss. Man kann die Maschine erbauen dass die Spann. Φ constant bleibt durch Verwend von el. Kr. K. kann ein Umpolarisieren der Masch. stattfinden. Man kann sie daher zum Laden von Akkumul. nicht verwenden. Diese Maschine ist verlassen wird nicht mehr gebaut. Will man trotzdem laden mit dieser Masch. so hat man die Serienschalt. ein-

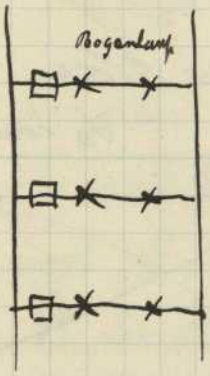
Erhalten oder diese Schaltung klein zu machen
Man nennt die Maschine auch Compoundmaschine.

Wie müssen nun die Dynamos beim Entladen geschaltet werden?



Man habe es hier mit einer Anlage von 110 V.
Wieviel Zellen brauchen wir.
Man darf auf 1,85 V. herab entladen

$$\frac{110}{1,85} = 60 \text{ Zellen.}$$



Wie steht es nun während der Ladung. wenn die Bogenlampen hintereinander geschaltet werden. Spannung soll 2,65 Volt pro Zelle erreichen somit.

$$60 \cdot 2,65 = 159,0 \text{ V.}$$

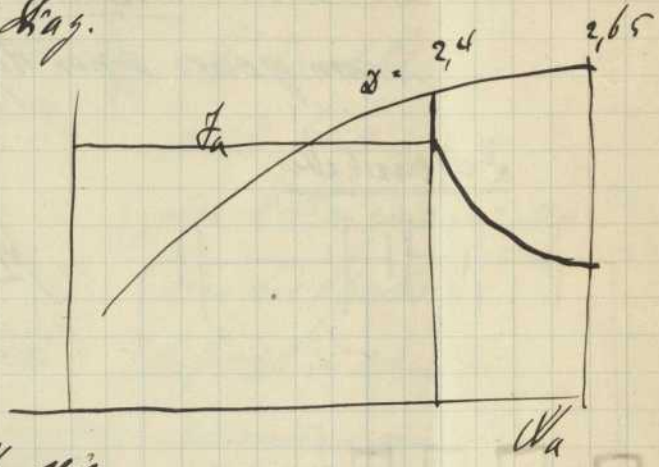
Wenn jede Zelle eine Spannung von 2,65 V. besitzt so darf der Regulierwiderstand W_2 weggenommen werden, darum folgt dass eine Lademaschine grösser gebaut werden muss als wenn man ohne Akkum. ~~gespeist~~ speisen würde. Die Leistung:

$$N = 159 \text{ Watt}$$

Man laden gewöhnl. aber nur jede Zelle auf 2,4 V.

$$60 \cdot 2,4 \text{ Volt} = 144 \text{ V.}$$

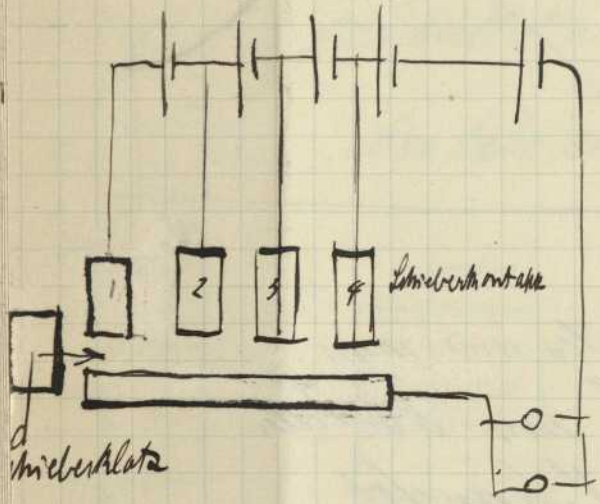
Der Regulierwiderst. wird bei 2,4 V. Spann. eingeschaltet. Dieses giebt nebenanst. Diag.



Die Ladung ist nun erfolgt
Die Akk. werden nun mit konstanter Spannung entladen
Die Span. von 159 V. wird rasch auf 120 Volt. fallen
Die Spannung soll aber ~~auf~~ 110 Volt sein.
~~best~~ Man schaltet daher einige Zellen aus man erhält daher eine Span. von 110 V. mit 55 Zellen
Die Span. fällt bei einer Sp. von 1,55 V. braucht man 57 Zell. so geht man allmählich hinauf bis man 60 Zellen braucht wo die Zelle eine Span. von 1,85 V. besitzt. Die letzten fünf Einschaltzellen sind nur zum Teil entladen und um so weniger entladen je später sie hinzugeschaltet wurden. Diese 5 Zellen brauchen also auch nicht so stark geladen zu werden wie die anderen 55.
Man handelt ebenso beim Laden wie beim Entladen. Bei Fallen der 60 Zellen kommen die 5 Zellen nur der Reihe nach weg. so daß die 60. Zelle weniger geladen wird wie die 59 58 . . . .

Man benützt zum richtigen Laden u. Entladen der Akk. Zellenschalter. Beim Entladen benützt man gewöhnlich einen Doppelzellenschalter

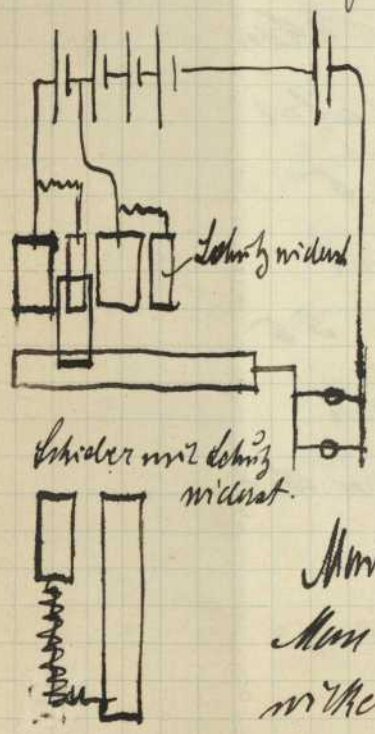
Zellenschalter



prinzipiell anzuschliessen da wenn der Gleitplatz von 1 auf 2 übergeht Kontakt 1 kurz geschlossen wird u. beim Verlassen von 1 eine Funkenerscheinung erfolgt dies würde die Kontakte kurzschliessen. Einschalt. eines Schutzwiderst.

Der Schutzwiderstand verzehre 1 Volt

Wie gross muss derselbe sein um beim Entl. 1 Volt wegzunehmen



$$J_e W_s = 1\,V.$$

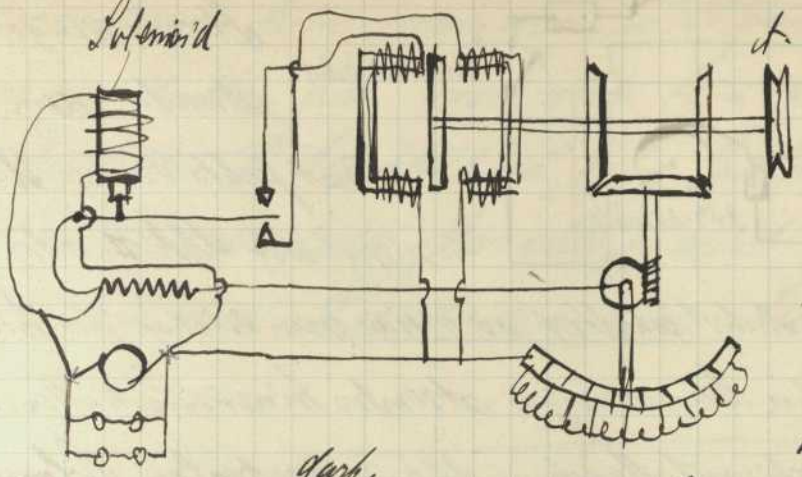
$$W_s = \frac{1}{J_e}$$

$$J_e' = \frac{2}{W_s} = \frac{2}{\frac{1}{J_e}} = 2 J_e$$

Dieses Verfahren wäre sehr komplizierter wenn man für jeden Kontakt einen Schutzwiderst konstruieren würde

Man bringt am Schieber nur einen Schutzwiderstand an. Man kann sie auch so konstruieren dass sie aufhem. wirken.

Automatischer Zellenschalter



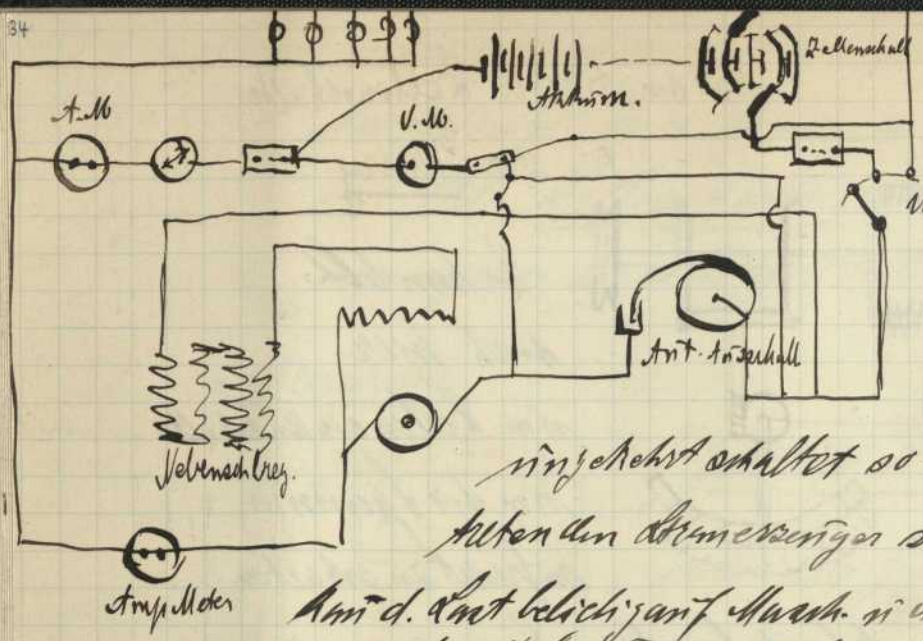
von Thury.

Es handelt sich hier um Zellen einzuschalten um die Spannung unverändert zu erhalten.

Der Messapparat darf keine Arbeit leisten. Er muss nur den Strom angeben. Das Solenoid zieht den Kern an je nach der Stärke des Stromes. Der Eisenkern ist mit einem Hebel verbunden der je nach der Stärke des Stromes oben oder unten den Strom schliesst. Die Rolle t wird dauernd angetrieben. Die Welle der Rolle t trägt am Ende eine Kreuzscheibe. Je nachdem der Messapparat oben oder unten Kontakt macht wird die Scheibe nach links oder rechts gezogen. Das Wendegetriebe greift ein u. dreht den Schleif Hebel solange bis Spannung wieder konstant ist.

Um zu sehen ob sich die Batterie lädt oder entladet werden sog. Stromrichter eingeschaltet. Dies sieht man an dem Ausschlag der Magnetnadel.

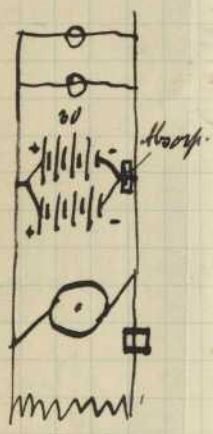
Ferner ist von Wert ein automatischer Ausschalter. Angenommen diese Apparate seien alle vorhanden. Wie sieht nun unsere Anlage aus.



Der regulierende Stromerzeuger muß stromlos sein sonst geht Feuer. Wenn man die Akk. ~~#~~ oder umgekehrt schaltet so muß man sicher den hinzuzuschaltenden Stromerzeuger stromlos hinzuschalten. Man kann d. Last beliebig auf Masch. u. Akkum. verteilen. Solange man den Verbraucher mit der Masch. allein speisen kann wird man dies natürl. nicht für Akkus wo noch Strom hinzutritt werden leichter in Aktion treten.

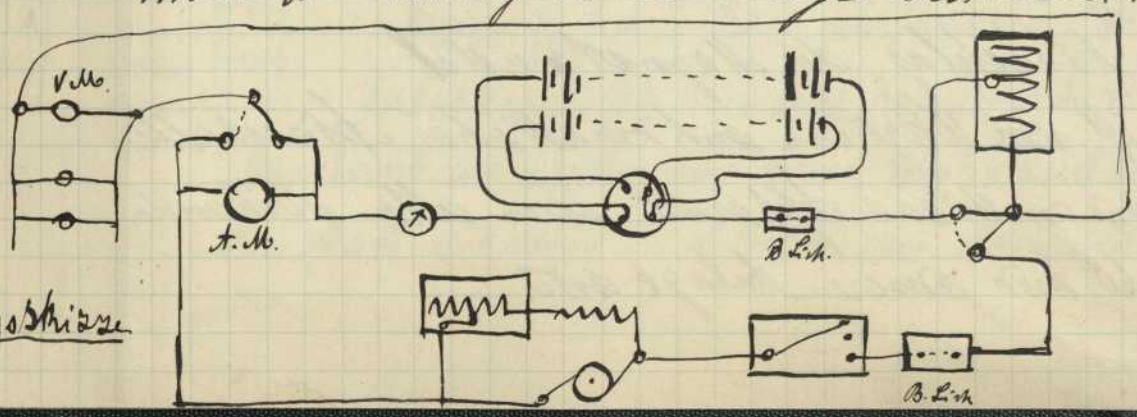
Man habe 60 Zellen Spann. 110 V.

Die Masch. sei nicht im Stande mehr als 110 V. zu liefern. Man teilt die Batt. in 2 Hälften u. zwar ~~#~~ u. schaltet einen Absorptionswiderstand ein um die Leitungsverluste zu vernichten W. Absorptionswid.



Durch W müssen mit vernichten $J_c^2 W$ d.h. $J_c^2 \cdot 50$ Volt. Bei 2,45 V. pro Zelle u. 30 Zell. geht 73,5 V. somit 110 − 73,5 = 36,5 V. Man hat also 36,5 V zu vernichten.

Beim Entladen schaltet die Batterie wieder hintereinander. Man hat 120 V. kann aber der Absorptionswider. noch 10 V. vernichten. Also nicht rationell.

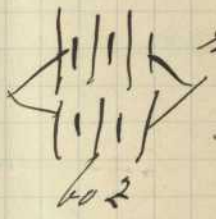


Schaltungsskizze

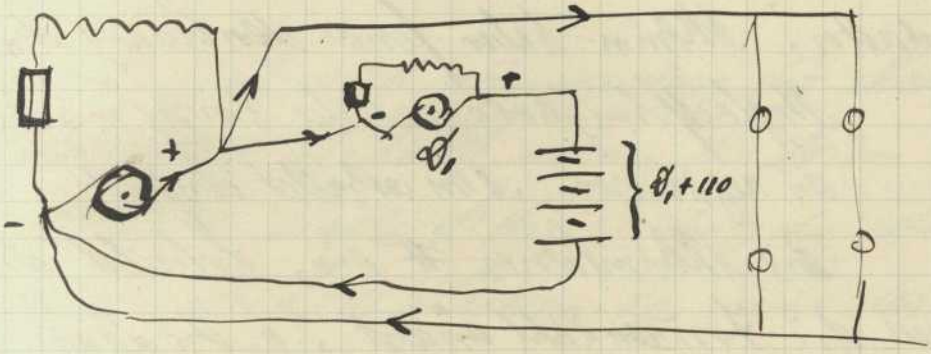
Besser kommt man weg wenn man 110 V. u. 120 Zellen hat. wenn man beim Laden in 3 Gruppen # schaltet u. beim Entladen in 2 Gruppen à 60 Zellen ebenfalls parallelschaltet.

Laden

Entl.



Es wird eine <u>Zusatzmaschine</u> benützt

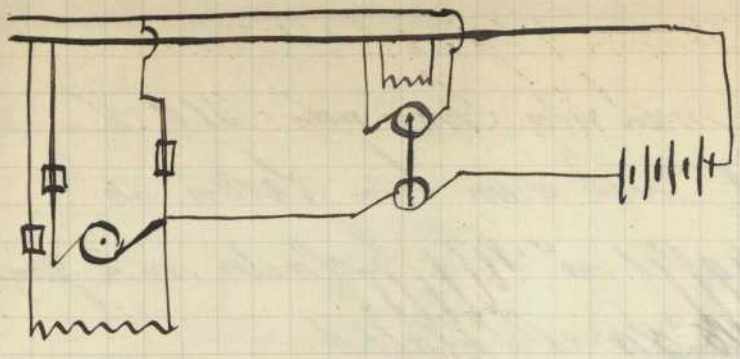


Zusatzmasch. Z_1 wird ebenfalls angetrieben wie der Generator. Es kommt ~~dabei~~ zum Strom des Generators von 110 V. noch der Strom der Zusatzmaschine Z_1 hinzu. Die Spann. der Akk. ist hier einfach die Zusatzmasch. Früher zu erregen durch Nebenschlußmasch. mit Widerstand. Hat die Zusatzmasch. 50 V. so ist dieselbe zu bauen für:

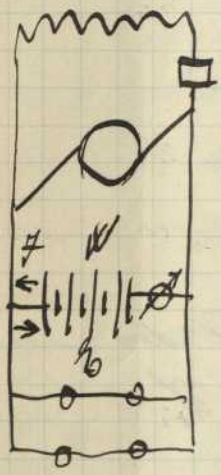
$$J_e \times 50 \text{ Watt.}$$

Die Spann. muß zwar nicht genau 160 Volt sein. es genügen 145 V. Maschine zu bauen $J_e = 35$ Watt.

Als Antrieb der Zusatzmaschine kann auch ein Elektromotor benützt werden.



Sobald man es mit Gasmasch. zu thun hat brauchte man beim Laden u. Entladen nur den einfachen Zellenschalter. Akkum. haben ferner den Vorzug der Angleichfähigkeitsgrad der Dampfmaschine zu regulieren. Man schaltet einfach die Akkumulatoren # ein. Sobald die Masch. die Tourenzahl ändert d.h. die Spann. der Masch. fällt so treten sofort die Akkum. ein. Es ist



$$S = E + JW.$$

Weil $E = 0$ somit

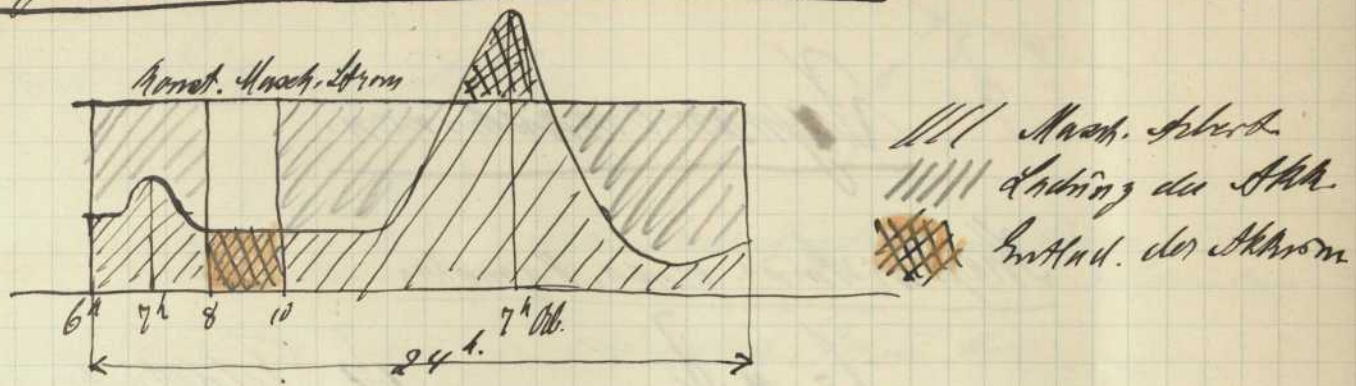
$$S = E$$

d.h. sobald eine Akk. Batterie einen grossen innern Widerst. hat wirkt es mit dem regulirenden aus.

Akkum. ohnen Hauptzweck als Regulator bei Strassenbahnen Pufferbatterie. Stehen einige Wagen so lädt sich die Batterie. Hat eine Centrale keine Akk. so muss man sie auf das Max. des Verbrauchs einrichten was unzweckmässig ist, da während

der meisten Zeit die Masch. nicht stark belastet sind.

Tagescurven einer elektr. Straßenbahn.

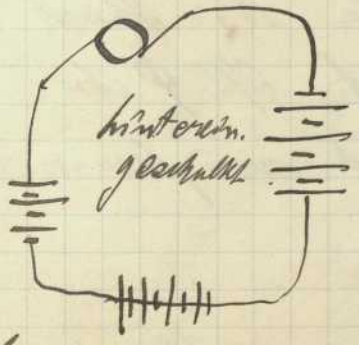


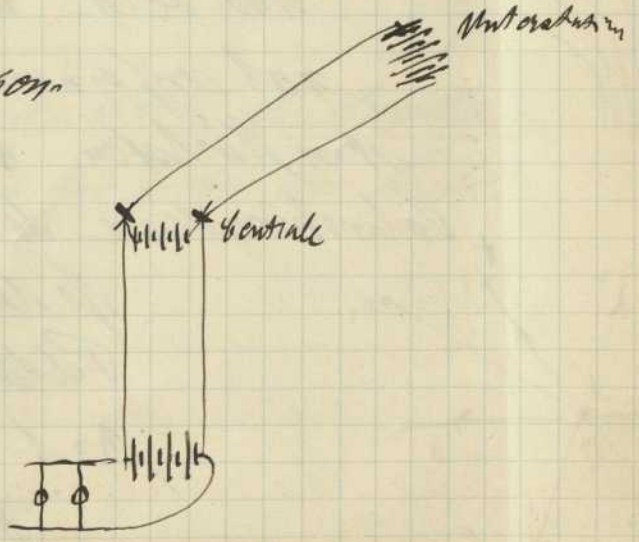
Der ideale Fall wird man sein wenn die Maschinen immer konstant belastet seien der Strom sei konst.
Die Schraffierte Fläche ist die Leistung der Maschine
so sei Innerer Anderflächen Fe Summe der Entdeckfläche Fc

$$F_e + 10\% = F_c$$ Bei 10% der Amperestunden

Zwischen 8 u 10 h sei eine Pause hier müssen die Akkum. eintreten. Ebenso Abends müssen die Masch. die Akk. ~~abst~~ hinzuschalten so dienen nur Akkum.

Unterstationen vorhanden
Man spart dadurch an Leitungen.
Man erhält die Unterst. #





erfordert große Bedienung.
Schwierige Schaltung. teure Anlage

Dynamomaschinen.

Kraftwirkung eines Magneten.

$f = \mu \mathfrak{H}$ $\mathfrak{H}$ Feldstärke

μ Stärke des Magnetpols

Man setzt $\mu = 1$ dann wird

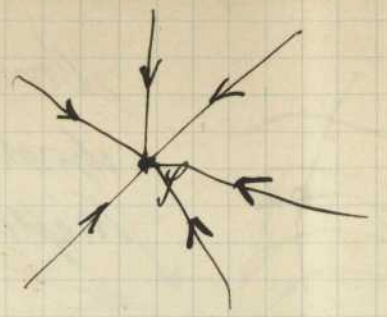
$f = \mathfrak{H}$

Kraftlinien sind Kurven die an den Kraftlinien tangieren. Die positive Seite der Kraftlinie ist die Richtung des Nordpols die Lage der Kraftlinien charakterisieren das Feld. Dort wo die Kraftlinien nah aufeinander sind ist das Feld am stärksten. Die Abstoßung erfolgt in der Verbindungslinie der beiden Pole. Wie stark ist das Feld in A. Ist $\mathfrak{H}$ die Feldstärke so ist wenn hier wieder $\mu = 1$.

$f = \mathfrak{H} \cdot 1$

Entfernung der beiden Pole sei 1 cm.

$$\rho = \frac{\mu \times 1}{r^2}$$



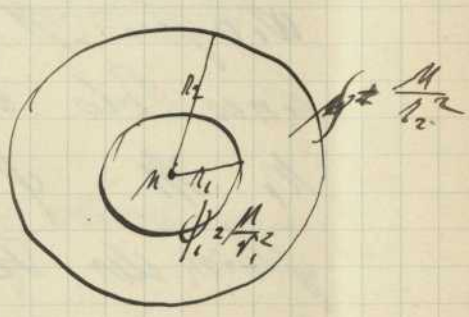
somit Stärke des Feldes

$$\boxed{\mathfrak{F} = \frac{\mu}{r^2}}$$

Konzentrische Kugelschalen sind Flächen gleicher Feldstärken

Wie verteilt sich nun in nebenstehendem Fall die Feldstärke

$$\frac{\mathfrak{F}_1}{\mathfrak{F}_2} = \frac{\frac{\mu}{r_1^2}}{\frac{\mu}{r_2^2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



Die Feldst. verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Radien

Wie viel Anzahl der Kraftlinien Wiesel gehen durch ein gem. Kugeloberfläche?

$$\frac{K}{4\pi r_1^2} = \mathfrak{D}_1$$

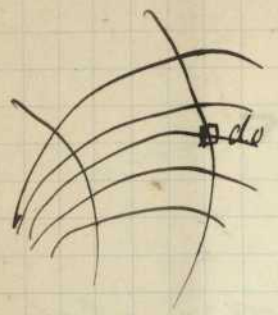
Man nennt diesen Ausdruck die <u>Dichte der Kraftlinien</u>

Für die äussere Kugel wird die Dichte der Kraftl. sein:

$$\mathfrak{D}_2 = \frac{K}{4\pi r_2^2}$$

$$\frac{\mathfrak{D}_1}{\mathfrak{D}_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Das Verhält. der Feldstärken = dem Verhält. der Kraftlinendichte



Man nennt die Kraftlinien senkrecht durch eine Fläche. Durch do gehen dK Kraftlinien

$$\frac{dK}{do} = \mathfrak{F}$$

<u>Feldstärke u. Dichte der Kraftlinien sind identisch.</u>

Wie gross ist die Gesamtzahl der Kraftlinien eines Pols. Die Feldst. einer Kugel vom Radius r_1 ist $\mathfrak{F} = \frac{\mu}{r_1^2}$ Nun ist die Dichte proportional der Feldstärke somit

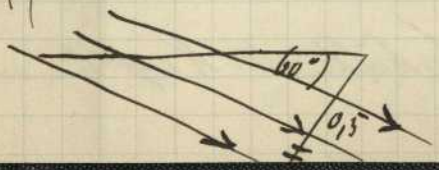
$$4\pi r_1^2 \cdot \frac{\mu}{r_1^2}$$

Anzahl der Kraftlinien $4\pi\mu$ einer Kugel Gesamtzahl einer beliebigen Fläche ist.

$$K = \int dK = \int \frac{dK}{do} \cdot do$$

$$= \int \mathfrak{F}\, do.$$

<u>Gleichförmiges homogenes Feld</u> kennzeichnet sich durch Richtung und Natur. Neigung des Feldes der Erde unter 60° Stärke desselben 0,60. Durch ein qcm derselben 0,50 Kraftlinien hier Gesamt Kraftl. durch ein qcm



$K = 5000.$

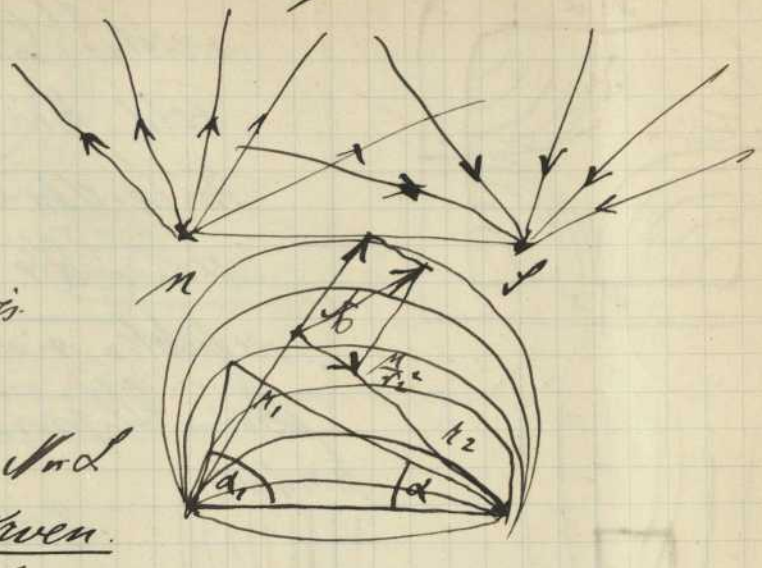
Hat man nur 2 Pole. ein S. u. Nordpol.

Was für ein Feld hat man in A

Man nimmt einfach die resultierenden Kraftlinie.

Verbindet man irgend einen Punkt der Linie mit Nord so gilt das <u>Gesetz der Kurven</u>.

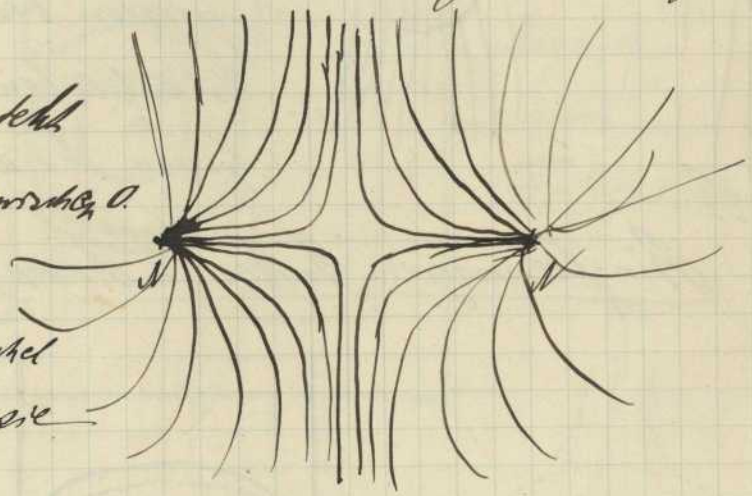
$$\cos\alpha_1 \cdot r_1 = \text{const}$$



Wie sieht das Feld aus wenn man 2 gleichnamige Pole hat?

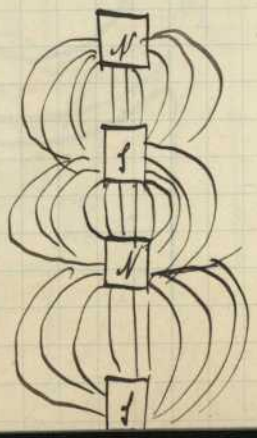
Sofort ein Kreis entsteht ohne die Wirkung dazwischen.

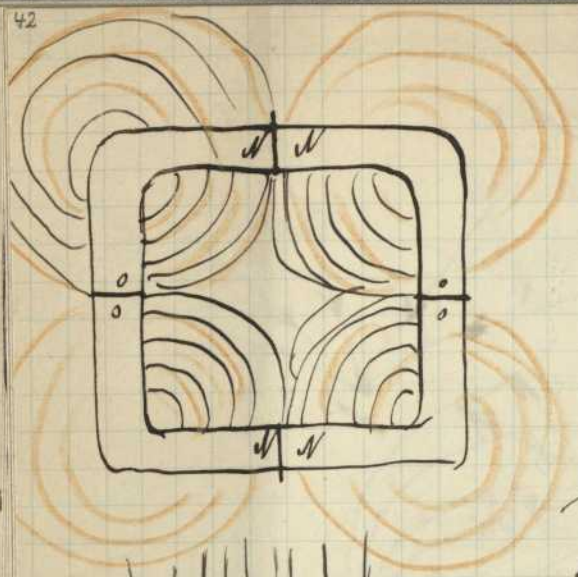
Von jedem ausgehend ein Strahlenbüschel in der Mitte drücken sie sich zusammen.



Wie verhalten sich die Felder wenn man nicht einen Stabmagnet hat sondern mehrere.

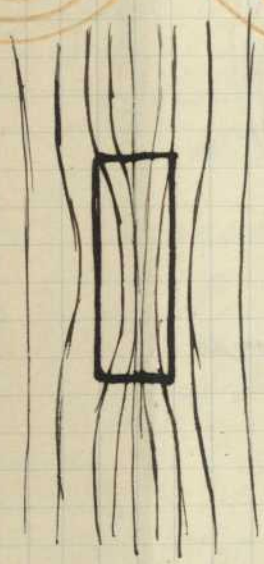
(s. Figur)

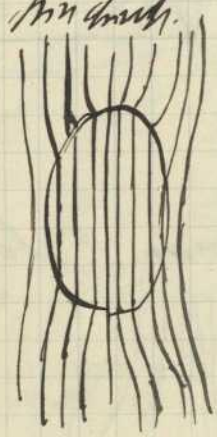




Was geschieht nun wenn man weiches Eisen in ein homogenes Feld. Das Eisen wird magnetisch die beiden Felder kombinieren sich. Die ursprünglich parallelen Kraftlinien verdichten sich in dem Eisen.

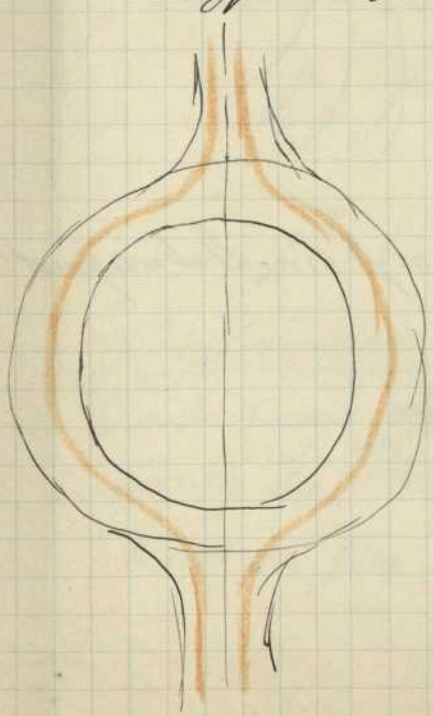
Beim Ellipsoid gehen die Kraftlinien gerade hindurch.

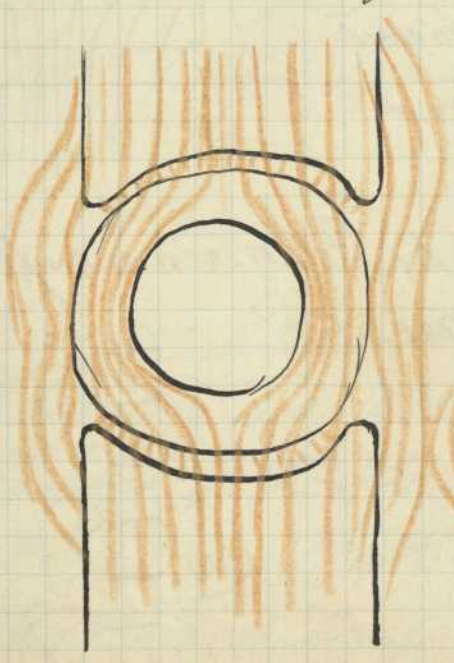


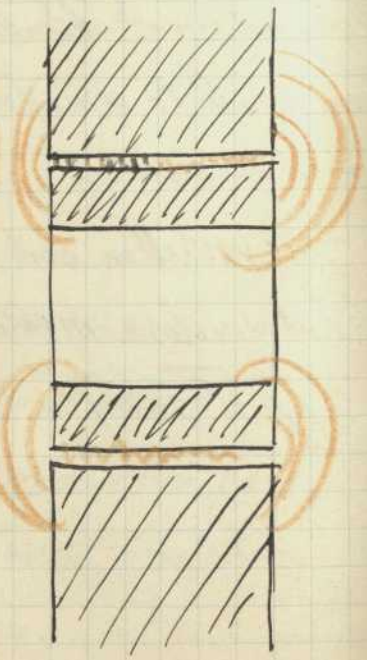


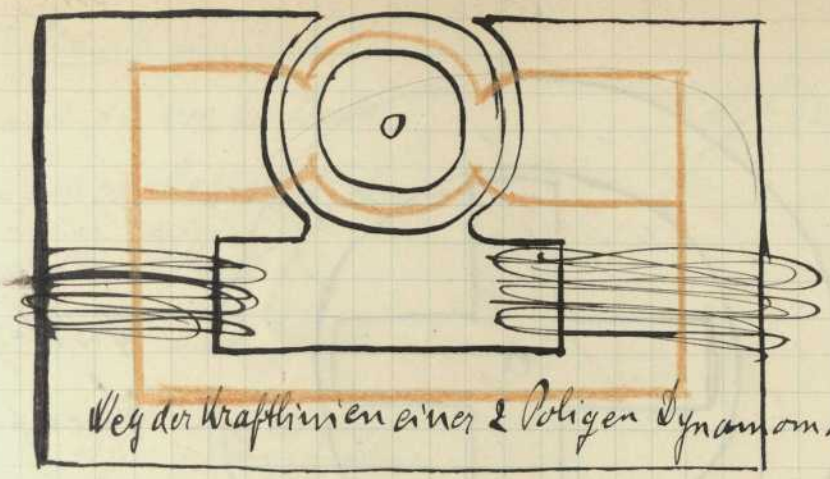
Durch passende Haltung von weichem Eisen ist es möglich den Kraftlinien einen bestimmten Weg vorzuschreiben. Das weiche Eisen heisst hier Anker.

Ringförmiger Anker im homogenen Feld.

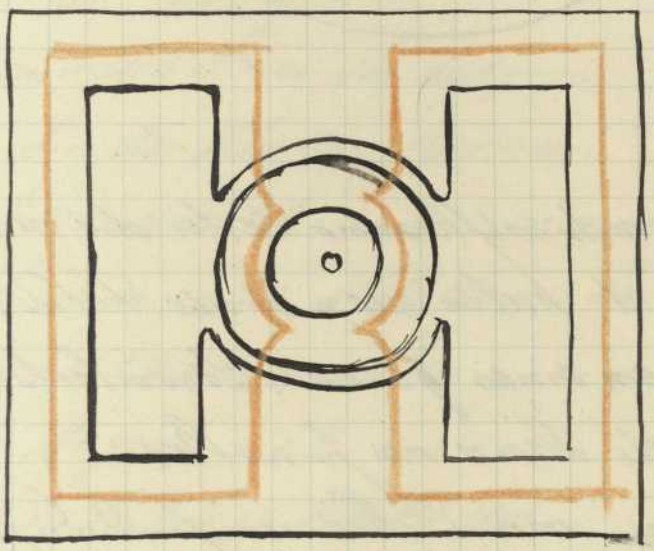




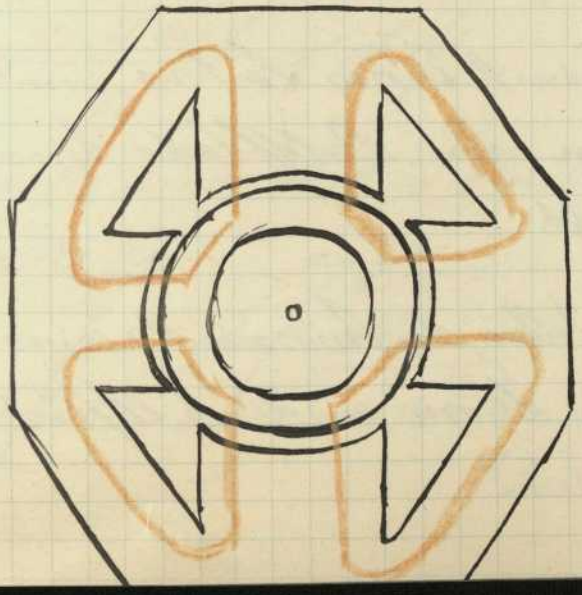




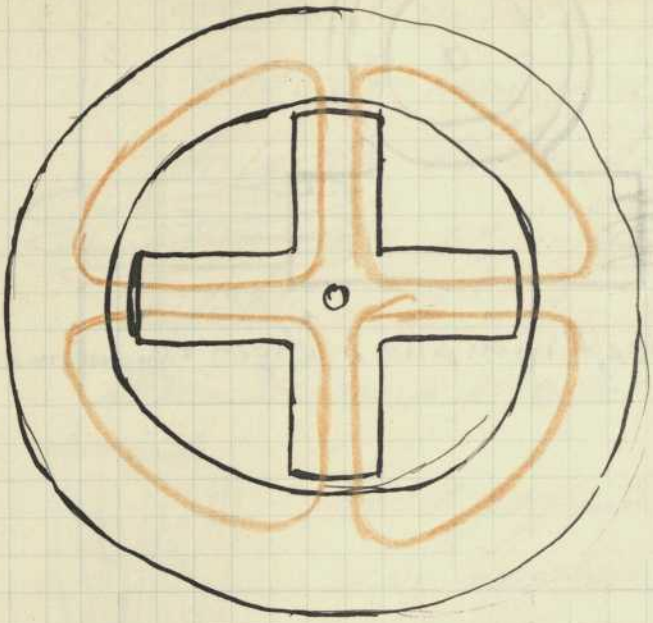
Weg der Kraftlinien einer 2 Poligen Dynamomaschine



Magnete mit Folgepunkten.



4 Poligen Aussenpol. Maschine



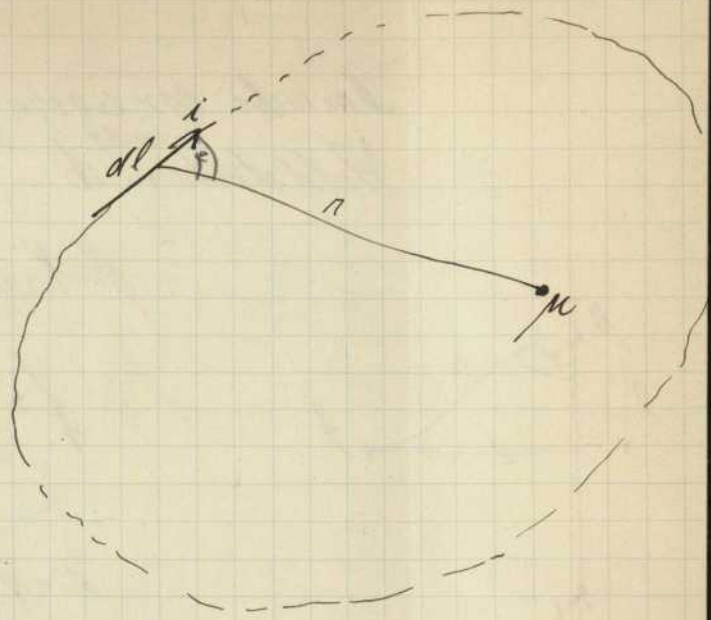
4 Polige Friempol-maschine.

Auch stromdurchflossene Leiter die nicht von Eisen sind haben magnetische Felder.
Kraftlinien eines geraden Stromleiters sind konzentrische Kreise um seine Axe.
Kraftlinien eines Kreises sind dieselben wie die von 2 parallelen Leitern (entgeg. Richtung)

Querschnitt eines Leiters, indem der Strom die Bildfläche hinein nach hinten geht.

Darstellung des Querschnitts eines Leiters dessen Strom aus der Bildfläche heraus nach vorn kommt.

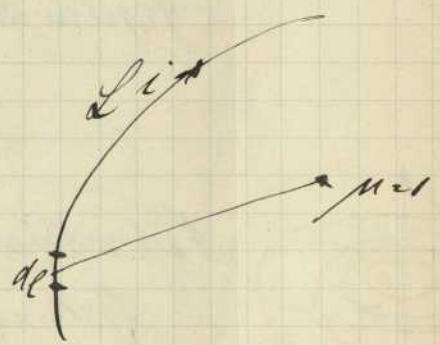
Das Biot-Savart'sche Gesetz:



Stromelement dl von der Stärke i wirke auf einen Magnetpol von der Stärke μ im Abstand r.
So giebt uns das B. S. Gesetz

$$df = \frac{i\mu\, dl \sin\varphi}{r^2}$$

Wie wirkt nun die Kraft.
So geht ein Nordpol dorthin von wo aus der Strom im entgegengesetzten Sinn des Uhrzeigersinnes zu zirkulieren scheint.
Liegen dl u. μ in der Heftebene so wirkt df senkrecht zu dem selben
Hat nun Magnet μ = 1
so schafft der Leiter im Punkt des Magneten die Feldstärke:

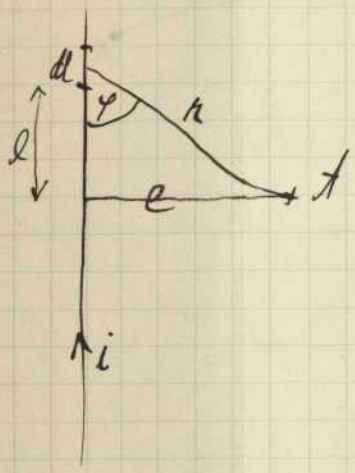


$$df = \frac{i\, dl \sin\varphi}{r^2} = d\mathfrak{H}$$

Feldstärke eines Leiters von der Länge L u. der Stärke i:

$$\mathfrak{H} = i \int_0^L \frac{\sin\varphi\, dl}{r^2}$$

Man habe einen gerad. endlichen Leiter. Wie groß wäre die Feldstärke in A.



Die Kraft wird sein aber das Feld:

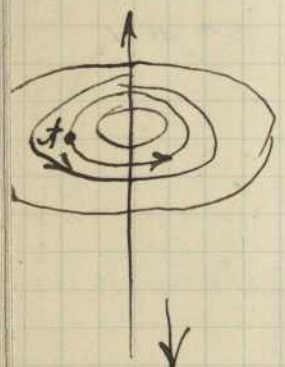
$$f = \Phi = i \int_{l=-\infty}^{l=+\infty} \frac{\sin\varphi \, dl}{r^2}$$

$$\sin\varphi = \frac{e}{r} = \frac{e}{\sqrt{l^2+e^2}}$$

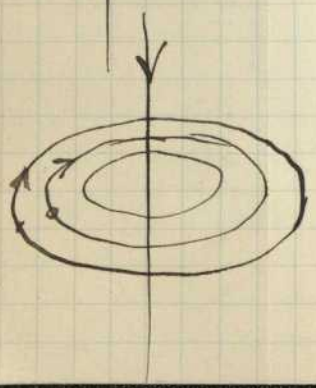
$$\Phi = \frac{2i}{e}$$

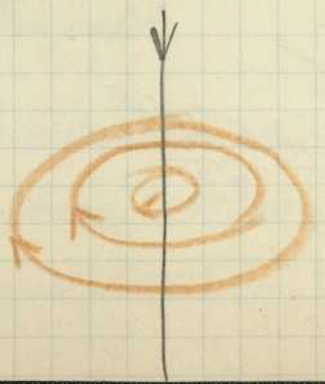
Alle Punkte in der Entfernung e haben dasselbe Feld. Es sind konzentrische Kreise in der Ebene ⊥ zu unserem Leiter. i muß in absol. Stromeinheit gegeben sein. somit

$$\Phi = \frac{2\, i^{\text{Amp.}}}{10\, e}$$



Nach welcher Richtung gehen diese kreisförmigen Kraftlinien? Dorthin von wo aus der Strom im entgeg. Sinn des Uhrzeiger. sich zu bewegen scheint.





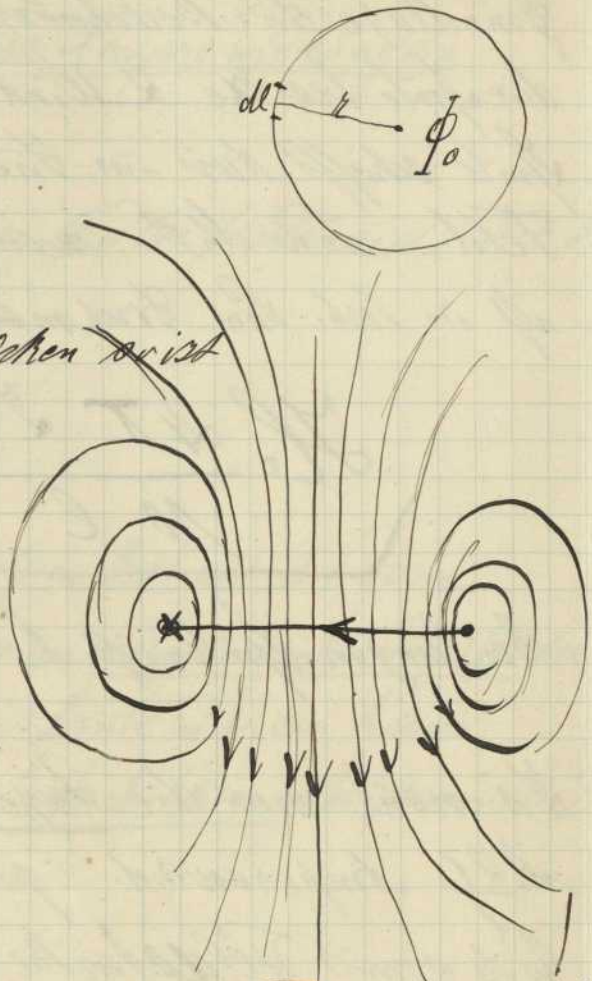
Was ist das Feld eines Kreisform. Stromkreises im Mittelpunkt. $\varphi = 90°$

$$\Phi_0 = i \int_0^{2\pi r} \frac{dl \sin\varphi}{r^2}$$

$$= \frac{i\,2\pi}{r}$$

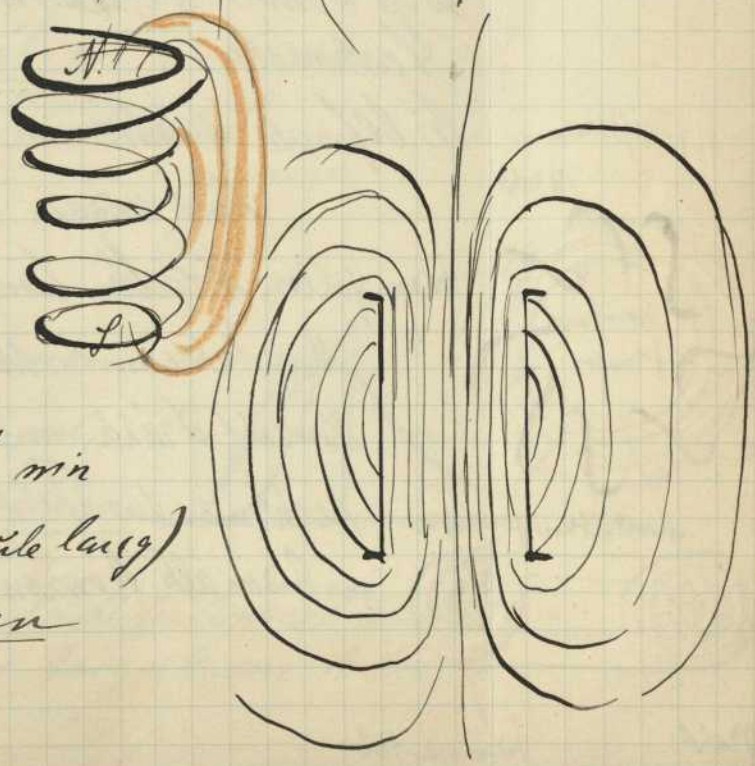
Will man i in Amp. ausdrücken so ist

$$\Phi_0 = \frac{2\pi i \text{ Amp}}{10\,r}$$



<u>Drahtspule oder Solenoid</u>

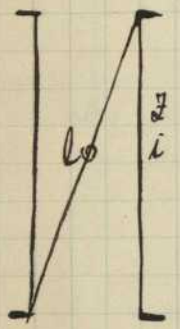
Es seien z Windungen vom Strom i durchflossen. Es entsteht auch nach früherem ein magnetisches Feld u. zwar hat man im Innern der Spule ein nahezu homogenes Feld. (wenn Spule lang) Spule hat im Innern <u>keinen</u> Endenkern.



Feldstärke eines Solenoids

Grundlage für Berechnung unserer Maschinen

Die Spule besitze Z Wind. Strom i. Die Spule schafft dann im Innern ein nahezu homogenes Feld. In der Mitte. wenn Länge der Spule lang ist im Verh. zum Durchmesser, hat man eine Stärke



$$H = \frac{4\pi \cdot Z i}{10\, l} \text{ Amp.}$$

Bei langen Spulen ist l. c. der Länge der Spule.

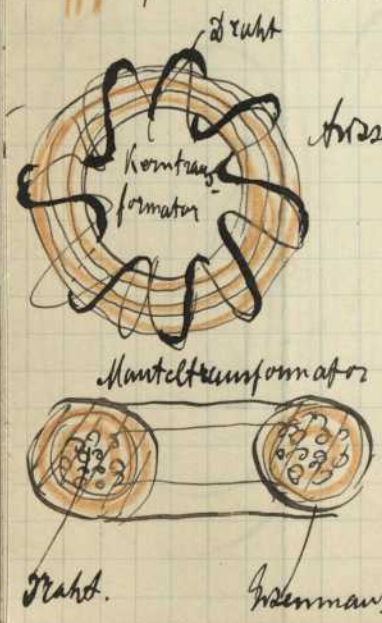
Zi nennt man die Amperewindungen der Spule

u. $\frac{Zi}{l}$ Amperewind. pro Centimeter.

So ist somit Feldstärke = Ampere windungen pro Centimeter.

Es befinde sich nun im Innern der Spule Eisen.

Nach innen hin können keine Kraftlinien Eisen sollen. Dieselben laufen alle in den Konzentrisch Mantelkreise um dasselbe um. Man umgebe eine Anzahl Drähte mit einem Eisenmantel. Wie sieht nun das Feld aus. Man kann die Kraftlinien im Eisen als Konzentrische Kreise konstatieren.



Zusammenhang zwischen Amperewindungen u. Kraftlinien.

Feldstärke in einer langen Spule. (Solenoid) d. h. Zahl der Kraftl. auf 1 qcm Querschn.

$$H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{Zi}{l}$$

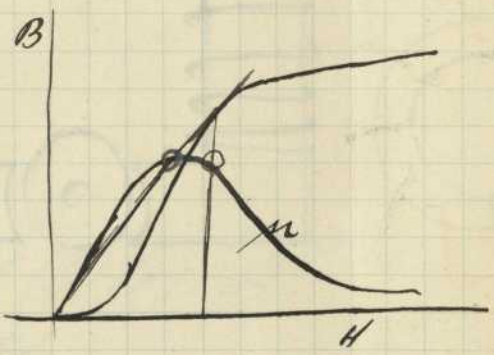
$$= 1{,}257 \frac{AW}{l}$$

In diesem Ausdruck kommt nicht in Betracht die Form der Windungen. H nennt man magnetisierende Kraft der Spule. Dichte der Kraftlinien in Spule mit Eisenkern sei B. B nennt man Induktion. Es ist somit B > H. somit

$$B = \mu H.$$

μ nennt man die Permeabilität des Eisens oder magnetische Leistungsfähigkeit des Eisens in der Spule.

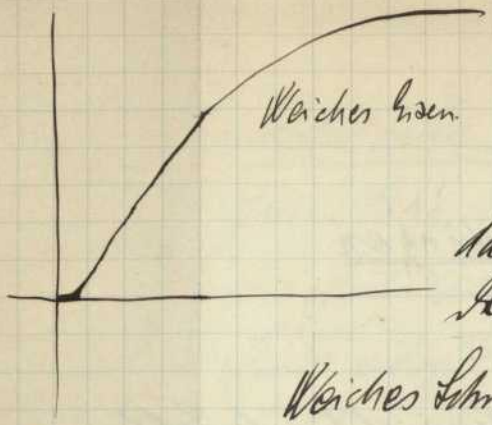
$$B = \mu \frac{4\pi}{10} \frac{AW}{l}$$



Nimmt man sehr starke magnetisierende Kräfte an so steigt die Kurve immer mehr. Man nennt die Kurve die magnetische Charakteristik

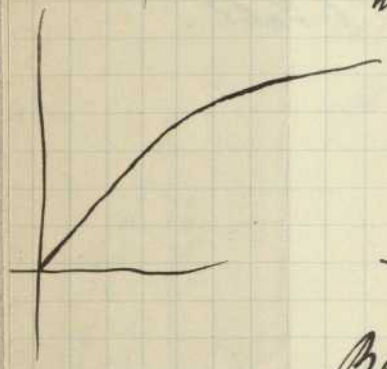
$$\mu = \frac{B}{H}$$

Höchstes Maß der Permeabilität ist dort wo Tangente an B Kurve berührt.



Man darf daher vom Ursprung aus die Kurve gerade anlaufen lassen da bei sehr weichem Eisen äußerst klein ist. Der gebogene Anlauf. Bei Grusseisen etwas größer.

Weiches Schmiedeeisen mit den magnetisierenden Kräften $H_{=0}$



$H=0$	0,32	2,14	3,89	6,20	11,57	21,7
$B=0$	40	1170	9970	9970	13040	15870
$\frac{B}{H}=\mu=$	120	550	2560	2200	2200	730

Bei techn. Verwend. B nicht 7 18000

Wechselstrom 6-8000 nicht überschreiten.

In dem Ausdruck für die Induktion B ist nichts über die Weite u. Gestalt der Windungen angegeben. Alles gilt nur für sehr lange Stäbe oder für magnetische Kombinationen. die nahezu geschlossen oder ganz geschlossen sind. Wir haben einen nahezu oder ganz geschlossenen Kreis. Denkt man sich aus diesem geschlossenen Kreis ein Stück herausgeschnitten. Das ist

Der Magnetkern besitze die Länge l Querschn. f. pro qcm seien B Kraftlinien vorhanden. Auf dieses Stück komme eine Magnetisierende Kraft iz

Gesamt Kraftlinienzahl.

$$B = \mu \frac{4\pi}{10} \frac{iz}{l}$$

$$fB = K = \frac{4\pi}{10} f \frac{iz}{l_{(cm)}} \mu$$

$$K = \mu \frac{iz}{\frac{10}{4\pi} \frac{l}{f_{qcm}}} \qquad (a) \qquad J = \frac{E}{W} \qquad W = \frac{\sigma l}{f}$$

Diese Gl. erinnert an das Ohm'sche Gesetz.

iz schafft den Strom. Man müsste diesen analog. magnetomotorische Kraft nennen in Bez. auf die elektrische Kraft.

Magnetischer Widerstandskoeff $\frac{1}{\mu} \frac{l}{4\pi}$

somit Magnetische Ohm'sche Gesetz lautet:

Gesamtkraftlinienzahl = Ampère windg. durch magnet. Widerstand.

Man kann (a) schreiben in der Form:

$$K = \frac{\frac{4\pi}{10} iz}{\frac{1}{\mu} \frac{l}{f}} \qquad (b)$$

Man zieht in Praxi (a) vor, obwohl (b) logisch richtiger ist. da Widerstandskoeff $\frac{1}{\mu}$.

Widerstandskoeff. der Luft:
Hat man keinen Eisenkern so hat man H Kraftl.
bei Eisenk. B Kraftlinien.

$$B = \mu H$$

Ist kein Eisenkern vorhanden so ist ~~ein~~ auch Luft
darin somit Permeabilität der Luft

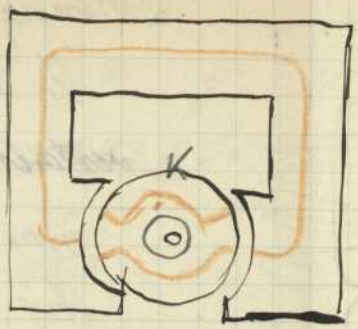
$$\mu = 1.$$

somit magnetischer Widerstandskoeff der Luft

$$\frac{1}{\mu}\frac{10}{4\pi} = 0{,}796 \sim 0{,}8.$$

Luft hat konstante Permeabilität somit
konstanten Widerstandskoeff. Eisen dagegen nicht
für ein an elektrischen Strom ist. Widerst. konstant
Beim elektromag. Strom variabel abhängig
von der Stromstärke variable Permeabilität.
Um einen elekt. Strom von Widerstand W braucht
man die Arbeit J^2W.
Bei elektromagnet. Strom braucht man bei Widerst.
keine Arbeit. Das Entstehen eines Feldes
des Feldes braucht man allerdings Arbeit aber
wenn das Feld geschaffen ist dann nicht mehr.
Wählt man kein geradlinigtes Stück sondern
ein krummliniges Stück wo l der Mittellinie ist
so gilt das ~~Stück~~ Gesetz ebenso

Die Gesamtkraftlinienzahl des Ankers sei K.



$\mu_1\ \mu_2\ \mu_3$ seien bezehul. $l_1\ l_2\ l_3$ mittleren Längen $f_1\ f_2\ f_3$ Querschnitte für Anker Luft u. Magnetgestell.

Kraftlinienzahl im Anker

$$K\left(\frac{1}{\mu_1}\,\frac{10}{4\pi}\,\frac{l_1}{f_1}\right)=(i\,z)_1$$

Luft $$K\left(\frac{1}{\mu_2}\,\frac{10}{4\pi}\,\frac{l_2}{f_2}\right)=(i\,z)_2$$

Gestell. $$K\left(\frac{1}{\mu_2}\,\frac{10}{4\pi}\,\frac{l_3}{f_3}\right)=(i\,z)_3$$

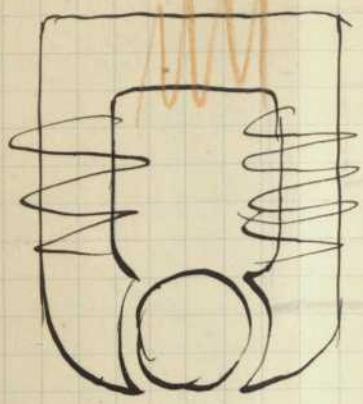
somit Gesamtkraftlinienzahl:

$$K=\frac{\Sigma\,AW.}{\frac{10}{4\pi}\left(\frac{1}{\mu_1}\frac{l_1}{f_1}+\frac{1}{\mu_2}\frac{l_2}{f_2}+\frac{1}{\mu_3}\frac{l_3}{f_3}\right)}$$

$$K=\frac{\Sigma\,AW.}{\Sigma\,Wm.}=\frac{\text{Summe aller Amp.-Windg.}}{\text{Summe elektromagnet. Widerst.}}$$

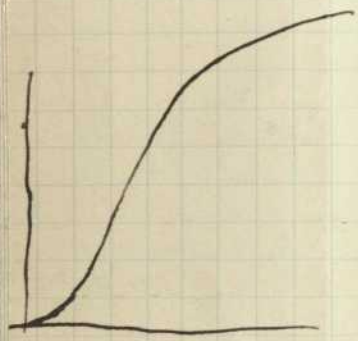
In dieser Gleich. kommt nicht vor die Lage Grösse der magnetisier. Windungen. Es werden aber auch Kraftlinien verloren gehen durch Streuung. Die grösste Streuung tritt an den engen Stellen ein, an den eckige Biegungen vorhanden sind d.h. an den Ecken u. Kanten des Eisengestells

Joch



Streuung bei der nebenstehenden Maschine grösser
Je mehr von den Windungen gleichmässig verteilt desto weniger Streuung, konzentriert man die Wind. auf einen Punkt so ist die Streuung grösser.
Wieviel Amp. Windungen braucht man noch um eine gewisse Induktion zu erhalten?

$$K = \frac{i^2}{\frac{1}{\mu}\,\frac{10}{4\pi}\,\frac{l}{f}}$$



$$\underbrace{\frac{K}{f}}_{B}\,\frac{1}{\mu}\,\frac{10}{4\pi} = \frac{i^2}{l}$$

Für bestimmtes Material

Zusammenhang zwischen B u. μ ist experimentell festzustellen
Für Luft ist.

$$0{,}80\,B = \frac{i^2}{l}$$

Für verschiedene Materialien ist Zusammenhang zwischen B u. μ festgestellt worden

Grössen.	$B = 10^3 \times$	4	5.	6	7	8	9	10	11
$\frac{i^2}{l}$ cm Weglänge experimentell.		4	8	17,2	33,6	64,0	101,6	160	234

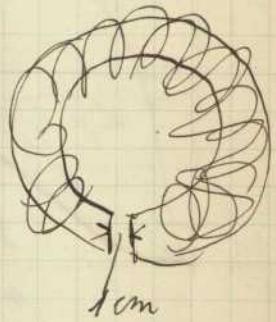
Amp. Wind. pro cm Konstruktionslänge

Schmiedeisen $B = 10^3$.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,992	1,31	1,60	1,92	2,21	2,53	2,85	2,23	3,65	4,26	5,02	5,97	6,88

14	15	16	17	18	19	20
8,44	11,65	16,0	24,5	37,2	48,8	61,2

Es sei ein Kettenring geg. Gestch. aus 400 Stäben von 2 m/m ⌀ Durchmesser d. des Ringes sei 60 cm.



Der Ring sei aufgeschnitten u. habe einen Aufschnittzwischenraum von 1 cm. Den Ring einfressen ein Stem. Wirbel Ampere'wirl. sind notwendig um den Ring auf folgende Inductionen zu bringen

$B = 1000 \quad 4000 \quad 7000 \quad 10000 \quad 13000 \quad 16000 \quad 19000$

$K = 10^3 \times 1{,}256 \quad 50{,}2 \quad 87{,}92 \quad 125{,}60 \quad 163{,}20 \quad 200{,}96 \quad 238{,}62$

Aus der Tabelle entnimmt man für $\frac{i^2}{l}$.

$\frac{i^2}{l} = 0{,}992 \quad 1{,}92 \quad 2{,}95 \quad 4{,}26 \quad 6{,}85 \quad 16{,}05 \quad 48{,}80$ pro cm Schmiedeis.

$l = \pi \cdot 60 - 1$

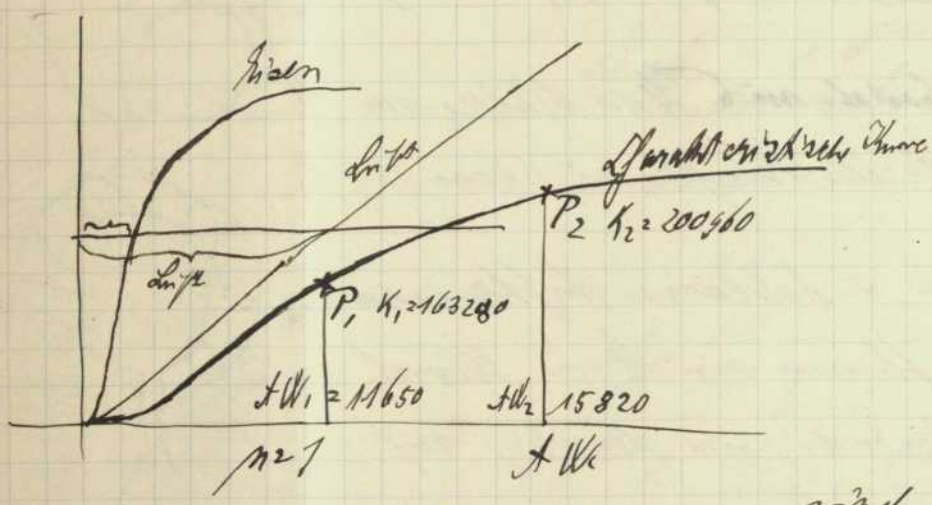
$l = 187{,}5$

$(i^2)_{Eisen} = 186 \quad 360 \quad 533 \quad 798 \quad 1280 \quad 3020 \quad 9150$

$(i^2)_{Luft} = 800 \quad 3200 \quad 5600 \quad 8000 \quad 10400 \quad 12800 \quad 17200$

Σ A W. $986 \quad 3560 \quad 6133 \quad 5798 \quad 11650 \quad 15820 \quad 24350$

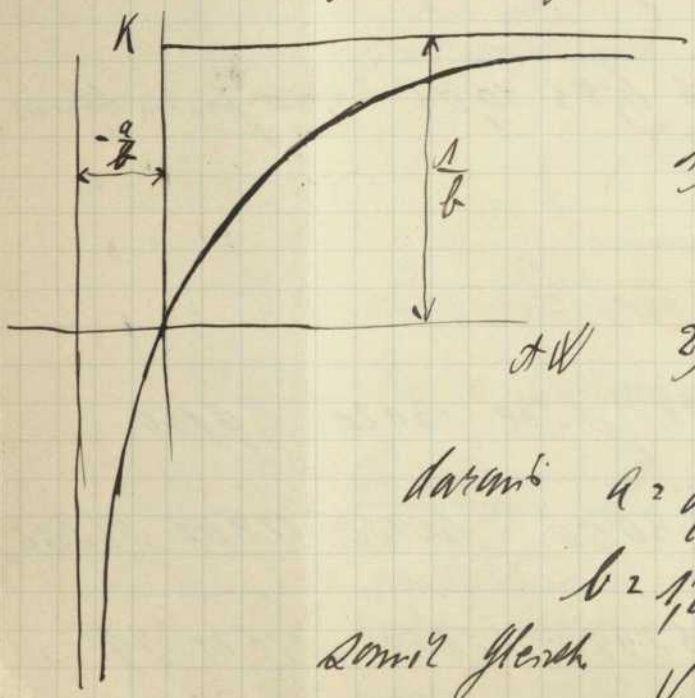
$n = 1$ gilt nur für alle nicht-magnetische Körper (Nichtleiter)



Es läßt sich die charakteristische K. darstellen nach Fröhlich durch die Gleichung

$$K = \frac{AW}{a + b\,AW}$$

wird mit Vorteil verwendet für ein kleines Stück $P_1 P_2$ der Kurve. Gleich mit dem Fröhlich'schen Interpolationsgesetz Gleich einer gleichseitigen Hyperbel



Anwend. auf Stück $P_1 P_2$

1) $163280 = \dfrac{11650}{a + b \cdot 15820}$

2) $200960 = \dfrac{15820}{a + b \cdot 15820}$

daraus $a = 0{,}05130$

$b = 1{,}732 \cdot 10^{-6}$

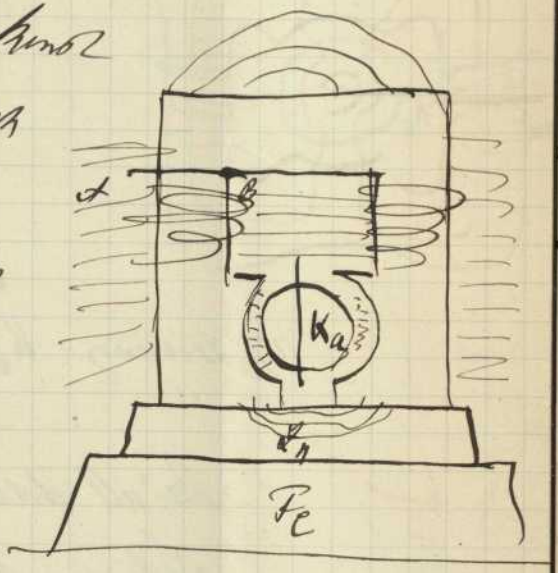
Die Hyperbel liegt etwas tiefer als Kurve von Fröhlich

somit Gleich.

$$K = \frac{AW}{0{,}05130 + 1{,}732 \cdot 10^{-6}\,AW}$$

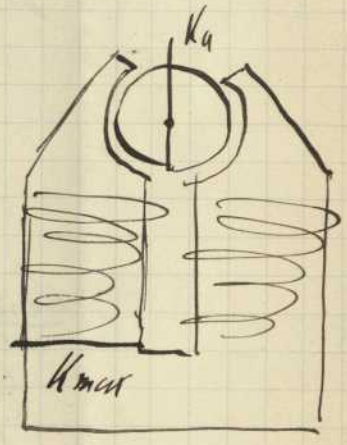
Streuungsverhältnisse der Stromerzeuger

Maschine von Siemens. Bei Anstell. setzt man auf Eisenplatte. darüberstehen ein Kern aber eine Eisenplatte. So wird trotzdem durch Eisenplatte eine gewisse Streuung stattfind. K_{max} wird am Querschnitt A B auftreten Kraftlinien zahl im Anker K_a. So muss sein



$$K_{max} = 1{,}32\, K_a$$

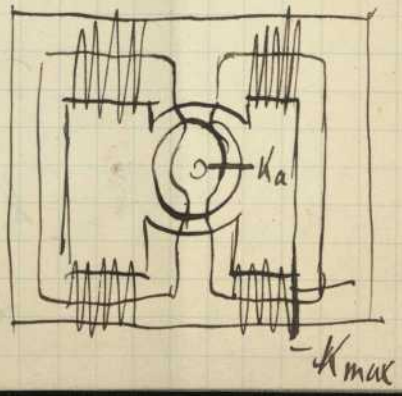
In der Maschine ist überall K_{max} in der Luft das Mittel und K_{max} in K_a. Da Streuung etwas gross ist so dreht man die Maschine um Streuung dann.



$$K_{max} = 1{,}22\, K_a$$

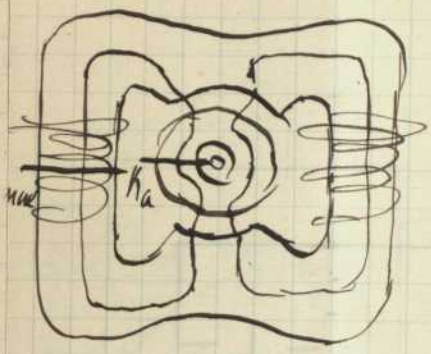
Bei beiden Masch. ist vorausg. dass Magnetwickel. nur auf den Schenkeln sich befindet.

Sind die obig. Masch. zu klein so wendet man mehrpolige Masch. an.



$$K_{max} = 1{,}28\, K_a.$$

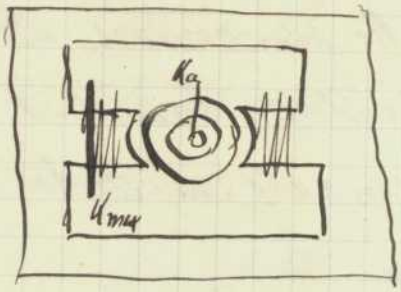
Wickelt man die an dem Scheitel or hat man
Manchester Maschine.



Große Streuung $K_{mu} = 1{,}50\, K_a$

Vielpolige Mach.

Versuche von Lahmeyer



11% Streuung $K_{mu} = 1{,}12\, K_a$

Bei all diesen Maschinen kommt es auf den Grad der Sättigung an. Man hat für Berech. der Mach. die Gleich. Elek. M. Kraft

$$E = \frac{n \cdot Z K}{60 \cdot 10^8}$$

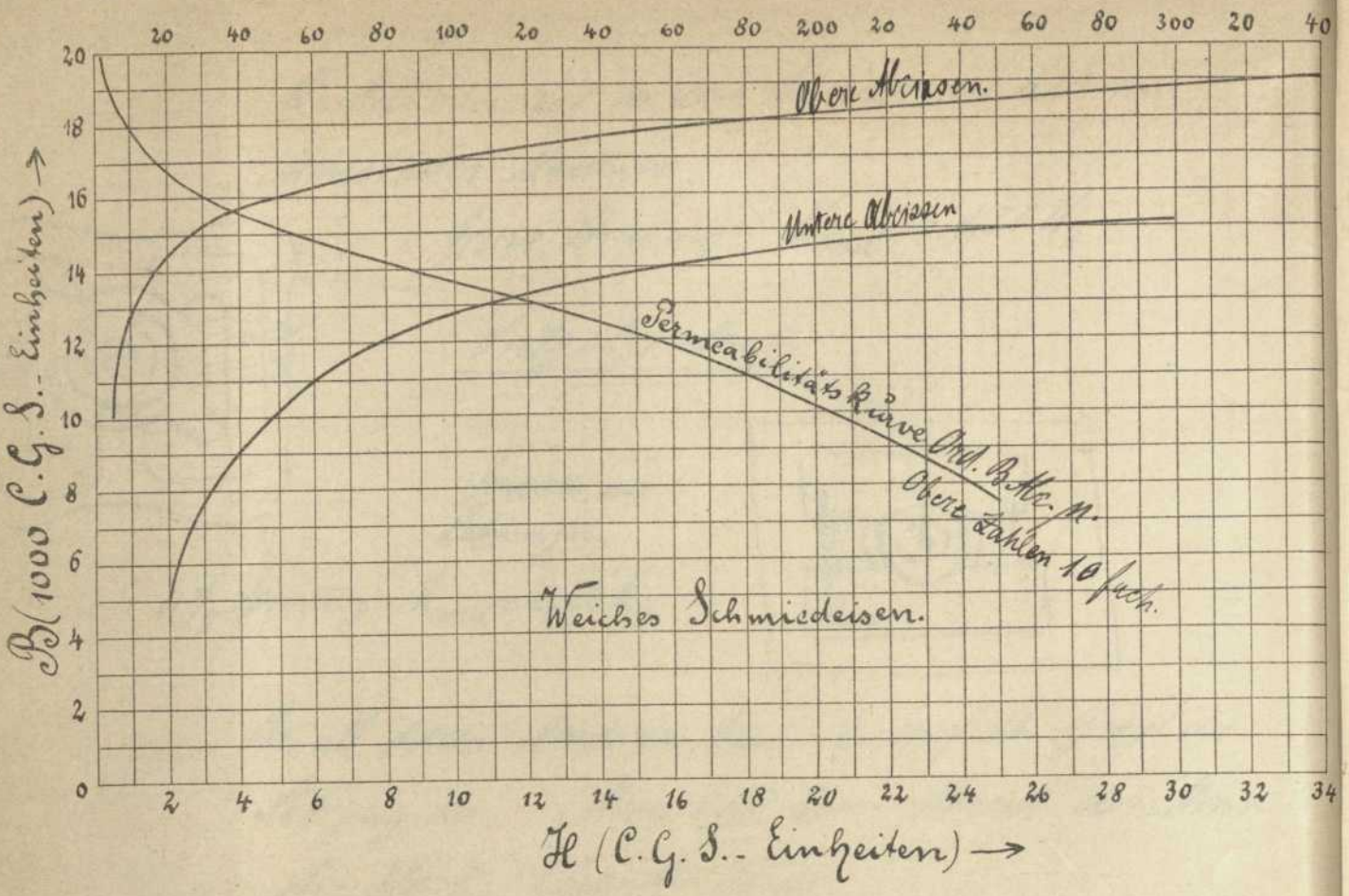
Beispiel Maschine $E = 216$ V. n pro M. = 800
Gesamtzahl der Querschnitte $Z = 384$.
Aus einem Polschuh treten aus.

$$K = \frac{60 \cdot 10^8 E}{n Z}$$

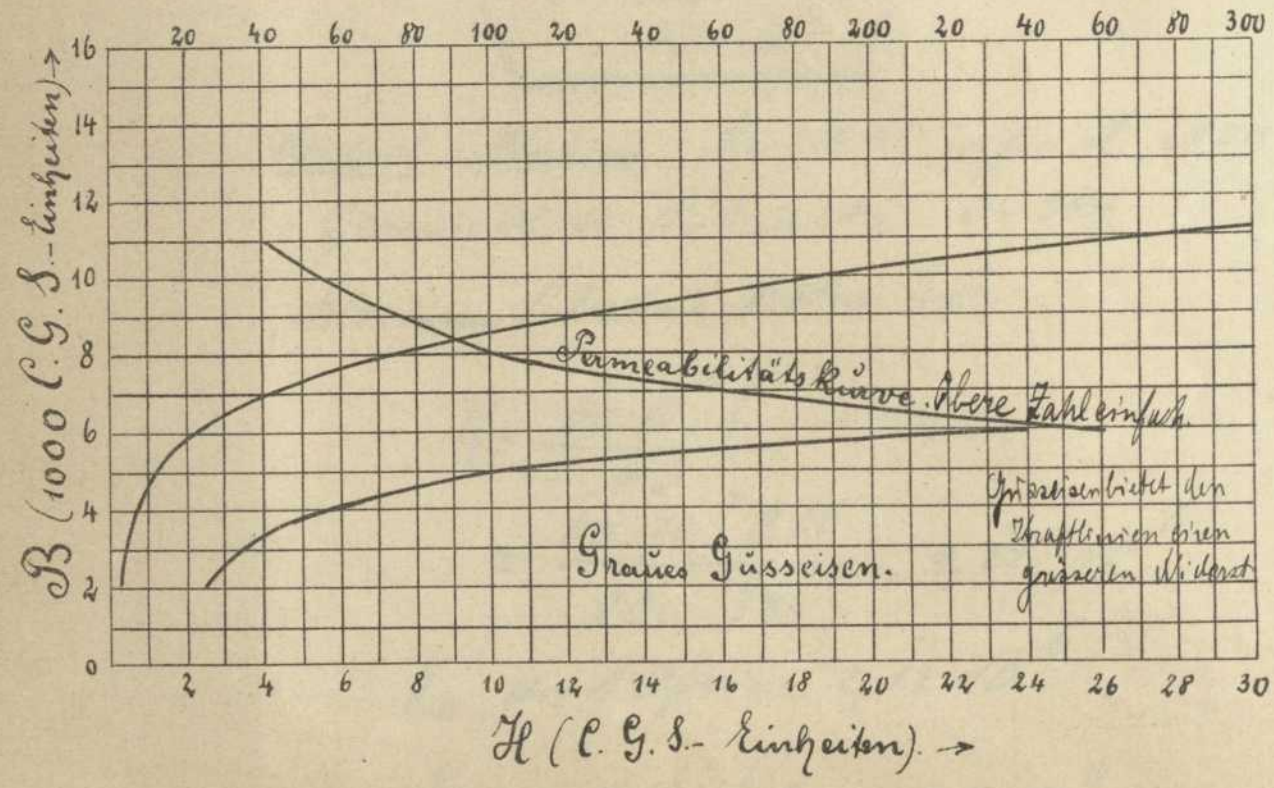
$$= \frac{60 \cdot 10^8 \cdot 216}{800 \cdot 384} = 4{,}29 \cdot 10^6$$

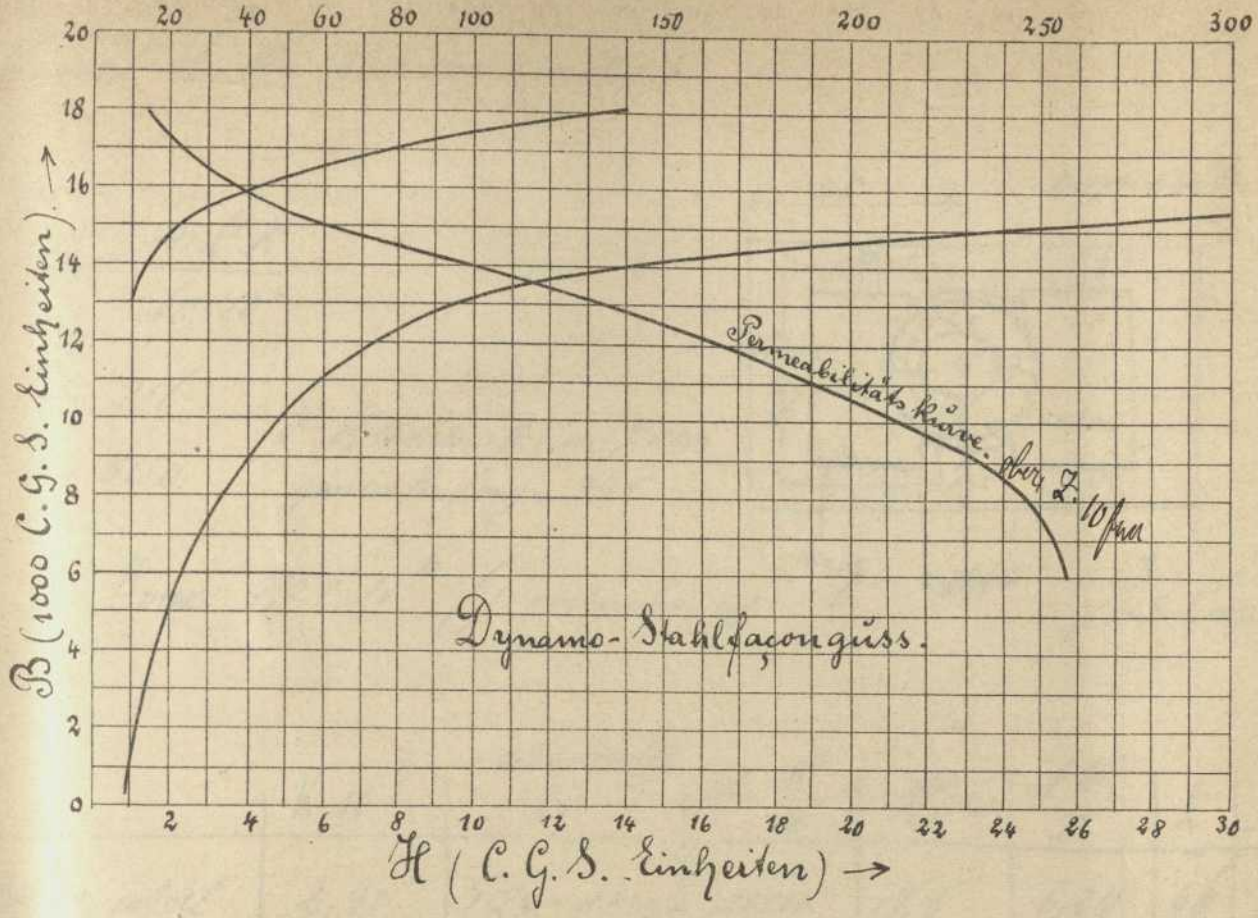
Ka die Hälfte $= 2{,}12 \cdot 10^6$

$K_{mu} = 1{,}12 \cdot K_a = 2{,}4 \cdot 10^6$.

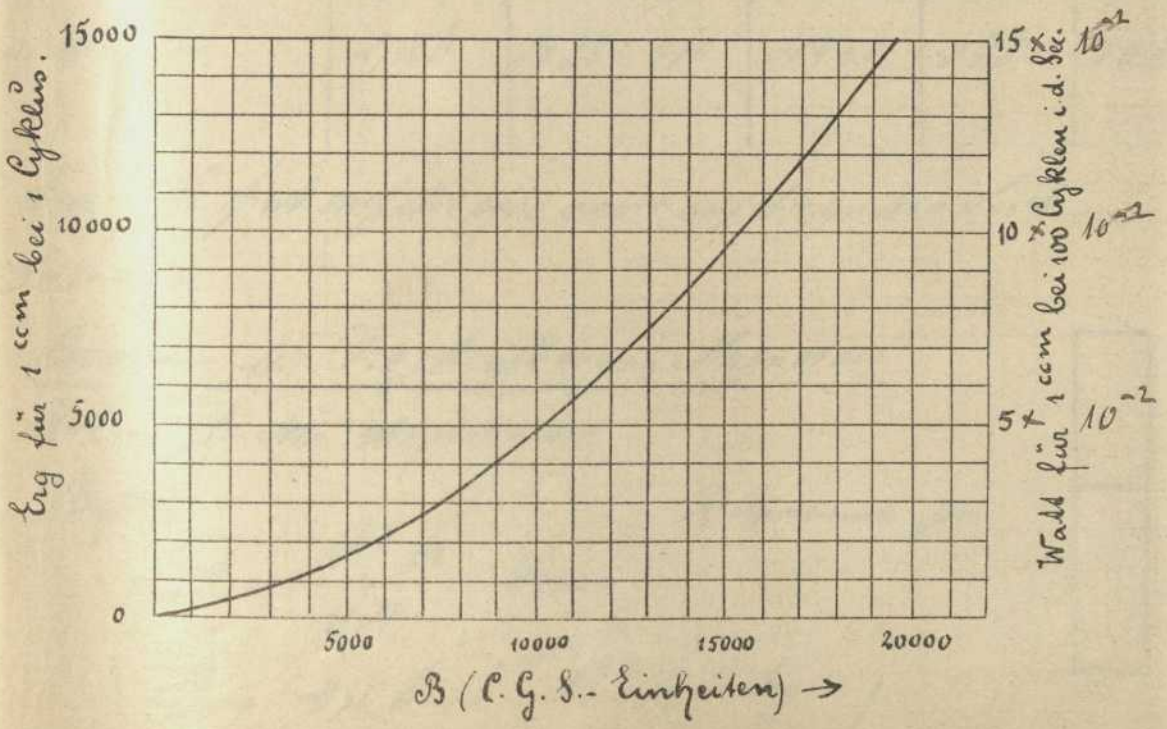


$\frac{\Delta Z}{l} = 0{,}8\,H.$





$$\frac{1\,Z}{l} = 0{,}80\,B^2$$



Wirbel A. W. Luft notwendig?

Luft.

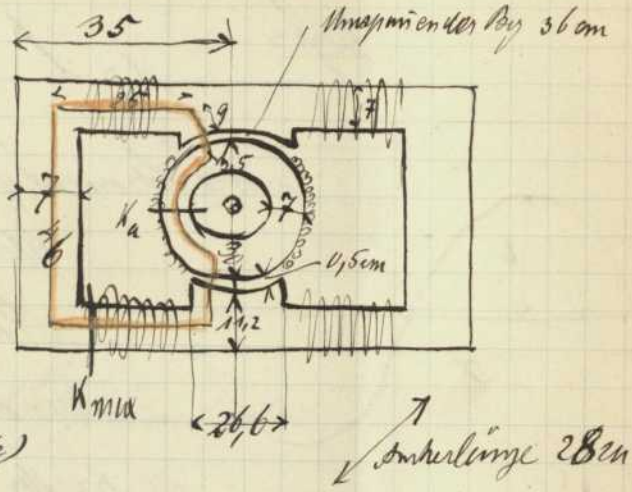
$$h = \frac{n^2 K}{60 \cdot 10^8}$$

$h = 216$

$n = 800$

Σ Querschnitte auf dem ganzen Umfang = 384

$K_{max} = 4{,}24 \cdot 10^6$ (s. vorhergeh. Seite)



	$K \cdot 10^6$	Querschnitte Q	$B = \frac{K}{Q}$	H (1. Tab.)	$\frac{AW}{l}$	l	AW
Magnetgestell (Joch u. Schenkel)	2,40	7·28 = 196 qcm	12200	7,8	6,24	96	600
Polschuhe	2,40	28·13,3 = 375	6600	2,6	2,08	18	38
Anker	2,12	7·28 = 196	12800	10,0	8,0	32	256
Luft	2,26	18·28 = 510	4450	4450	3560	1	3560
							Σ AW. 4459

Diese AW. sind auf die eine oder auf die andere Seite zu bringen.

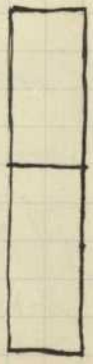
Berechnung der Tragkraft eines Magneten.

Stab sei gleichm. magnetisiert

Kraft:

$$F = \frac{B^2 Q}{8\pi} \text{ Dynen}$$

Q Querschnitt qcm.

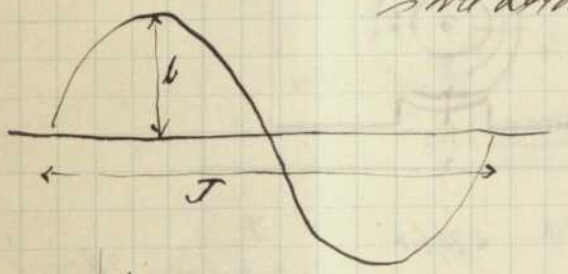


$$F = 4{,}06 \cdot 10^{-8} \cdot B^2 Q \text{ kg.}$$

Periodisch veränderliche Ströme. die nach folg.

Gesetz. $i = b \sin \frac{2\pi t}{T}$ — t fortlaufende Zeit, T Zeitperiode, b Amplitude

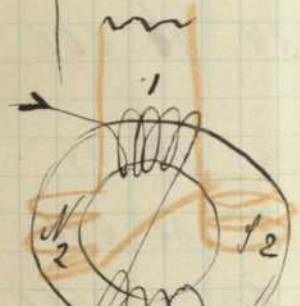
ihre Stromstärke ändern.



Gleich einer Sinuslinie.

Hat man einen geschlossenen Leiter von einem veränderlichen Strom durchflossen so werden die Kraftlinie größer bei Stärker werden des Stromes u. umgekehrt. Hat man hier einen Strom so wird dasselbe stattfinden. Man habe einen Magnetkern von 2 Spulen umgeben.

Indem sich die Ströme so ändern sich auch die Pole so daß man abwechselnd Nord u. Süd hat. Im Paar 1 fließe ein Wechselstrom

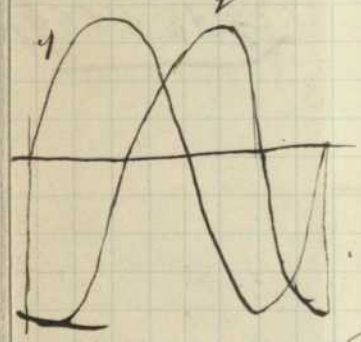


$$i_1 = b \sin \frac{2\pi t}{T}$$

Homogenisiertes Feld.

Um bringe man noch 2 Spulen auf den Kern in diesem Paar 2 fließe der Strom

$$i_2 = b \cos \frac{2\pi t}{T}$$ (da verschoben gegen die andere Spule)



2 ist um ein 4tel Wellenlänge verschoben

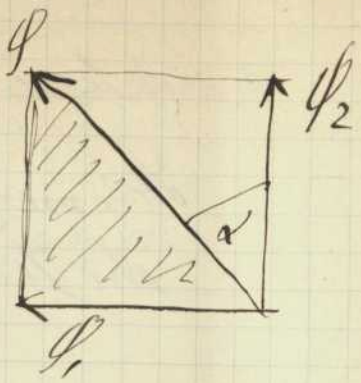
Fließen die beiden Ströme gleichzeitig, so magnetisieren man dieselben das Eisen. Die Magnetisierung ist proportional dem Strom. Die beiden Felder sind gleichzeitig vorhanden u. zu u. ⊥ die einander

$$\Phi_1 = c\, b \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$\Phi_2 = c\, b \cos \frac{2\pi t}{T}$$

Die Felder sind verschoben um 1/4 tel Wellenlänge.

Es entsteht ein konstantes rotierendes Feld



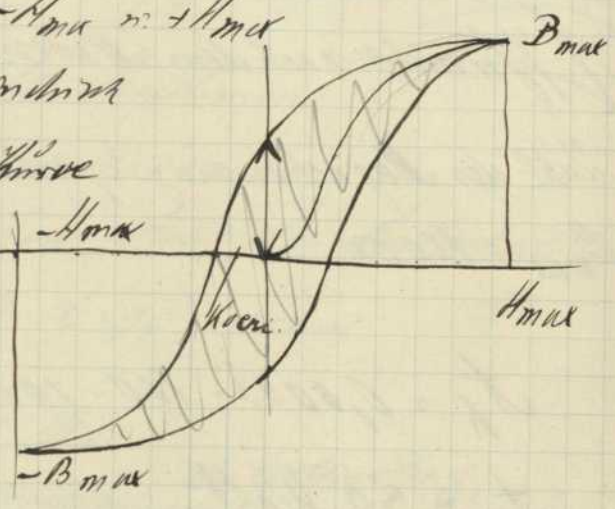
$$\Phi^2 = \Phi_1^2 + \Phi_2^2$$

$$tg\,\alpha = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = tg\,\frac{2\pi t}{T}$$

$$\alpha = \frac{2\pi t}{T}$$

d.h. das rotierende Feld dreht sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit

Bei Wechselstrom kann es vor dass Eisen <u>cyklisch</u> magnetisiert wird. Zwischen $-H_{max}$ u. $+H_{max}$



Lässt man einen Strom hindurch so erhält man die mittlere Kurve. Alle weiteren Magnetisierungen geben die nebenstehenden Kurven. Den Abstand auf der Ordinatenaxe nennt man <u>Remanenz</u>. Auf der Abscissenaxe <u>Koercitivkraft</u>. Man nennt die Kurve die magnetische Hysterese oder Reibung des Eisens. Will man die alte Kurve so hat man Entmagnetisieren

Der Inhalt der Hysteresis fläche ist

$$\frac{\int H\,dB}{4\pi}$$

ist nichts anderes als die Arbeit die pro cbm Eisen verloren geht. Ohne Rücksicht auf die Zeit. in der Ummagnetisiert

$9{,}81 \cdot 10^7$ Erg = 1 mkg
10^7 Erg = 1 Joule
10^7 sec Erg = 1 Watt

Verlorene Arbeit wird in Wärme eingesetzt.

Steinmetz stellte für die Hysteresis arbeit die Formel auf

$$A_h = \eta N V B_{max}^{1,6} \cdot 10^{-7}$$ N Zahl der Magnetisierungscykel pro Sek.

Annäherungsgleich $N = \frac{1}{T}$

$$A_h = \eta N V B_{max}^{1,6} \cdot 10^{-7} \text{ Watt}$$ V Volumen des Eisens in cbcm

η schwankt nach dem Material im Mittel = 0,0033

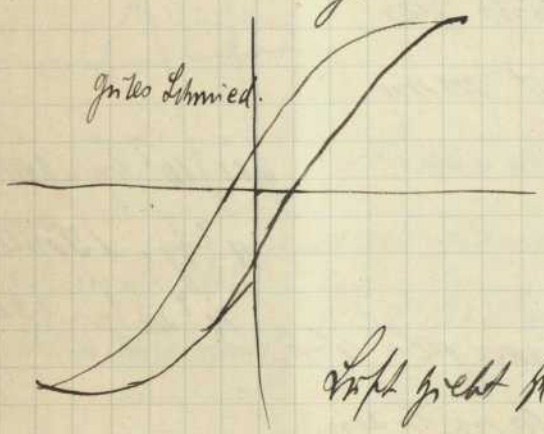
Zahl der Magnetisierungscykeln N = 100. Vol. 1000 cbcm

$B_{max} = 10000$

$$A_h = 0{,}0033 \cdot 100 \cdot 1000 \cdot 10000^{1,6} \cdot 10^{-7} \text{ Watt}$$

$A_h = 83$ Watt werden in der Schmiede gegessen.

Graseisen verhält sich anders wie Schmiedeisen



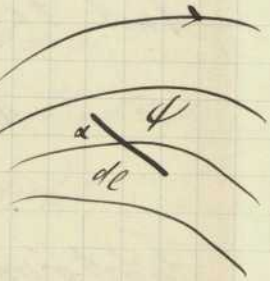
Luft zeigt keine Hysteresis ebenso jeder unmagnet. Körper

Es ist gleichgültig wie rasch zeitlich ändert man erhält immer die gleiche Hysteresisfläche.
Die in der Tabelle angegebenen Werte ist das Mittel aus den beiden Hysteresiswerten.

Induktion.

Leiterelement im magnet. Feld.

$dE = \mathfrak{H}\, dl \sin\alpha\, v_0$ vs Geschwind. pro sec

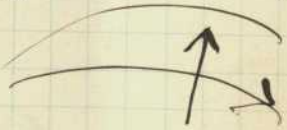


Die 3 Größen Draht Geschw. Kraftlinien müssen ⊥ aufeinander stehen um Draht Spannung machen. Steht das Leiterstück ⊥ zur Kraftebene so ist $\alpha = 90°$ somit

$$dE = \mathfrak{H}\, dl\, v_0$$

Regel. Man bringe den Daumen der rechten Hand in die Richtung der Bewegung (Leiterstück) den 2ten Finger in die Richt. der Kraftlinien so zeigt mit dem 3ten Finger die Richtung des Stromes.

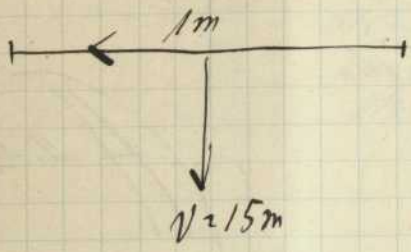
Die Pfeile mögen die Richt. der Kraftlinie angeben
Leiterstück bewege sich ⊥ zur Ebene herein der
Strom geht daher in der angezeichneten Richtung.



Für den ganzen Leiter hat man:

$$E = \int \mathfrak{H}\, dl \sin\alpha\, v_0$$

Man habe einen Leiter der sich mit einer Geschw. $v = 15$ m bewegt. Die Kraftlinien gehen ⊥ zum Leiter. Anzahl 5000



Leiter schneidet in der Sekunde

$$1 \cdot 1500 \cdot 5000 \text{ Kraftlinien}$$

$$7{,}5 \cdot 10^{7} \times 10^{-8} \text{ Volt}$$

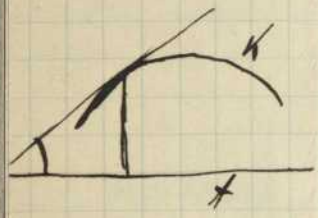
$$7{,}5 \text{ Volt}$$

Nach Formel ist

$$E = \int_{l=0}^{l=100\,cm} 5000 \cdot 1 \cdot 1500 \cdot dl = 7{,}5\,V.$$

Führt man nun durch das Feld irgendwelche geschlossenen Leiter so gilt nach Maxwell.

Die elektr. K. in einem geschl. Leiter ist = der stündlichen Änderung der vom Leiter umfassenen Kraftlinien-Zahl oder = der Zahl der Kraftlinien die durch den Leiter hindurch gehen.



Die Kraftlinien Zahl K werde in t Sek. eingezeichnet. In dt Sek. ändere sich die Kraftlinienzahl um dK somit.

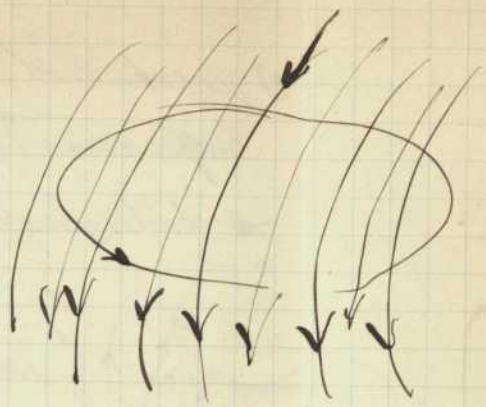
$$\boxed{E = \frac{dK}{dt}}$$

Will man Volt so hat man mit 10^{-8} zu multipl.

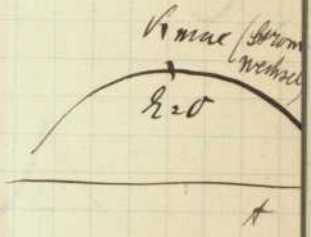
Wie fliesst nun hier der Strom.

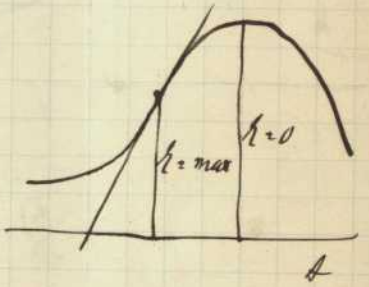
Man betrachtet den betreffend. Stromkreis, in Linie der Kraftlinien dann entsteht im Leiter eine elektr

Kraft im Sinne des Uhrzeigerumlaufs
wenn die Kraftlinienzahl abnimmt. Bei gleicher Kraftlinienzahl fließt Strom im entgegengesetzten Sinn des Uhrzeigerumlaufs.



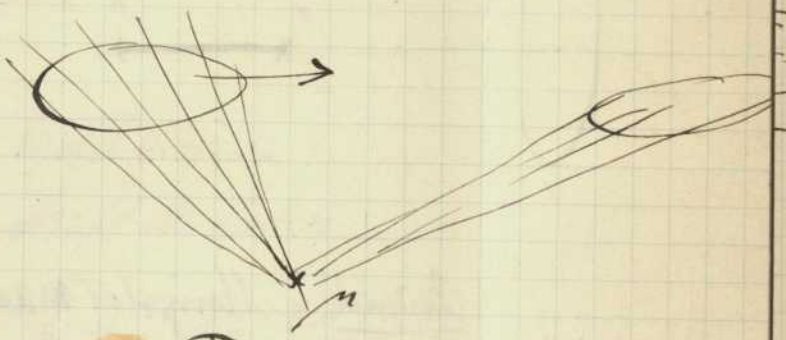
Sobald sich Kraftlinienzahl im Nachbarleiter nicht ändert so hat man im Leiter eine elektrom. Kraft = 0. In dem Augenblick wo Kraftlinienzahl ein Max ist, ist Elektrom. Kraft 0. Wo Kraftlinienkurve im steilsten ist, erreicht elek. Kraft ein Maximum.

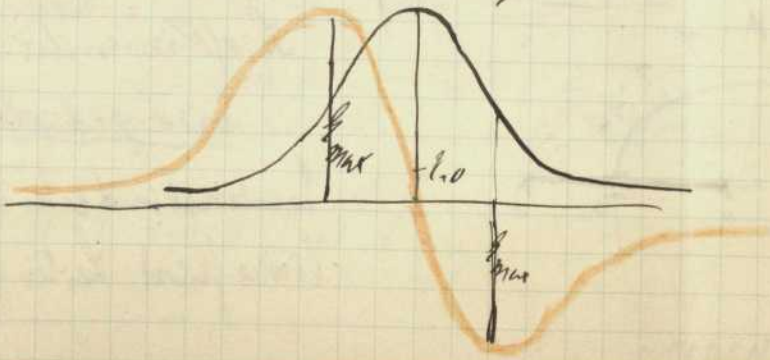




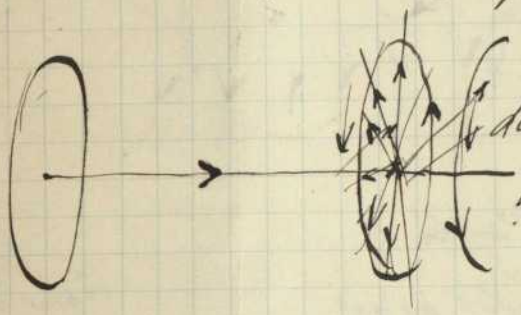
Man kann dasselbe erreichen wenn man Leiter ruhig läßt u. Kraftlinienzahl ändert. D. h. ein magnetisches Feld entstehen u. verschwinden läßt.

Beispiel Wasser eine Induktion findet statt.
Leiter bewege sich gleichförmig von rechts nach links. Die Kraftlinienzahl hängt ab von der Zeit.
Induktionsverhältnisse ändern sich wie in Figur gelbe Linie



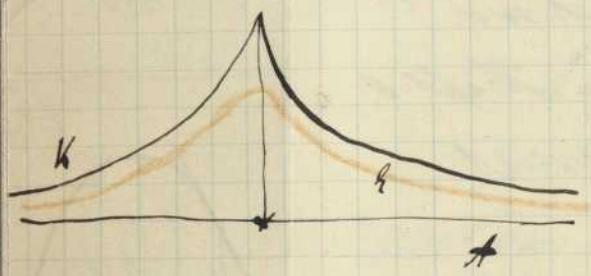


2) Geg. Pol N Kreis wird aus unendlicher Entfernung mit konst. Geschw. parallel herangeschoben. Wie ändert sich die Kraftlinienzahl?

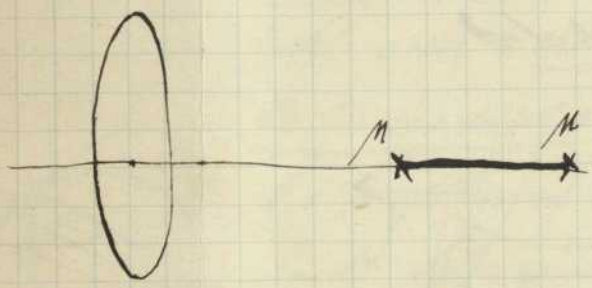


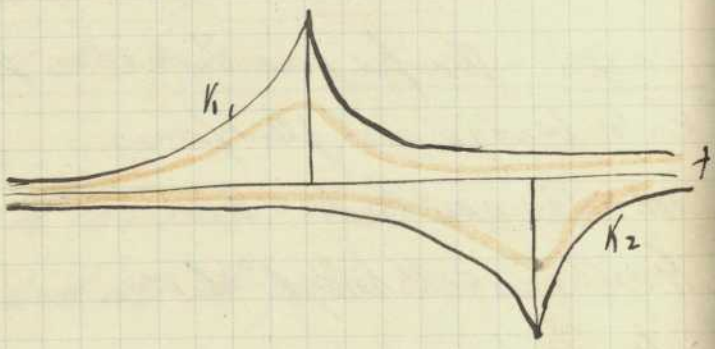
In dem Augenblick wo der Kreis in die Nähe des Pols kommt geht ungefähr die Hälfte der Kraftlinien durch den Kreis. Es fließt kein Strom wobei statt wenn Kreis aus Pol weggeht.

$$E = \frac{dK}{dt} 10^{-8}$$

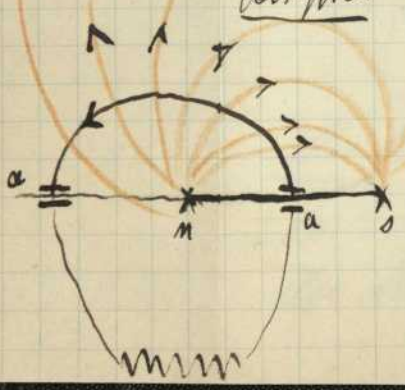


3) Statt Pol Stabmagnet.

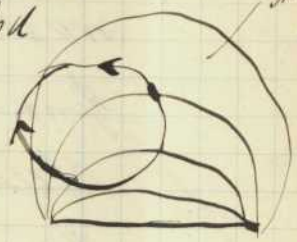




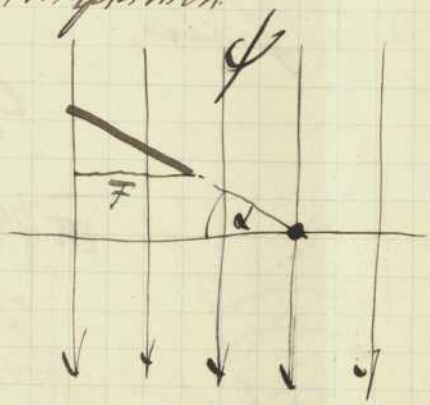
Beispiel. Unipolar Maschine. Leiter soll ⊥ zu allen Kraftlinien die er schneidet. Leiter wird gedreht um Achse des Magneten. Es entsteht in Leiter ein Strom der von b̲ rechts nach links fließt. Leiter giebt den Strom an die



Schleifringe a ab. Mit ist die einfachste Gleichstrommaschine
Nachteil keine hohe Span. möglich man müßte mehre Leiter
anwenden ferner Spannungsverlust an den Schleifringen. Wird
nicht mehr angewendet nur noch historisch



Beispiel Ein Leiter drehe sich in der Ebene der Kraftlinien.
Anfangsstell. des Leiters sei horizontal
Derselbe lege in der Zeit T den Weg 2π
zurück in t Sek. α. Es verhält sich



$$T : 2\pi = t : \alpha$$
$$\alpha = \frac{2\pi t}{T}$$

Projektion des Leiters wird die Öffnungsfläche der Kraftlinien sein. Es
sei F Fläche des Leiters somit Kraftlinienzahl

$$K = F \cos\alpha \, \Phi$$
$$K = F\Phi \cos\frac{2\pi t}{T}$$

Für $\alpha = 0$ oder $\alpha = \pi$ hat man Max der Kraftlinienzahl.
für $\alpha = 90$ u. 180 $K = 0$. Elek. Kraft des Leiters

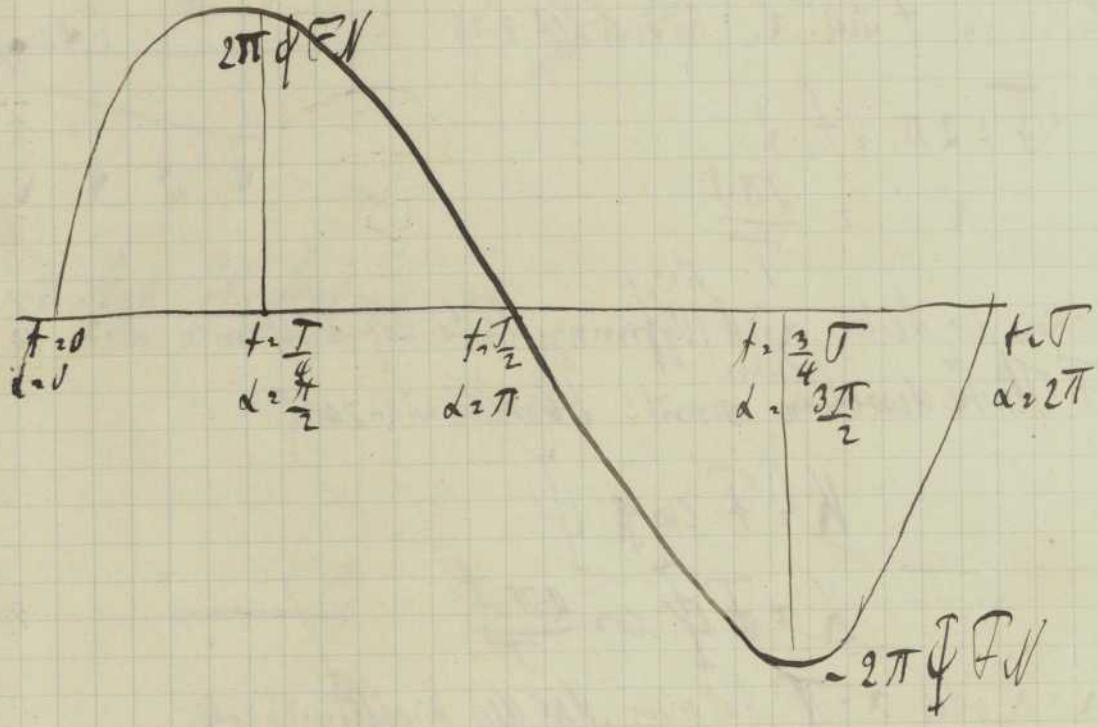
$$e = \frac{dK}{dt} 10^{-8} \text{ Volt} = \Phi F \frac{2\pi}{T} \sin\frac{2\pi t}{T}$$

Setze $\frac{1}{T} = N$ = Frequenz oder Cyklenzahl des Leiters N Drehungszahl pro Sek

somit $e = \Phi F \, 2\pi N \sin 2\pi N t$

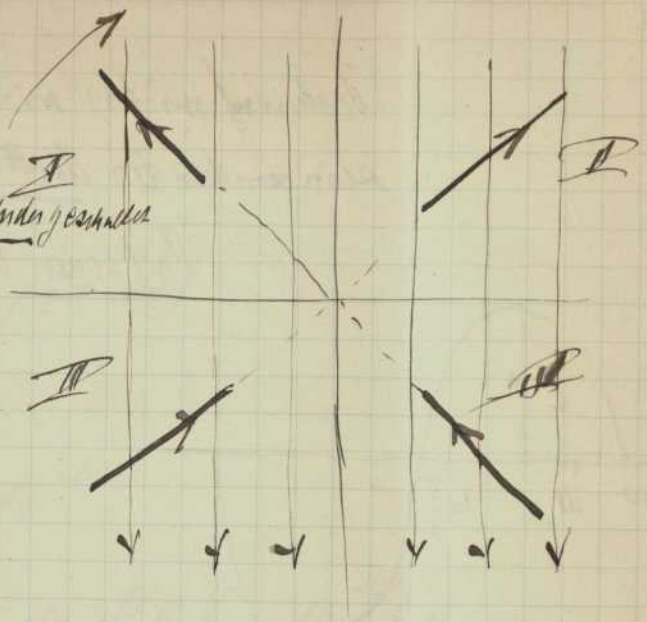
e wird Max. für $\sin\alpha = 1$. d.h. für $\alpha = 90$ u. $180°$
d.h. in der Stell. wo keine Kraftlinien hin durchgehen
wo Änderung stattfindet. e wird 0 in der
Grundstellung. Die Stellung nennt man Neutral-
stellung $2\pi\,\Phi\,F\,N$ Amplitude. a.
Man erhält einen Wechselstrom für denselben ist schon
früher

$$e = \underbrace{2\pi\,\Phi\,F\,N}_{a} \sin \underbrace{2\pi\,n\,t}_{\alpha} \qquad (a)$$



Man hat hier die einfachste Maschine für Wechselstrom
Der Strom wechselt für $\alpha = 0$ u. $\alpha = 180°$
Wie läuft der Strom in den 4 Quadranten (siehe Fig.)
in I u. II Stromrichtung gleich. ebenso in
III u. IV u. dass nur Änderung in der horizontalen
Lage erfolgt. In Gleich. (a) ist keine Andeutung vorhanden

über die Lage des Leiters zur Drehachse.



Der ebene Leiter habe 2 Windungen hintereinandergeschaltet
Dann ist elektr. Kraft

$$e = 2\pi \Phi F N 2 \sin 2\pi N t.$$

ΦF = Max der Kraftlinien = K_{max}

$2\pi n \frac{1}{\sqrt{}}$ = T mit man Periode des Wechselstroms

$2\pi N 2 K_{max}$ = Amplitude

$$e = (2\pi N 2 K_{max}) \sin 2\pi N t.$$

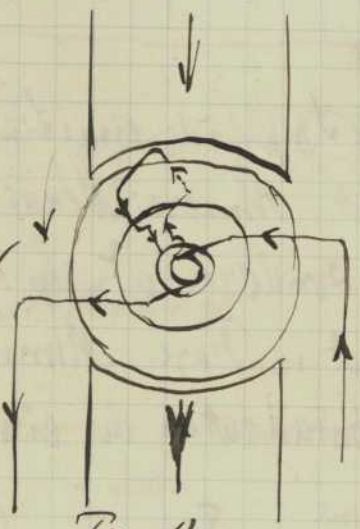


Fig 1)

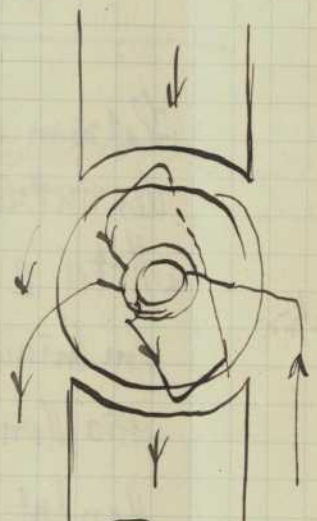


Fig 2

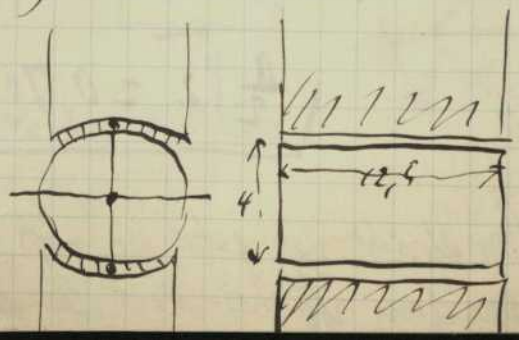
Beispiel

Es möge sich ein herzförmiger Leiter um eine vert. Axe drehen. Es sei eine minutl. Umdrehzahl $n = 2400$ Windl. $z = 500$ Mittl. Φ 40. $H = 0{,}20$/cm

$$e = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 40 \cdot 500 \cdot \frac{\pi 40^2}{4} \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-8} \sin(2\pi 40 t)$$

$$= 0{,}315 \sin(2\pi 40 t) \text{ Volt.}$$

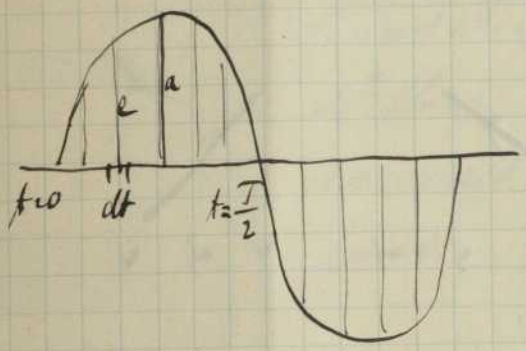
2) Großer Leiter (Rechteck) 2 Volt haben
Seine Leitenlänge 4 cm 12,5 cm
2000 Wind. $n = 3000$/min $N = \frac{3000}{60} = 50$
$\Phi = 5000$



$e = 2\pi \cdot 50 \cdot 2000 (4 \cdot 12{,}5 \cdot 10^{-8} \sin(2\pi 50 t)$
$= 1570 \sin(2\pi 50 t)$
Volt

Technisch wichtig wird nun aber nicht der einzelne Strom sein sondern der <u>Mittelwert</u>. $e = a \sin \frac{2\pi t}{T}$

Auf jedes dt kommt ein e.



$$\frac{\int_{t=0}^{t=\frac{T}{2}} e}{\frac{\frac{T}{2}}{dt}} = \frac{\int_0^{\frac{T}{2}} e\,dt}{\frac{T}{2}} = \frac{2a}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \sin\frac{2\pi t}{T}\,dt$$

$$= \frac{2a}{\pi} = \underline{0{,}6371\,a.}$$

Hat man die Amplitude einer Sinuslinie so hat man sofort den Mittelwert. Unsere Messinstrumente liefern nicht das Mittel e sondern e^2 so kommt also immer der Strom im Quadrat in Frage. Man muss daher immer das Mittel aus den Quadraten der einzelnen Ströme nehmen.

$J^2 w$ Leistung

Man hat dann

$$\frac{\int_0^{\frac{T}{2}} e^2}{\frac{T/2}{dt}} = \frac{2a^2}{T}\int_0^{T/2} \sin^2\frac{2\pi t}{T}\,dt = \frac{a^2}{2}$$

Das mittl. Stromquadrat ist = der Hälfte des Amplituden Quadrats. Der mittlere Strom wird also die Wurzel aus $\frac{a^2}{2}$ sein. Der technisch in Frage kommt

$$\boxed{\frac{a}{2}\sqrt{2} = 0{,}707\,a.}$$ <u>Effektiv Wert des Stromes.</u>

Man spricht von jetzt an nicht mehr von der Amplit. sondern von dem Effektiv Wert des Stromes. Diesen Strom zeigen uns

die Messinstrumente an.

Was ist nun die eigentliche Spannung?

$$e = \underbrace{\left(2\pi N z K_{max} 10^{-8}\right)}_{a} \sin(2\pi N t)$$

$a \cdot \frac{1}{2}\sqrt{2} = E$

$$E = \frac{1}{2}\sqrt{2} \times 2\pi N z K_{max} 10^{-8}$$

$$\underline{E = \pi\sqrt{2}\, N z K_{max} 10^{-8} = 4{,}44\, N z K_{max} 10^{-8}\ \text{Volt}}$$

$$\frac{\text{Eff. Wert}}{\text{Mittelwert}} = \frac{\frac{a}{2}\sqrt{2}}{\frac{2a}{\pi}} = \frac{\pi\sqrt{2}}{4} = 1{,}11 = \underline{\text{Formfaktor}}\ \text{genannt}$$

Eff. W. um 1,11 grösser als Mittelwert.

Bisher hat man den Leiter als ganzes betrachtet nicht gefragt was die einzelnen Teile machen.

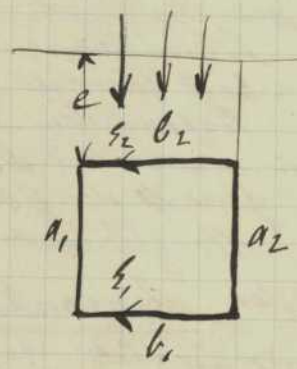
<u>Wie wird trägt nun jeder einzelne Teil des Leiters zur Induktion bei?</u>

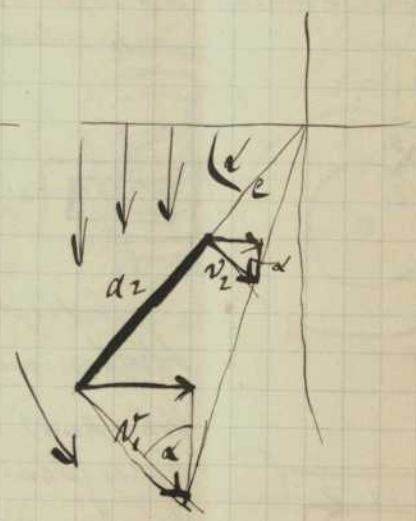
Die Geschw. v_1 u. v_2 u. Seiten a_2 liegen in derselben Ebene wie die Kraftlinien

In b_2 wirkt elek. Kraft von rechts nach links ebenso in b_1

$E_1 > E_2$ wegen grösserer Geschw. stärkere Induktion

Wirkungsvoll ist nur v_2 und u. v_1 sind





somit $k_1 = \phi b_1 v_1 \sin\alpha$

$$k_2 = \phi b_2 v_2 \sin\alpha$$

$$k_1 - k_2 = \phi b (\sin\alpha (v_1 - v_2))$$

In einer Drehung werde die Zeit T gebraucht somit linear Geschw. d.h. Geschw. pro Zeit

$$v_1 = \frac{2\pi(a+e)}{T}$$

ebenso

$$v_2 = \frac{2\pi a}{T}$$

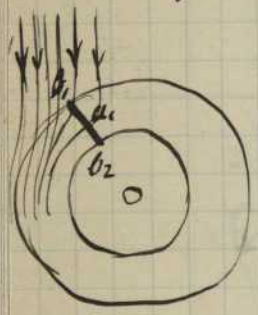
somit Überschuss der größeren über die kleinere elekt. Kraft

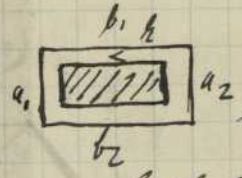
Es gibt also Partieen die sogar schädlich wirken wie k_2

$$k_1 - k_2 = \phi b \sin\alpha \frac{2\pi a}{T}$$

$$\underline{k_1 - k_2 = 2\pi N T \phi \sin\alpha.}$$ / Gleich. wie früher

Verhinderungsmittel

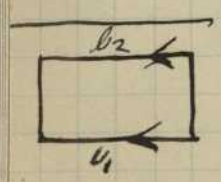


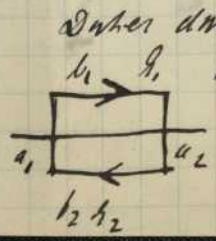


Da man immer einen geschlossenen Leiter haben muss so kann man nicht verhindern dass schädliche Ströme entstehen. Kraftlinien werden durch Eisenring abgelenkt. b_1 wird Kraftlinien schneiden b_2 wird nicht mehr geschnitten so ist deshalb k in b_1. Man ist die elekt. Gegenkraft losgeworden. Man lässt das Eisen mit drehen u. macht die Wicklungen fest (konstruktiv einfacher) Also ist der Gewinn nicht wenn man das Eisen festlegt. Alle Gleichstrommaschinen nach dem auf diesem Prinzip beruhen werden <u>Ringankermaschinen</u> genannt.

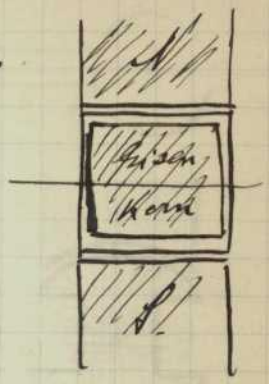
Woher kommt nun die elekt. Gegenkraft?

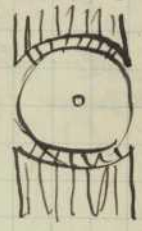
Daher dass b_1 u. b_2 auf derselben Seite der Axe liegen. Lässt man Drehachse zwischen b_1 u. b_2 durchgehen so zeigt sich Strom von links nach rechts (Fingerregel) Dann hat man $k_1 + k_2$ Man hat kein Eisen notwendig.





Dies ist das Prinzip der „Trommelankermaschinen." Kein toter Draht bei gleichem Durchmesser wird Trommel. unterscheidet gleichen Verhältnissen vorzüglich gewähren. Dann weniger Imperewirl. wird Eisenkern eingesetzt. Hierbei haben wir einer homogenes Feld angenommen. Praktisch ist dies unrichtig da Kraftlinien radial gerichtet sind. Dann werden die gefundenen Gleich. auch nicht streng gelten.

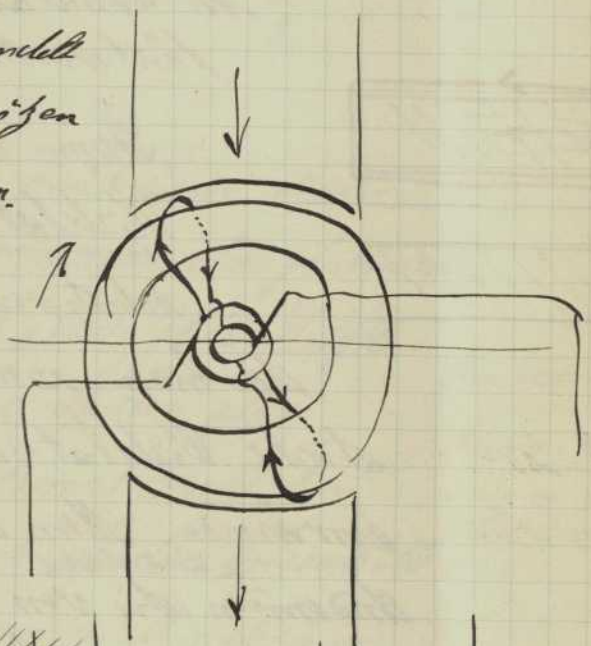




Eigenen Leitg.

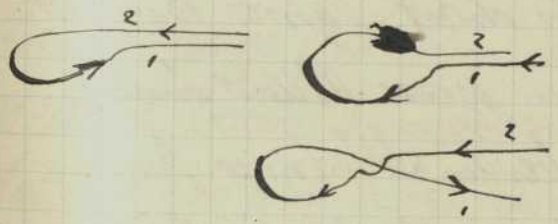
Fig. 2. mit Eisenkern. auf der Axe 2 von einander u. von Axe isol. Schleifringe mit Schleifbürsten. Beide Ströme sind ~~A~~ geschaltet.

Wozu z. B. um chemische Prozesse handelt ist es nicht möglich Wechselströme zu benützen. Also sind für Beleuchtung Gleichstrom nötig.



Wie ist es möglich nach außen Gleichstrom abzugeben?

Es wechselt der Strom wenn er die neutrale Linie nun passiert. Spule in 2 Lagen geteilt u. mit äußeren Leitung verbunden.



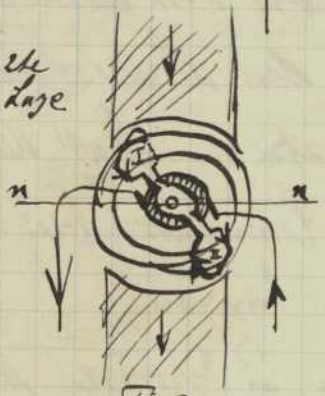


Fig 3.

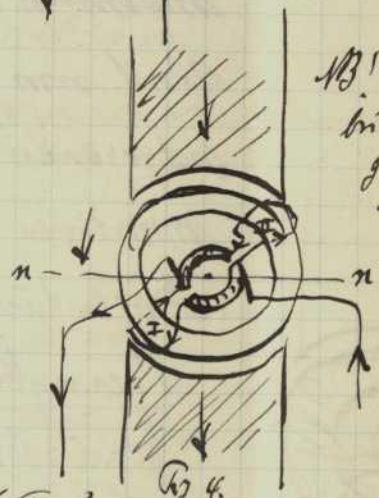
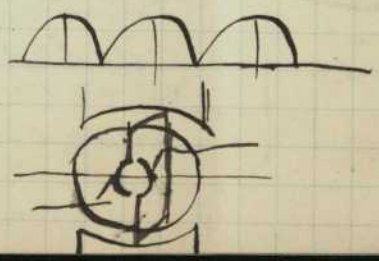


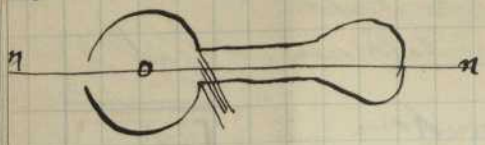
Fig 4.

NB! Die Schleifbürsten müssen genau in der Neutrallinie nun liegen

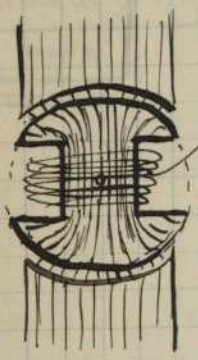
In Fig 2 u. 3. Bilden die Schleifringe 2 Segmente. Kommutator genannt. In dem Augenblick da der Strom wechselt gelangt der Schleifring vom unteren Segment zum oberen (s. Fig) die Linie dicht schnell vorüber.

Mit der richtigen Lage kann man Gleichstrom beleuchtung herstellen aber es ist kein gleichartiger sondern ein zerhackter Strom. Prinzipiell ist kein Unterschied zwischen Trommel u. Ring

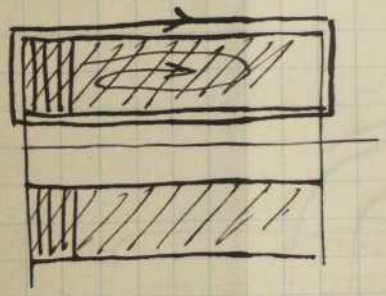




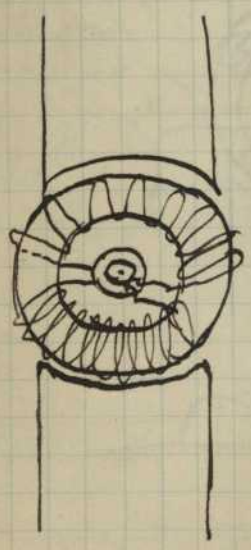
In diesem Augenblick ist Spule kurz geschlossen ist aber ohne Wirkung weil sie in der neutralen Zone geschieht. Wäre dies nicht der Fall so würden starke Funken bei der Wiederöffnung entstehen.



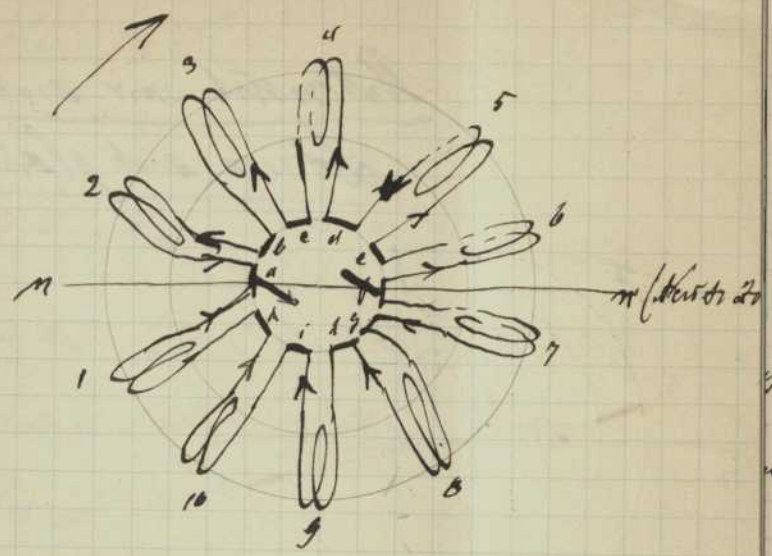
Extraströme entstehen im kleinen auch bei richtiger Stellung der Bürsten. Doppel T inductor von Werner Siemens noch heute üblich für Telephonläutwerke. Angenommen sich um eine Axe



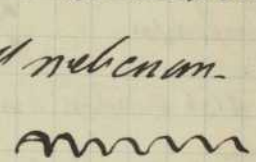
drehende Spule die im Moment stehen muß um Wirbelströme hervorgehen der grossen Arbeitsverlust Verursachung. Würde man das Eisen massiv machen so hätte man starke Wirbelströme das Eisen würde sich erwärmen. Man ~~theilt~~ theilt daher und einzelnen Blechen Isolirschichte dazwischen / die von einander durch Papier Deckel sind. um den Wirbelströmen grosse Widerstände entgegenzusetzen. Statt der beiden Schleifringe hat man einen Commutator bestehend aus 2 Teilen hier Anwendung bringen.



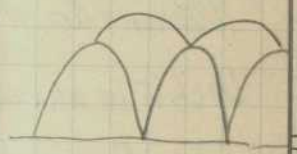
Pacinotti & Gramme verwenden einen vielteiligen Commutator Man nennt ihn den Collektor. Dem vielteiligen Coll. entsprechen ebenso viel Windungen dadurch erreichten dieselben Ströme welche nicht mehr so stark schwankten



Läßt man die Bürsten in der neutralen Zone weder schleifen so werden commutatorstücke mit die Segmente werden die mit den Bürsten in Verbindung steht. Dreht man in Sinn des Uhrzeiger so kommt Spule 1 in die neutrale Zone. Ihre Elektromot. wird 0 werden. Man hat die Hälfte der Spulen über der neutr. Linie die andere unter derselben. Die Spulen werden alle gleichmäßig induziert. Die Spulen sind ~~#~~ geschaltet. Jede Hälfte liefert den Strom $\frac{I}{2}$ Man habe c Spulen also auch c Stromzweige. Die elektromot. Kraft kann niemals 0 werden da zwar noch Spulen innerhalb der neutralen Achse liegen. Der Strom wird nebenstehende Form annehmen. Der Strom hat immer noch eine oszillierende Bewg.

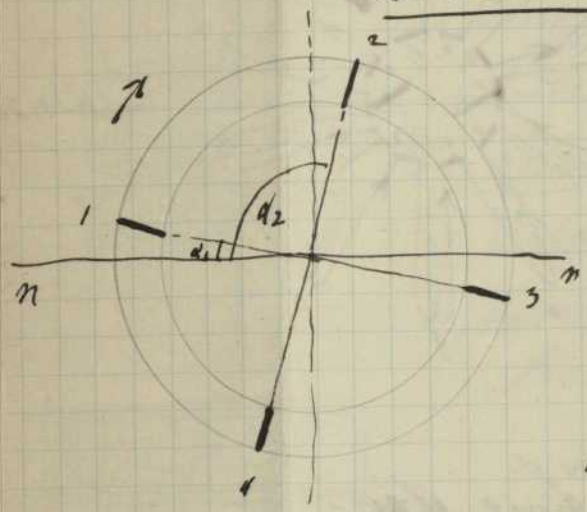


Man hat $\frac{L}{c}$ Umdrehung zu machen um von 1 nach 2 zu kommen

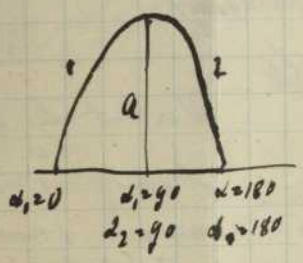


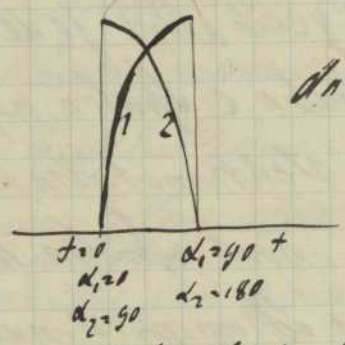
Bürsten genau in der neutralen Linie liegen da sonst Funkenbildung eintritt. ist eine starke Funkenbildung eintreten wird. Würde man den Strom durch ein Telephon schicken so wäre immer noch ein Vibrieren der Platte hörbar. Ist dies nicht mehr hörbar so ist der Strom glatt. Dies erreicht man durch eine grössere Menge Spulen.

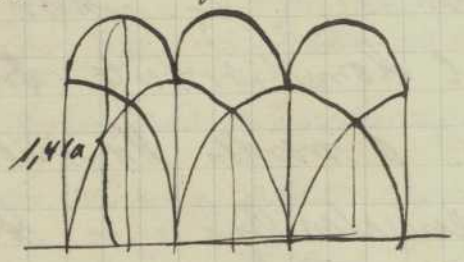
Untersuch. wie sich durch Anzahl der Spulen der Strom sich gleichmäßiger gestaltet.



Man habe 4 Spulen. Man braucht nur 1 u. 2 zu untersuchen. Spule 1 habe sich um α_1 im magnetisch. Feld gedreht. Dreht sich 1 um 90° so nimmt die elek. Kraft von 1 zu wie Fig. Zeigt 2 dreht sich mit u. geht eine ähnliche elek Kraft (s. Fig.) Man hat beide elek. Kräfte zu addieren. Da die Linie ersetzbar sind werden.





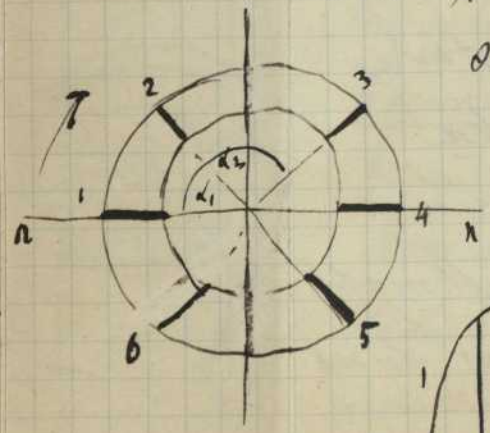


Während der n ähnlichen Drehung spielt sich zwischen 1 u. 2 das gleiche ab.

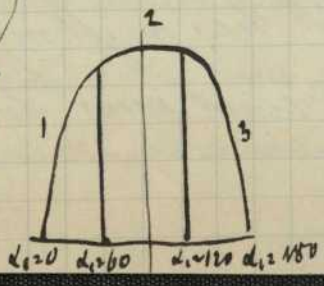
Elektr. Kraft in der Verbindung $a \sin 0 + a \sin 90 = a$ = Min.

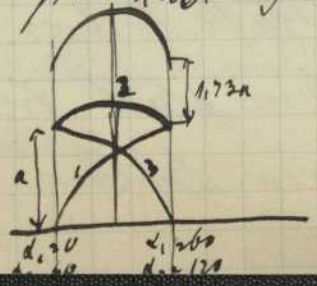
Bei 45° $a \sin 45 + a \sin 135 = a\sqrt{2} = 1{,}41a$ Für die Mitte = Max.

somit Verhältnis $\frac{a}{a\sqrt{2}} = 0{,}71.$



6 Spulen. Die einzelnen Stromstärken von 1, 2, 3 sind in der Fig ersichtlich





Diese addieren sich

In der Mitte ist $\alpha_1 = 30$ $\alpha_2 = 90$ $\alpha_3 = 150^\circ$
der Amplitude. dann ist.

$$a \sin \alpha_1 + a \sin \alpha_2 + a \sin \alpha_3$$

$$a \sin 0 + a \sin 60 + a \sin 120 = \underline{1{,}73a.} \text{ Min}$$

$$a \sin 30 + a \sin 90^\circ + a \sin 150 = \underline{2a} \text{ Max.}$$

$$\frac{e_{min}}{e_{max}} = \frac{1{,}73a}{2a} = \underline{0{,}863\,a.}$$

Je mehr Spulen desto näher rückt $\frac{e_{min}}{e_{max}}$ dem Wert 1.

60 Spulen Drehwinkel 6° somit:

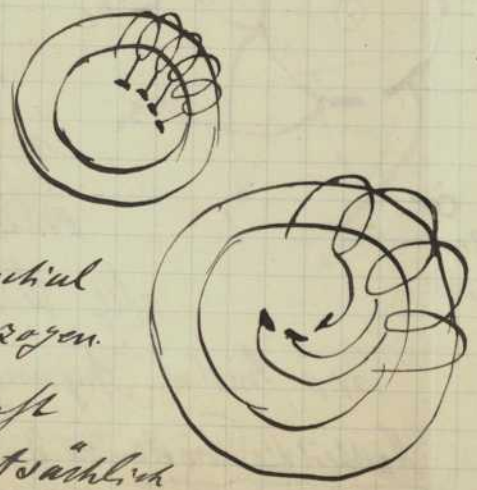
$$\frac{e_{min}}{e_{max}} = 0{,}9986$$ so fehlen kaum 2% zu 1.

Bei grossen Maschinen sind es mehr als 60 Sp.

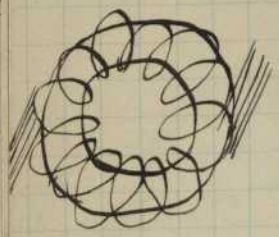
so dass man sagen kann:

<u>Die Summe der elek. Kräfte in jeder Hälfte des Ankers ist konstant</u>

Ringanker.



Man kann sich leicht vorstellen der Anker sei aus einer Anzahl der folgenden Spulen zusammengefallen denken.
Liegen die Erregungskräfte nicht radial sondern nach bestimmter Richtung verzogen. So brauchen die Bürsten <u>räumlich</u> nicht in neutraler Zone sich befinden. Thatsächlich



legen sie dann. Infolgedessen Drähte zieht man Bürsten direkt auf den Anker selbst schleifen lassen um Kommutator zu benutzen. Aufführung umständlicher u. Halbste. Diese Anordnung bietet Vorteile.

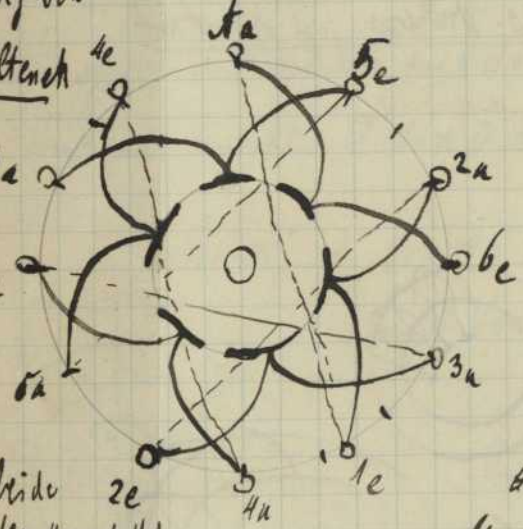
Wie sind Trommelmaschinen zu wickeln?

Scheint in einer Wickelung strenger zu sein als bei Ringmaschinen ist es aber tatsächlich nicht. Das Ende der einen Wickelung muß mit Anfang der anderen Wickelung verbunden sein. Das was beim Ring innen liegt muß beider Trommel alles außen liegen. Man wird nicht mehr nach Windungen sondern mit Querschnitten. Hat man beim Ring 12 Windungen so hat man bei der Trommel 24 Querschnitte. Jeder andere Querschnitt ist Anfang.

Wicklung von Hefner-Alteneck

Windungen ehen ebenso symmetrisch

Man hat beide Querschnitten geschaltet



Man kann also nicht diametral wickeln. Sind man Ende bei 1e so ist das Ende dahinliegen bestimmt.

Man kann auch so wickeln das Ende u. Anfang auf einander der liegen. Man erhält eine nicht ganz gleiche Induktion für alle Windungen. Erste Windung ist daher verzwickt wo Ende u. Anfang direkt auf Trommel zu legen kommen.

Nachteil des Trommelankers: Da Ende u. Anfang nahe aneinander liegen so können Isolationsstörungen wegen [illegible] sehr nachteilig werden.

Was für eine Induktion geben nun Ring- u. Trommelanker?

1) Ringanker

Mittl. Tourenz sei n

Z Windungszahl Z Leiterzahl müssen

müssen sein Für den Ringanker ist $Z = Z$

k Kraftlinienzahl in einer Windung

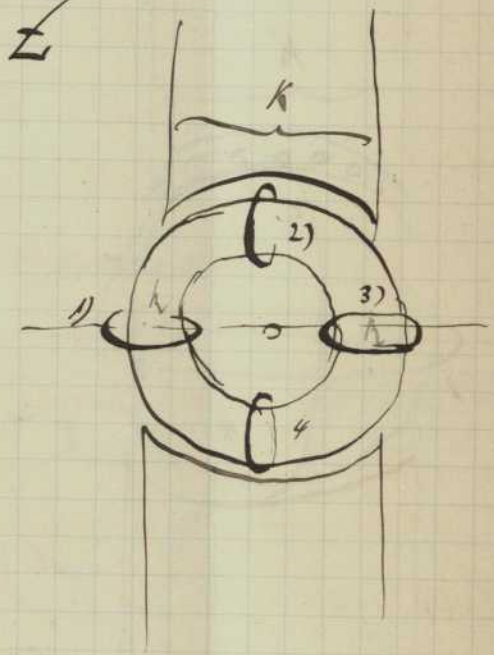
K " " von einem Polschuh

Beim Ringanker ist $K = 2k$

Kraftlinienzahl bei

1) k 3) K

2) 0 4) 0



Gesamtänderung der Kraftlinienzahl bei einer Wickelung $4k$

Es sind die Wickelungen in Serie geschaltet somit

Gesamtänder. bei Z Windungen pro Wickelung

$$4k \times \frac{Z}{2}$$

Also Kraftlinienänderung pro Sekunde

$$\frac{4k\frac{Z}{2}}{\frac{60}{n}} = \frac{nZk}{30 \cdot 10^{-8}} \text{ Volt}$$

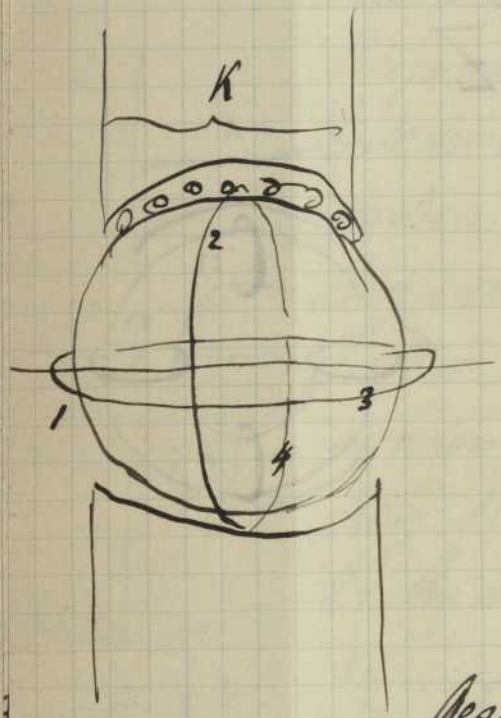
Mittlere elektrom. Kraft des Ankers $= \frac{nZk}{30 \cdot 10^{-8}}$ Volt

Man rechnet gewöhnlich mit Einführung von n Gesamtkraftlinienzahl K

somit

$$E = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^{-8}} \text{ Volt.}$$

2) Trommelanker.



n Tourenzahl/min

z Windungszahl

Z Ankerstabzahl $Z = 2z$

k Kraftlinienzahl für eine Windung

K Gesamtkraftl. Zahl am äußeren Polschuh

$k = K$

K 0 K 0

0 K 0 K

Gesamtänderung bei einer Windung $4k$

$\frac{z}{2}$ Wind. sind hintereinander geschaltet

Gesamtänd. der Kraftl. bei $\frac{z}{2}$ Wind.

$4k\frac{z}{2}$

somit

$$\frac{4k\frac{z}{2}}{\frac{60}{n}} = \frac{n z k}{30 \cdot 10^{8}} \text{ Volt}$$

$z = \frac{Z}{2}$ $k = K$.

Daraus folgt: $$E = \frac{n \frac{Z}{2} K}{30 \cdot 10^{8}} = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^{8}} \text{ Volt}$$

So gilt für Ringe & Trommel anker die gleiche Induktionsformel.

Setzt man $N = \frac{n}{60}$ somit

$$E = N Z K 10^{8}.$$

Was ist das Spannungsverhältnis am Anker? d.h.

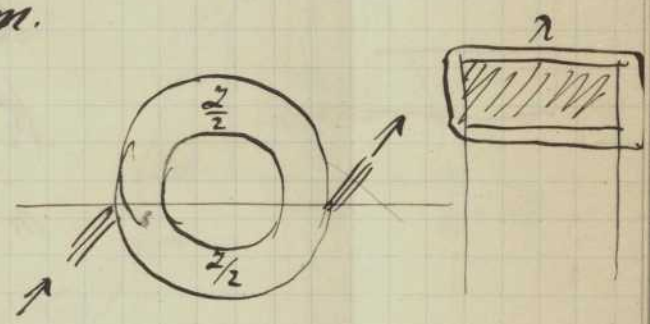
Wie groß ist der Widerstand im Anker?

Man hat 2 Wicklungen. Der Strom teilt sich in 2 # geschaltete Hälften. Länge einer Windung sei l m.

Querschnitt derselben f qm

Widerstand einer Wind. ist.

$$\frac{\sigma l^{m}}{f^{qm}}$$



Widerst. des Stromes in einer Ankerhälfte

$$\frac{Z}{2} \frac{\sigma l}{f}$$

Widerstand des ganzen Ankers.

(Reine Kupferwiderst.) $$W = \frac{\sigma \cdot l \frac{Z}{2}}{2f} = \frac{\sigma \cdot Z l}{4f}.$$

Kupferdraht $\sigma = \frac{1}{55}$ Der Drahtwiderst. allein ist $\frac{\sigma l Z}{f}$

somit Ankerwiderst. $1/4$ des Drahtwiderstandes

Ein großer Teil des Widerstandes liegt in den Bürsten. besonders wenn es Kohlenbürsten sind

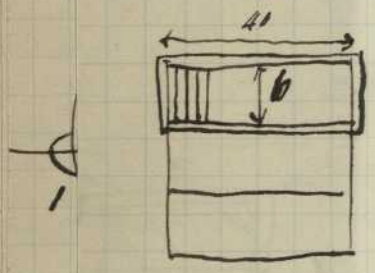
Spannungsverl. $d = J W$.

Klemmenspann. $\mathfrak{D} = \mathfrak{E} - d$.

Beispiel.

Ringanker bestehend aus Blechscheiben. Axialer Eisenquerschn. sei 0,8

so bietet sich den Kraftlinien ein Querschnitt dar



$F = 40 \cdot 6 \cdot 0{,}8 = 192$ qcm

$B = 12000$

$K = 12000 \cdot 192 \cdot 2$

$n = 700 \quad Z = 216 = 72 \times 3 = 72$ Spulen à 3 Windg.

$$\mathfrak{E} = \frac{700 \cdot 216 \cdot \overbrace{2 \cdot 12000 \cdot 192}^{K}}{60 \cdot 10^8} = 116{,}1 \text{ Volt}$$

Länge einer Windg. $\lambda = 0{,}94$ m $\quad \sigma = \frac{1}{55}$

Kupferdraht 0,4 cm ϕ $\quad f = 12{,}6$ qmm

$$W = \frac{\frac{1}{55} \cdot 216 \cdot 0{,}94}{4 \cdot 12{,}6} = 0{,}0734 \text{ Ohm}$$

d wird wohl etwas größer sein da Widerst. der Bürsten vernachlässigt wurde.

Man entnehme dem Anker einen Strom von 50 Amp.

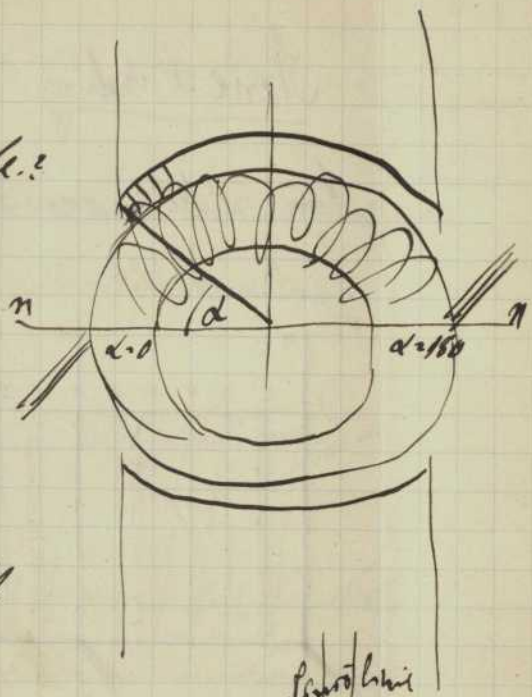
$J = 50. \quad d = J W = 50 \cdot 0{,}0734 = \underline{3{,}6 \text{ V}}.$

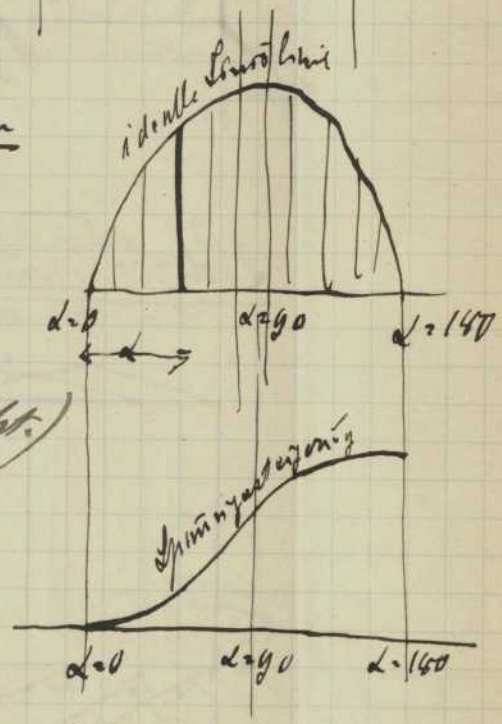
$E = k \cdot A = 112{,}5$ Volt

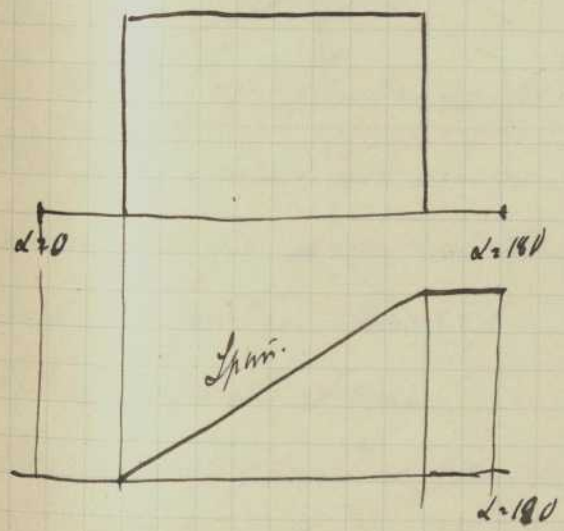
Vergessen ist man die elekt. Kr. jeder Spule:
Was liefert jede Spule zur elekt. Kraft bei

$l = a \sin \alpha$

Die elekt. Kraft ändert sich nach der Sinuslinie. Man trägt einfach α als Abscisse auf in Kurven die elekt. Kraft für die Spule entnehmen. Die Spann. steigt wie die Kurve zeigt. bei homogenem Feld. Nun hat man aber kein gleichmäßiges Feld die ideale Linienlinie geht über in die folgende. (Wechselt umgekehrt nicht wieder.)



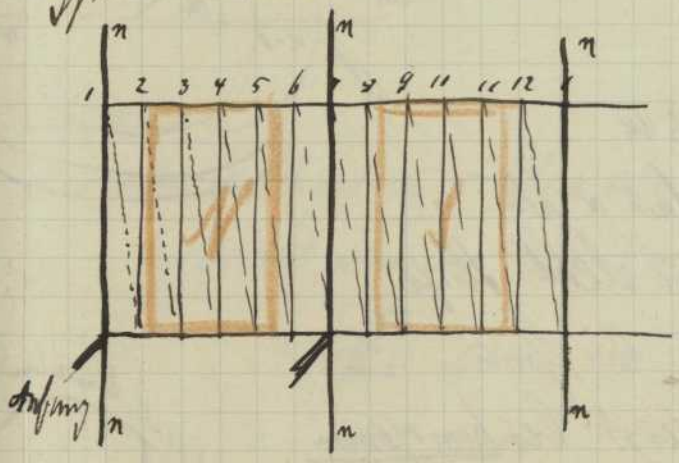




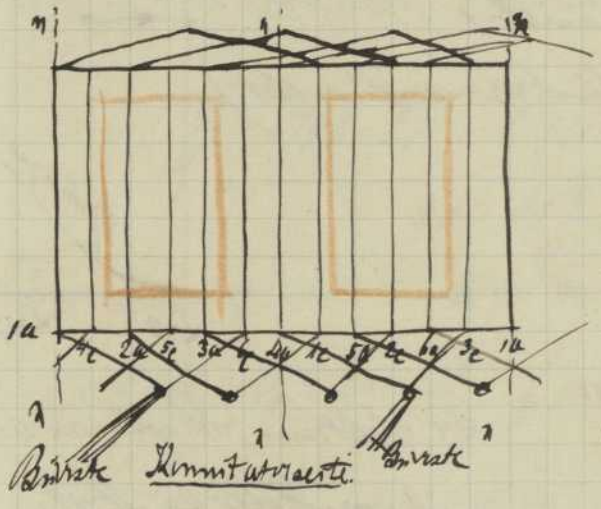
Die elektrom. Kraft ändert sich von Stelle zu Stelle wie der Sinus des Winkels ξ

Neue Wickelung.

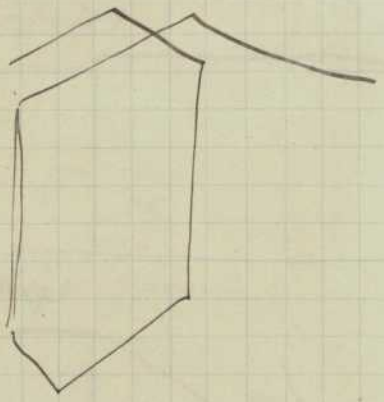
Man wickele einen Ringanker ab der Ringanker besitze 12 Spulen Drähte



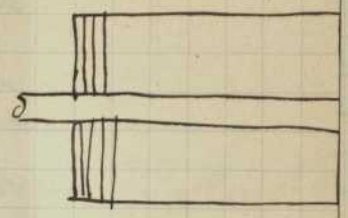
2 Poliger Trommelanker. 12 Drähte



Schleifenwickelung



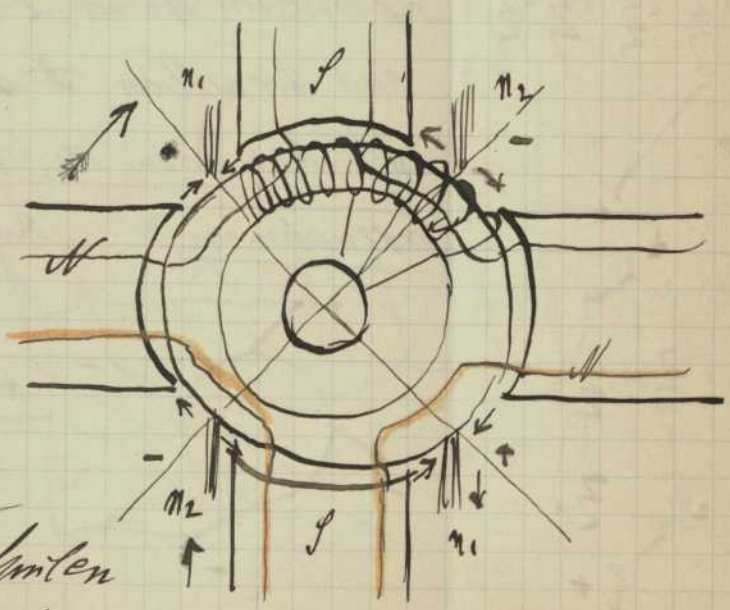
Vergleichung des Trommelankers m. Ringankers



Trommelanker hat weniger Widerst. und als R. Anker daher geringeren Spannungsverlust
Trommelanker ermöglicht einen viel kompakteren Maschinenkonst. als R. Anker Wollen wir kleine Maschinen so ist Trommel. Anker vorzuziehen
Tr. Anker ist mit einer geringeren Reparaturfähigkeit als R. Anker ausgerüstet
Drehen von Draht ist bei Trommelanker mehr zu fürchten als beim R. Ank. Handelt es sich um Gleichstromhochspan so ist R. Anker vorzuziehen

Letzter hat man vom 2poligen Mach. gesprochen.
Handelt es sich um grössere Leistungen so ist eine <u>mehrpolige</u> Mach. anzuwenden.

4 Polige Ringmaschine



Hier sind 2 neutrale Linien vorhanden. d.h. 4 neutrale Linien.
Bei einer 2poligen Maschine hat p neutrale Stellen.
Ringanker ist genau so gewickelt wie bei 2 poligen Maschine soviel man Spulen hat soviel Segmente müssen vorhanden sein.
Mach hat 4 neutrale Zone daher auch 4 mal von ⊕ Bürsten

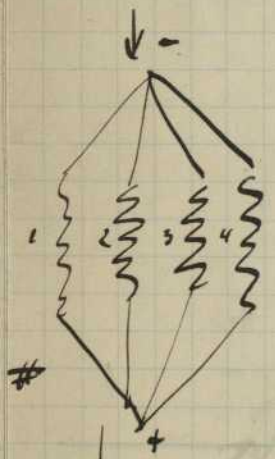
Bei einer 2p poligen Mach. hat man p positive Pole u. p negat. Pole jeweils abwechselnd.

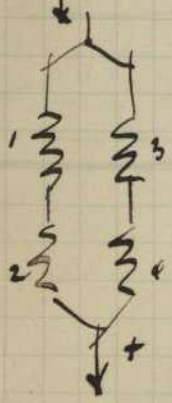
Um eine bessere Ausnützung von mehrpol. Maschinen zu erhalten so verbindet man nun noch die einzelnen Lamellensegmente da sich die einzelnen Segmente genau so verhalten wie bei der 2poligen Maschine. Was fängt man nun mit dem Strom, an den 4 Bürsten kommenden Strom an?

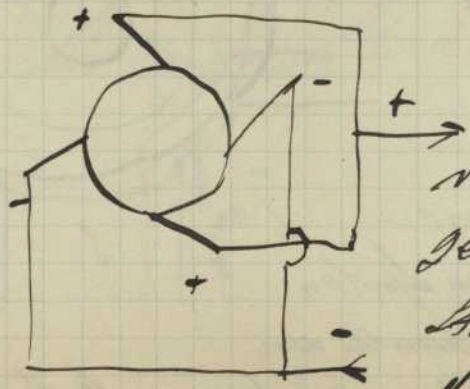
Wir sind die einzelnen Segmente nebeneinander schalten. Um kann die Segm. schalten wie man will nur nicht alle hintereinander einmal muss eine # Schaltung vorhanden sein. Hat man 2p polige Maschine so kann man auch sämtliche Segmente # schalten (Heißt das einfachste)

Um kann auch je 2 Segmente hintereinander u. dann die selben # schalten.

Wie kann man die # Schaltung am einfachsten vornehmen? Die Segmente seien gleich gemischt. Es werden die beiden pos. u. negativen # schaltet u. von den Verbindungsleitungen geht ein pos. u. negativer Strom ab. Hat man eine p polige Mach. so verbindet man p gleich



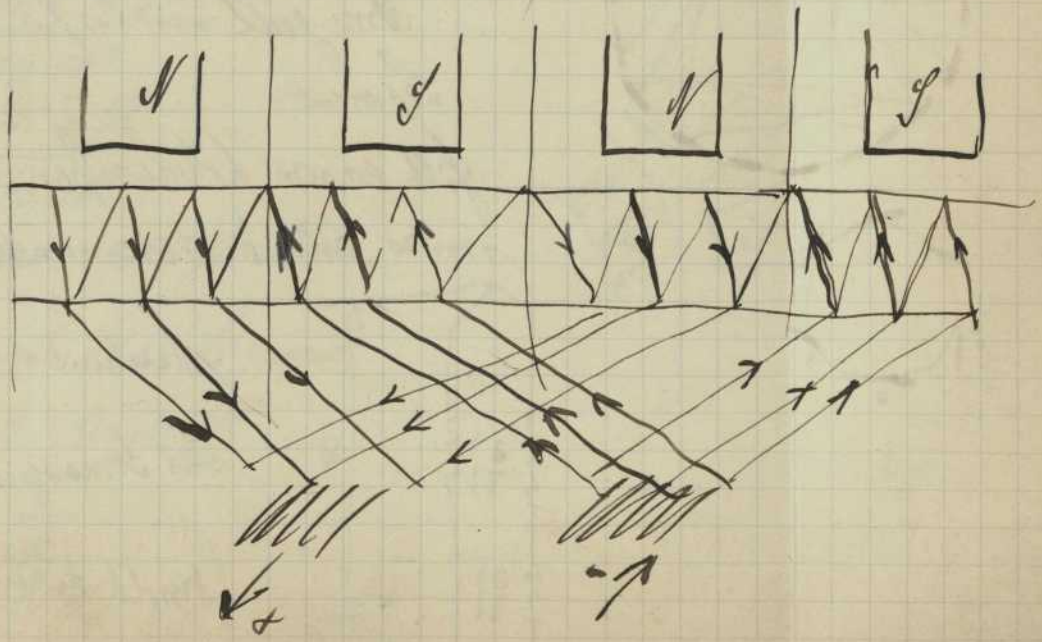




Pole

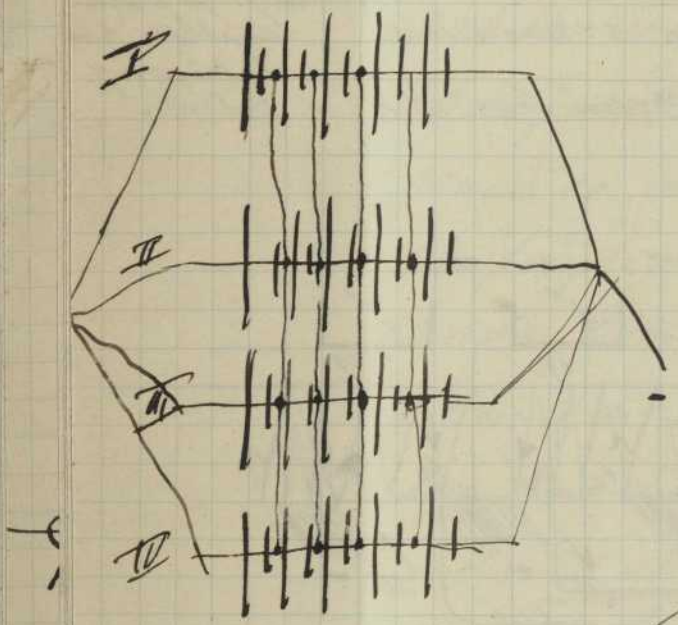
die negative sie führt gemeinsame Leitungen ab.
Früher hatte man eine gewisse Anzahl verdoppelt Vielfachel
der Bürsten. Heutzutage zieht man bei grossen Maschinen
viele Bürsten vor. da bei nicht genauer Stellung der Bürsten grosse Funkenbildung
Wie kann man die Vielfachel der Bürsten vermindern? nicht so stark entstehen kann als bei wenig Bürsten
Der äusseren Parallelschaltung steht gegenüber die
innere Parallelschaltung

Unsere Frenschaltung
geschieht dadurch
dass man Spulen
gleichen Sinns
verbindet (gleiches Induktion)
Man müsste II und III
vermeiden. a_1 liegt genau so zu einem Nordpol wie
a_3 ebenso b_1 zu einem Südpol mit b_2 Man kann die Enden von
a_1 mit a_3 zu b_1 mit b_2 verbinden. So sind dann die Bürsten II und III
zu vernachlässigen



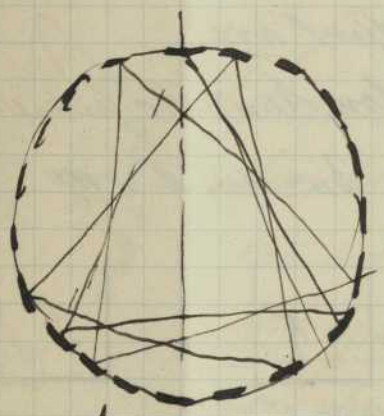
Was sich für
Ringanker machen
lässt lässt sich
beim Trommelanker
nicht ausführen

Denkt man sich die Schleifsegmente durch Batterien ersetzt. Man habe eine 4 Polige Maschine



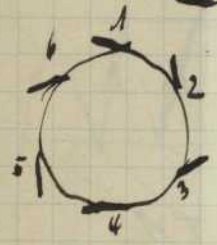
Schaltung innerhalb des Commutators von Morley. Ist nur brauchbar wegen grosser Anzahl von Drähten wird nur noch bei Strassenbahnen angewendet da diese Maschine als Motor gebraucht werden müssen

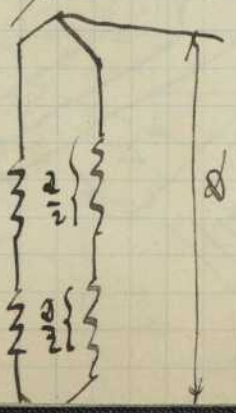
Man habe 6 Polige Maschine gebaut nach Morley Bürsten sind um 60° auseinander Man kann diese 6 Bürsten ersetzen durch 3 doch müssen diese genau eingestellt werden



Dies gilt auch für ~~4~~ geteilte Segmente

Gibt es von höhere Zahl der Windungen so muss auch hintereinander geschaltet werden





Maschine von Andrews

Bei Strassenbahnen (J. Hittler)

(Arnold Antriebwickelungen)

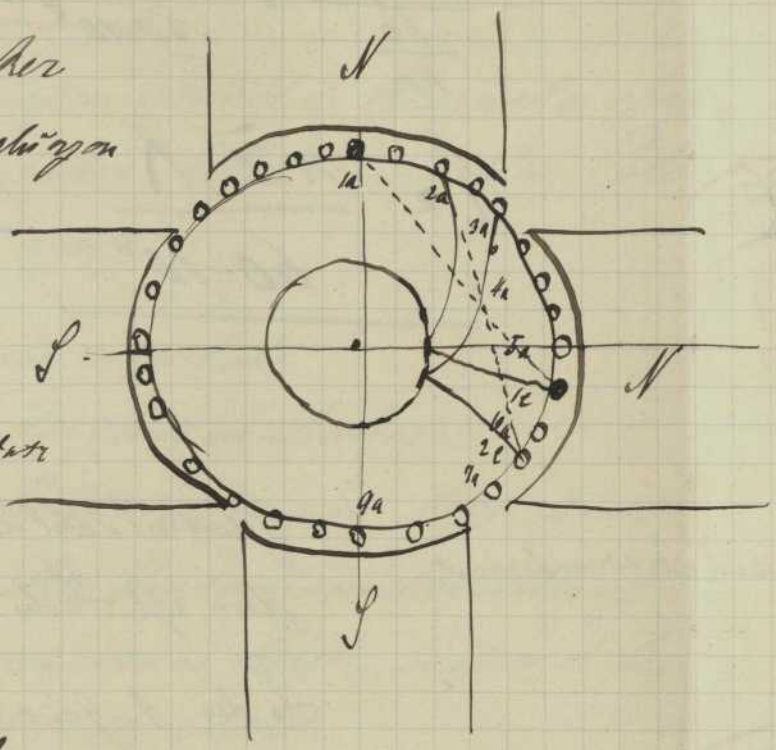
Wie gestaltet sich nun die Wickelung des Ankers bei vielpoligen Trommelankermaschinen?

4 Poliger Trommelanker

32 Querschnitte 16 Wickelungen

Die kann man auch mit zweier ~~#~~ Schaltung machen

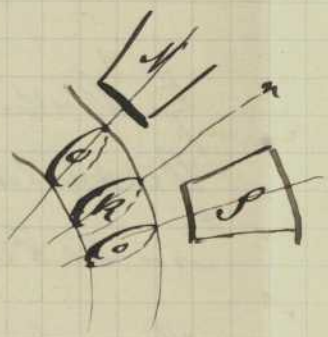
1a nach 1c nach Commutator zu 2a.



Induktionsgesetz für mehrpolige Masch.

Für 2 Pol. M. gilt nach früheren

$$E_2 = \frac{n Z K}{30 \cdot 10^8} = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8}$$



Man habe eine Masch. mit p Polen

Bei Drh. des Ankers um ein Segment so hat man Änderung der Kraftl.

$$2K \frac{Z}{p}$$

Hierzu wird gebraucht die Zeit $\frac{60}{n p}$.

Z Alle Wind. auf dem ganzen Anker

in einer Sek. ist Kraftlinienänderung

$$\frac{2K\frac{Z}{p}}{\frac{60}{np}} = \frac{nZK}{30\cdot 10^8} \text{ Volt.}$$

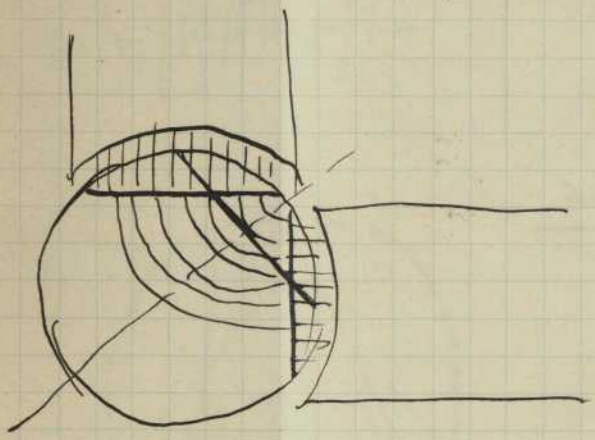
$$E = \frac{nZK}{60\cdot 10^8.}$$ eines Ankersegments

$R = \frac{K}{2}$

$Z = Z$

K Kraftlinienzahl von einem Segment

Gesamtzahl der Kraftlinien etc. K dann ist Induktion C.



In der 1. gezeichneten Lage
In der 2 " " " ist
Kraftlinienzahl = 0 In dukt. Max

Wenn im ganzen Z Windungen bei p Segmenten dann hat man für 1 Segment

$\frac{Z}{p}$ Windungen

Gesamtänderung $2K\frac{Z}{p}$

in der Zeit $\frac{60}{np}$

Also in d. Sekunde

$$E = \frac{2K\frac{Z}{p}}{\frac{60}{np}} = n\frac{ZK}{30\cdot 10^8} \text{ Volt.}$$

$$E = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8}$$

Kein Unterschied zwischen Trommel u. Ringanker ebenso kein Unterschied zwischen 2 Polen u. vielen Polen. nur ist zu merken. das:

K = Kraftlinienzahl eines Pols

Z = Windungen des ganzen Ankers.

In Betreff der elekt. Kraft einer ganzen Mach. kommt es auf Schaltung an. Bei Hintereinanderschaltung addieren sich die verschiedenen Kräfte während bei Parallelschalt. diese dieselbe bleibt.

Wie gross ist der innere Widerst. einer viepol. Ankers?

Hängt von der Schaltung ab. Man wird inn. Widerst eines Segments berechnen.

Es bedeute

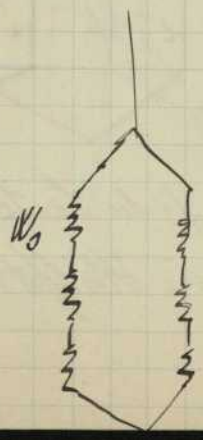
Z_0 Windungszahl eines Segments

σ Koefficient f Querschnitt in qmm

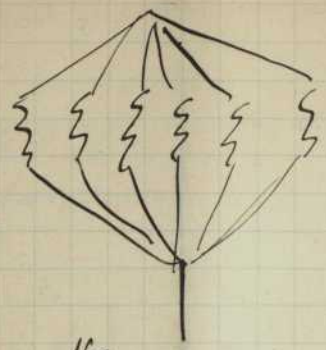
Länge $Z_0 \cdot \lambda$ dann.

$$W_0 = \frac{\sigma Z_0 \lambda}{f}$$

für 6 poli Mach. 6 Anker Segm. hintereinander 2 ∥

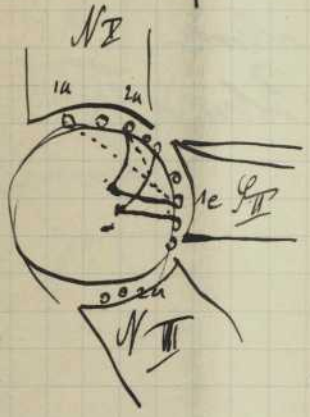


$$W = \frac{3 W_0}{2}$$



Hier $W = \frac{W_0}{6}$

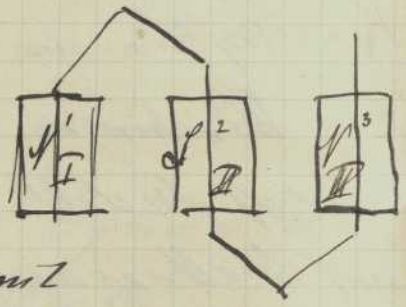
Bei 2 Polig Maschine $W = \frac{W_0}{2}$



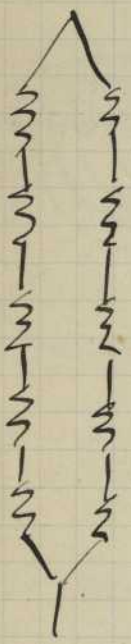
Schleifenwickelung.

Es ist nicht notwendig immer wieder den alten Pol zurückzukehren es könte ebenso gut 2a bei Pol III liegen wie bei I.

Dadurch kann man ein sehr einfachen Wicklungen.

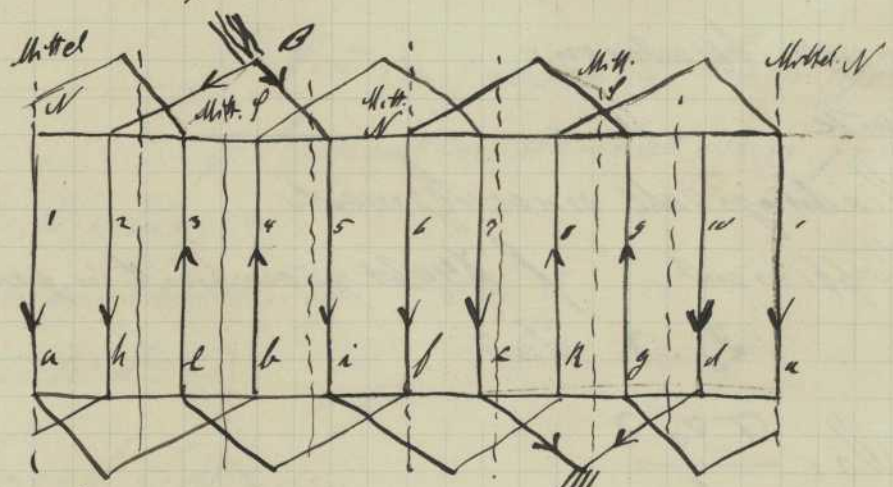


Was man bis jetzt Segment genannt hat sei ein einziger Draht. 2 Parallel geschaltete (Drähte) Hälften.



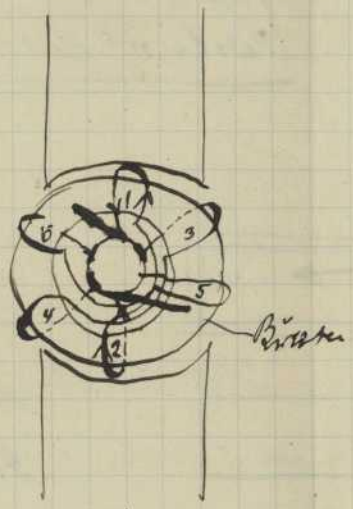
Beispiel einer Wellenwickelung Anzahl Zahl $z = 10$

$p = 4$.

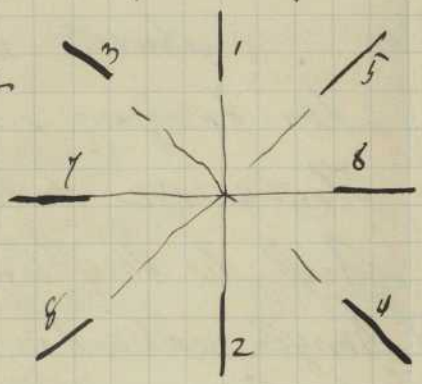


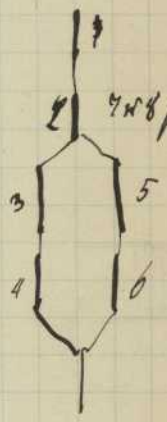
Die Stäbe jeder Seite hinter einander geschaltet u die beiden Hälften # geschaltet

Offene Wicklung Spulen haben keinen Stromschluß.
Maschine von Thomson-Houston (s. Ahrtles) diese
Maschinen mit hoher Spannung
Bürsten befinden sich dort wo
stärkste Induktion herrscht die
andern Spulen sind aus dem Strom-
kreis ausgeschaltet wegen ihrer
schlechten Induktion.

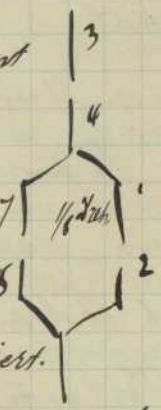


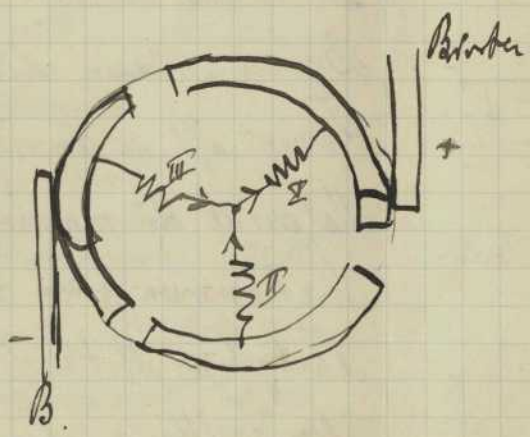
Bei 8 Spulen schaltet man
nur 2 Spulen aus u. zwar 7 u. 8
bei 1/8 Drehung läßt man 6 u. 6 aus

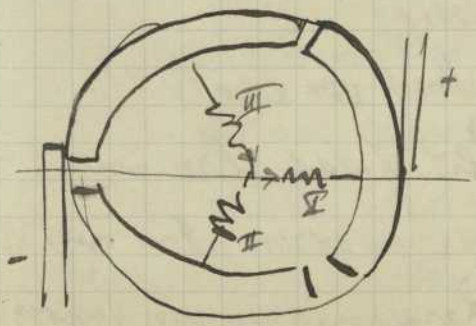




Prinzip Was schlecht, schließt
ist nutzlos aus dem Strom-
kreis hinaus. Was mittel
ind. ist wird # geschaltet
u. diese mit den best induzierten
hintereinander geschaltet werden

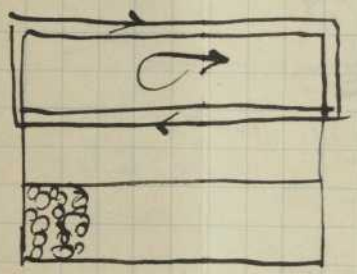




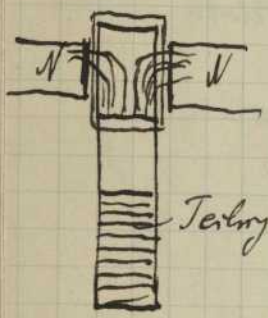


Kapitel.

Teilung des Ankereisens.



Bell. des Ankers aus einzelnen Teilen.
Früher aus Eisendrähten. Man verbindet
dieselbe mittelst Heer asphalt oder
mittelst eines eigenen Spulverfahren
Man verliess die aber bald denn dadurch
erschwerte man nicht blos den Wirbelströmen
den Durchgang sondern auch den Kraftlinien
Herzustellung Anker aus Eisenblechen Ähnlich
Richt. der Kraftlinien richtung muss Eisen Zusammen-
hängen während in der Richtung der Achse sollen
die Bleche isoliert sein. Papierdicke 0,8–0,9
Die Bleche werden durch Bolzen zusammengehalten die
Bolzen müssen durch Hartgummirohr isoliert sein.
Ferner ist es zweckmässig Bolzen aus nichtmagnet.
Material zu machen wie Messing



Wie können Eisen teilen bei Anker von Schwärt?
Nach obiger Methode wäre Teil. falsch. Man würde
den Kraftlinien den Durchgang erschweren. Man wendet
Eisenblech spiralförmig unter Zwischenlegen von Papier auf.

Hysteresisverlust:

$\eta = 0{,}0033$

$$A_h = \eta N V B_{max}^{1,6} 10^{-7} \text{ Watt.}$$

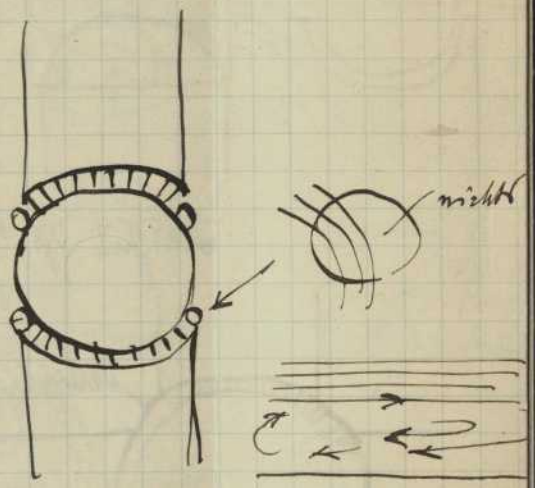
Verlust durch Wirbelströme (auch Foucaultströme) für Blechanker d Blechdicke in cm

$$A_w = 1{,}645 \cdot d^2 V N^2 B_{max}^2 10^{-11} \text{ Watt.}$$

d im Interesse daher möglichst dünn. d = 0,05 – 0,1 cm

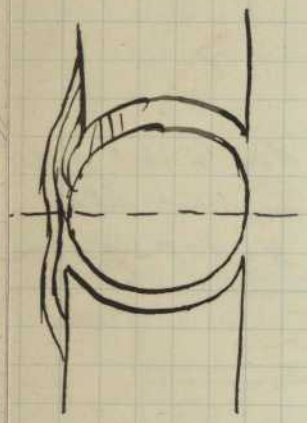
N Anzahl der Cyklen. A_w proportional dem Quad. der Cyklen. Wirbelströme können nicht blos im Inneren vor sondern auch in der Wickelung. Deshalb erzeugt einen weiteren Verlust.

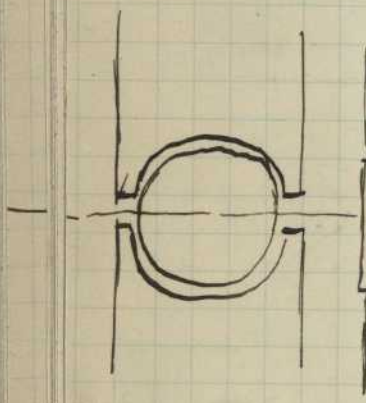
Schädliche Ströme in der Hufeisenwickelung

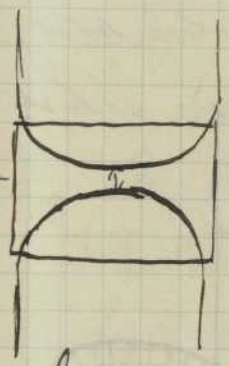


In einem gewissen Moment tritt in der einen Hälfte eines Drahtes eine grosse Änderung der Kraftlin. Zahl auf. Es entsteht eine elektr. Kraft. welche nur in der einen Hälfte wirkend in der anderen nicht. Die Ströme werden einfach umkehren in jeden nicht hinaus. Sie bleiben im Draht u. erwärmen denselben. Diese Erscheinung tritt besonders da auf wo grosse Querschnitte vorhanden sind. Dieses bedeutet einen Arbeitsverlust. Dies muss vermieden werden in dem man die grossen Querschnitte in einzelne Teile zerlegt u. diese einzeln isoliert.

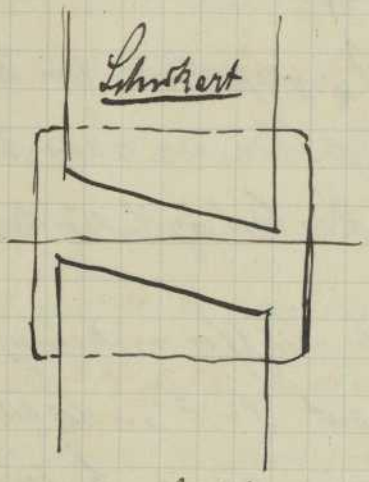
Eine weitere Methode um diese Linie zu vermeiden und Rücksicht auf Funkenbildung ist die dass man Feld nicht so stark an den Anker herangehen lässt. Das Feld soll sich bis in die Nähe der Nutzahn Zähne hinziehen. Hier berechtigt es man dadurch dass man Polschuhe mit Lappen versieht



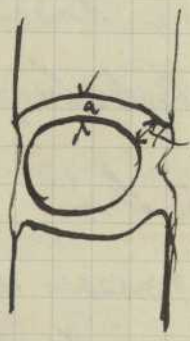




Schrägert

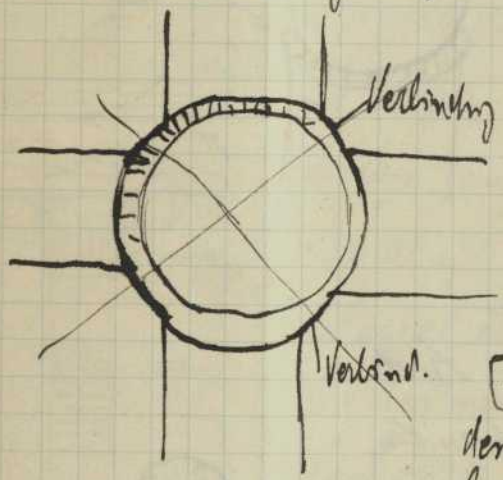


Mutter v. Platt



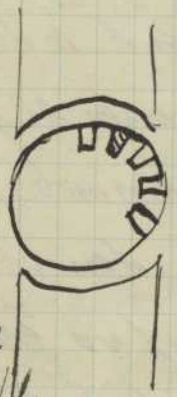
a < b.
Excentrisch angebracht

Letzter ist hinsichtlich von Dobrowolsky Polbrücke Verbind. der Pole mit Blech. Hierdurch wird ein Teil der Kraftlinien geschont



Lehmayer.

Legt Draht in Zahnlücken dadurch erreicht man eine genau cylindr. Form des Ankers. Man kann den Anker dann noch an Polschuhe bringen. Draht kann nicht rutschen

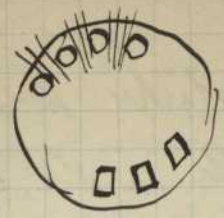


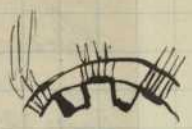
Eisenumwickelter Zahnanker

Umwickelt mit Eisendrahten

Man gestaltet auch Zähne statt rechteckig so

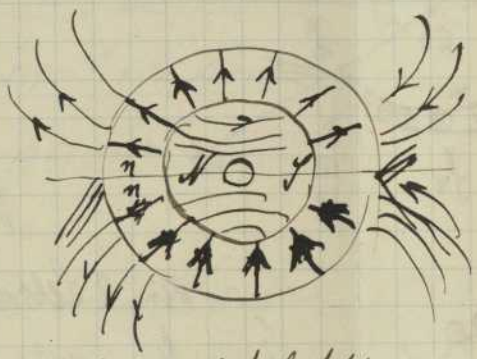
Macht man Löcher oben zu so erhält man Lochanker. Es entstehen keinerlei Wirbelströme an Kraftlinien



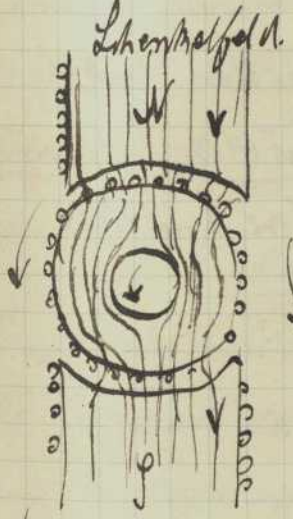


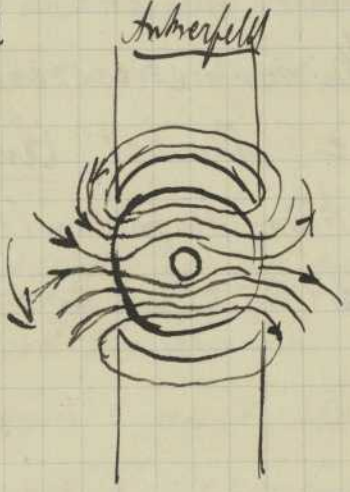
nicht mehr durch Draht gehen
Zahnanker nimmt Kraftlinienbündel
mit sich. Dies bedeutet wieder Wirbelströme in Eisen des Pols
Demselben man ab dadurch dass man Nuten sehr schmal macht.
u. Zähne stark. Kann man dies nicht so müssen Polschuhe auch segmentiert werden.

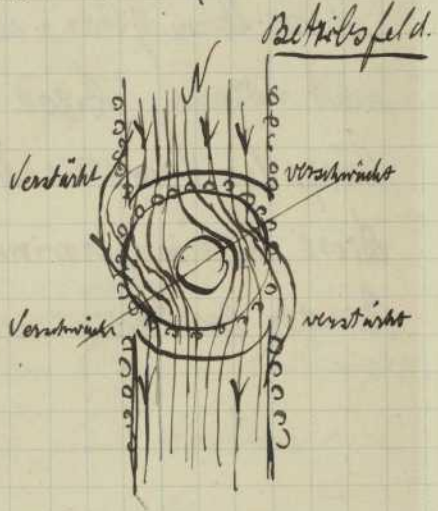
Wie steht es mit dem Anker der mit einem Strommessenden Spulen versehen ist? Dieser Strom magnetisiert den Anker
Man hat zerlei Kraftlinien.



Das gleiche ist beim Trommelanker zu konstatieren. Die Pole liegen dort wo die Bürsten angreifen. Liefert die Maschine Strom so combinieren sich die Felder



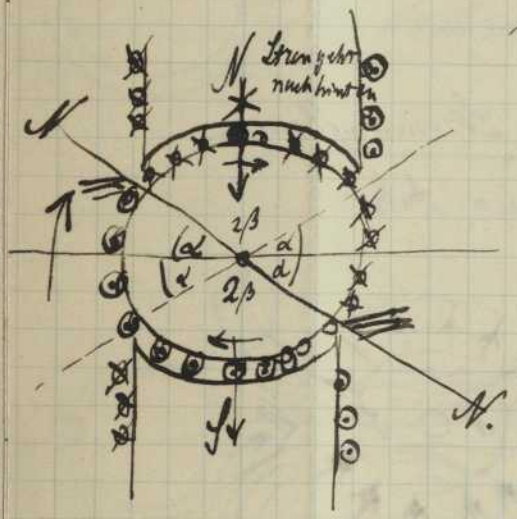




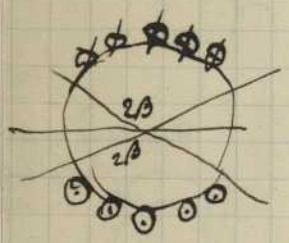
Die neutrale Zone hat sich gedreht Sie ist nicht mehr
die Symmetrielinie. N. Zone hat sich im Sin der Drehung
gedreht Man muss mit Rücksicht auf das Ankerfeld die
Bürsten verschieben werden. Je stärker das Feld erregt ist

d.h. desto stärker der Strom ist desto stärker müssen Bürsten in Richt. der Drh. verschoben werden. Die Bürsten müssen verstellbar gemacht werden. In Folge dieser einseitigen Verstärkung des Feldes werden Wirbelstromarbeit bedeutend grösser. Bei voll belasteten Maschine kann. Neutrale Zone in die Nähe der Polschuhe kommen.

× bedeutet Strom geht nach hinten
• Strom nach vornen

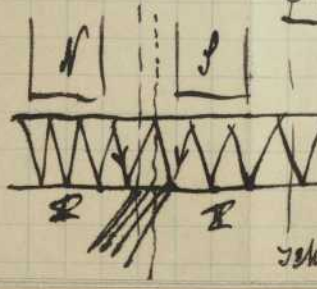


α bei ∠ der Neutral. Zone mit Symmetrie-ebene. Segmente 2α magnetisieren das Feld. Diese Amp. Wind. wirken entgegenz. den Amp. Wind. des N. in Leitgeb. Man hat sog. Gegenamperewindungen.



in den 2 Leitern 2α. Wo Strom die Leitern 2β. die oberen Ströme gehen nach hinten die unteren Ströme gehen nach vornen. Diese Str. magnetisieren den Anker. längs der Symmetrieebene. Man hat Queramperewind. Diese Querampere wind. können dadurch lose hintellen der Bürsten erschweren wenn sie zu stark sind.

Funkenloses hintellen der Bürsten

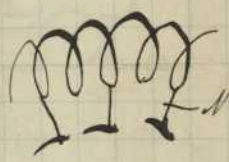


Kurzgeschlossene Spule I 100 Segmente 100 Zähne
Strom nach II ho
muss Stromrichtung gewechselt. 10 Umd. in der Sek. Kurzschluss wird
werden Strom von I nach
II
nur einige Zeit während ganzen Kurz
Jetzt kurz dauern ho muss in dieser kurz ge.
Jetzt kurz verschwunden sein

schlossenen Spule etwas geschehen so muss Strom nicht um Spule II bei Kurzschluss verschwinden sein. Ist dies nicht der Fall so giebt es Feuer. Würde I verschwinden u. II in voller Stärke entstehen dann keine Funken. Wie ist dies zu vermeiden. Wenn man annimmt dass K Coll. genau in der N. Zone geschehe dann ist es unmöglich dass II schon entstanden ist. da gar kein Strom in d. neutral. Zone vorhanden ist. Wird man die Bürste aber etwas ins wirksame Feld rücken so kann man erreichen dass der entg. Strom II schon entsteht gerade in d. richtigen Stärke.

<u>Um ist gemöglicht ein funkenloses herstellen der Bürsten zu ermöglichen Bürsten muss nur in die neutrale Zone zu drehen sondern auch etwas darüber hinaus.</u>

<u>Weiteres Hilfsmittel.</u> Wenn man jedes Spule mit Wechselzeit in Nebenschlussverbindung herstellt das einen grösseren Widerstand entgegensetzt als Kupfer dieses Kohlenbürste statt Kupfer



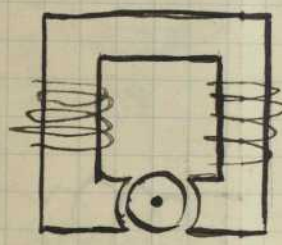
<u>Wie sind Magnetschenkel zu ordnen.</u>
Einzige Vorsch. wird. dir sein dass man Eisen in Luftspalte so kurz als möglich macht. Ferner sind Umfänge welche Induzirt. Ströme haben so klein als möglich zu machen. Anordnung so dass man möglichst kleine Streuung erhält. Material kein Gusseisen Stahlguss seltener Gusseisen. In neuer Verwendung.

Früher Schmiedeisen. Speziell Magnetkern Joch aus Gusseisen. müssen verstärkt werden. doch besser zu vermeiden. Polschuhe müssen so gestaltet werden daß Wickelung freisch gewickelt werden kann. u. daß die Wickelung auf die Polschuhe geschoben werden kann.

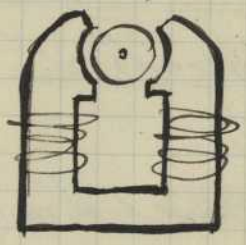
Tafel V. Zeigt 2 Polige Maschinen

Bei diesen Maschinen ist man der Gefahr ausgesetzt daß Anker einseitig hingezogen wird

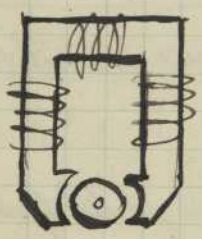
Fig. 1)



2)



3)

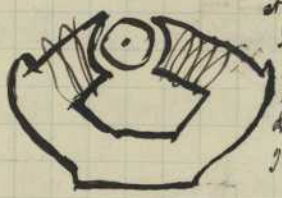


4)

Schlitz zu wickeln. Um die Vorteile einer möglichst der kreisförmigen Bahn sich nähernden Führung der Kraftlinien im Luftzwischenraum zu erreichen. Formen

5) Schlitz zu wickeln führt zu 6)

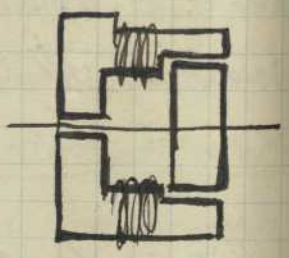
6) u. 2 Fein technisch herstellbar u. Kraftlinien werden nahezu kreisförmig geführt.



7)

Gussschneidung

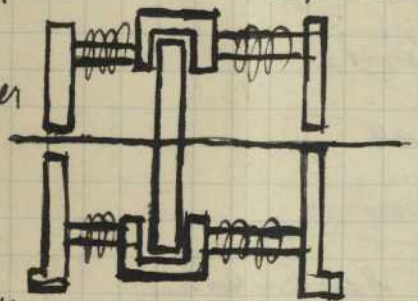
8)



Tafel II. 2 Polige Mash. mit Folgepolen. (2 gleichn. Pole stossen zu denen)

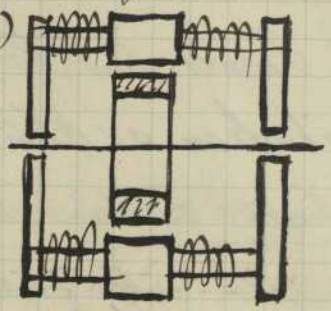
Fig 1.

Pölcher



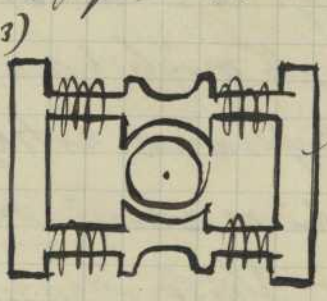
Kreisförmig gestaltete 2teilige gusseiserne eisenplatten stützen die Magnetkerne und verbinden zu der Mitte d. Mash. münden die Kerne gemeinschaftliche gusseiserne Polschuhe welche so gestaltet sind dass sie den Ringanker von 3 Seiten umfassen.

2)



Graume.

3)



Westn.

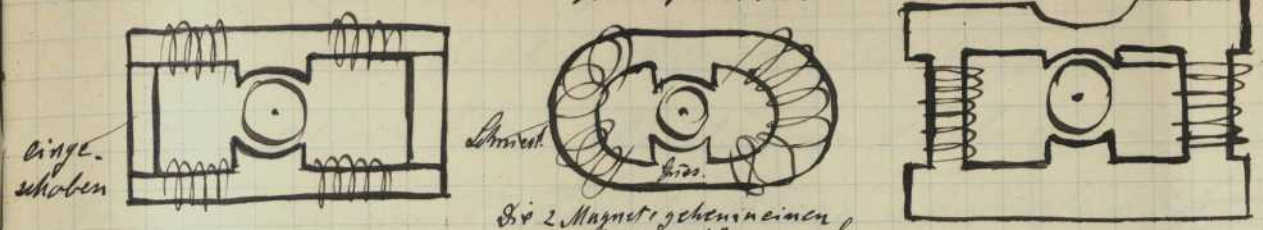
Gussstück

Magnetschenkel haben einen flachen ellipt. Querschnitt.

4) Crompton

5) Kapp.
Vorläufer der Manchester Mach.

6) Manchester Maschine
von Mather u.



Die 2 Magnete gehören einem einzigen Hufeisen förmigen über. Feder zu wickeln. Wickelung wird aufgehoben

Tafel III. Mehrpolige Maschinen. Mach. mit Eisen zurückschluss

Fig. 1.)

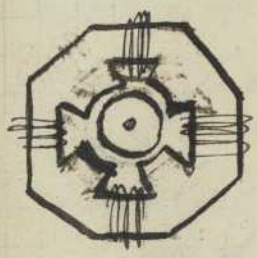


Fig 2)

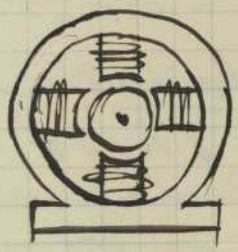
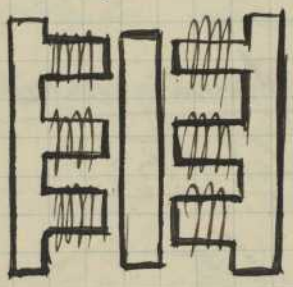
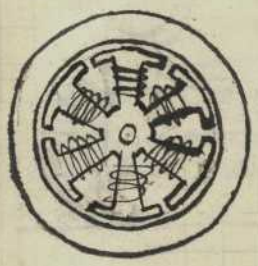


Fig 3.

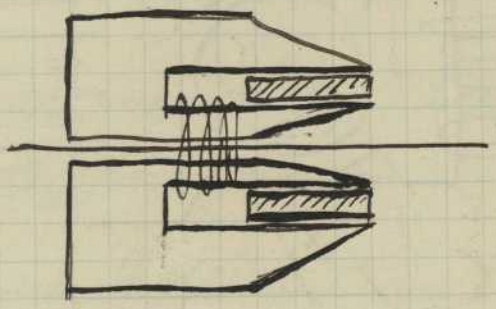


Streuung gering
Magnetisierungsgut ausgenützt

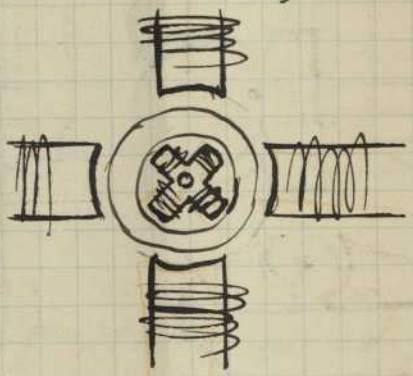
4)



5)

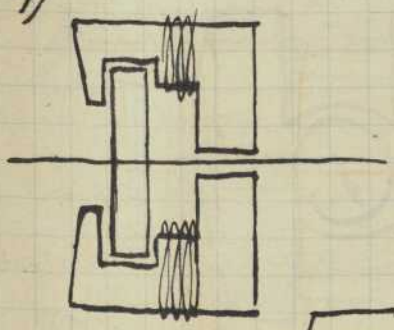


6)

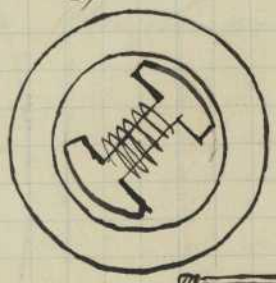


Tafel IV. 2 Polige Maschine.

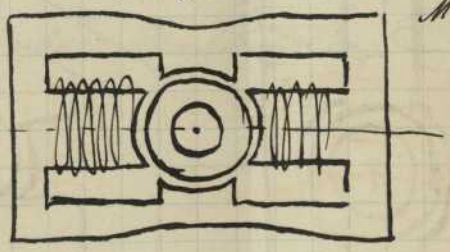
1)



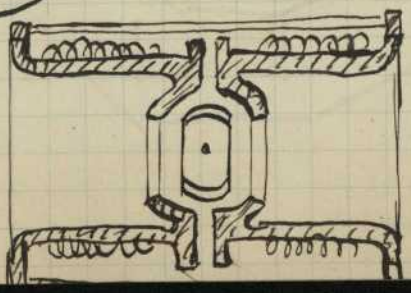
2)



3) Typus entspricht der Manch. Maschine

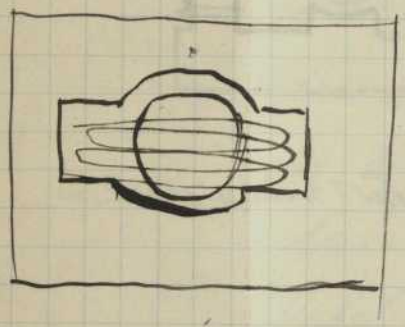


4)



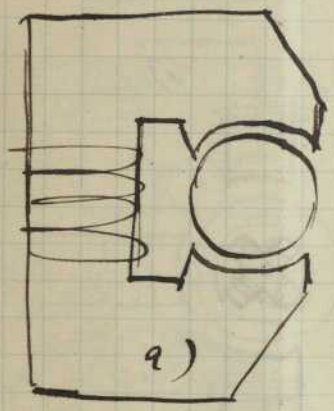
hier wirken stets noch starke einseitige Axenlagerdrücke infolge ungleicher Zugkraft wirkung

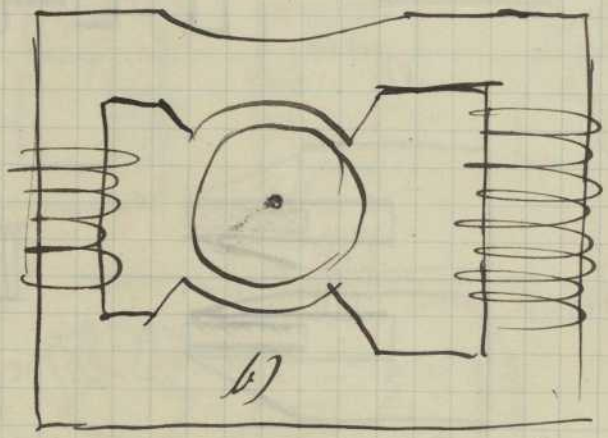
Machine von Riche meyer. besitzt keine Magnetpole.

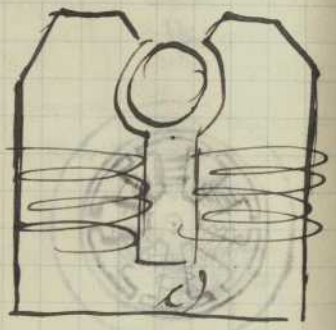


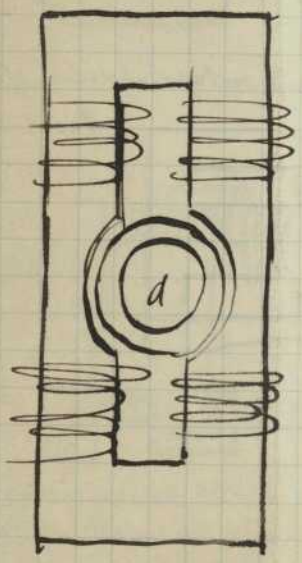
Vergleichung einzelner Maschine

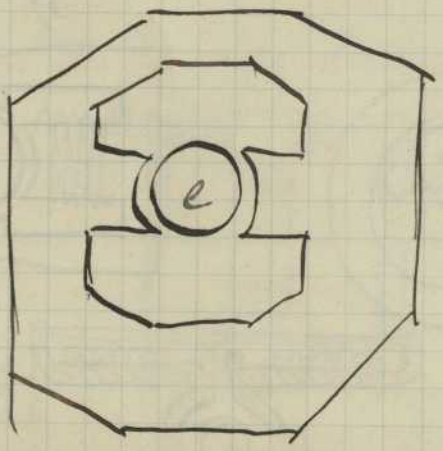
Tafel 1 Fig 7. Fig. 6 Tafel II Fig. 2 Tafel 1.

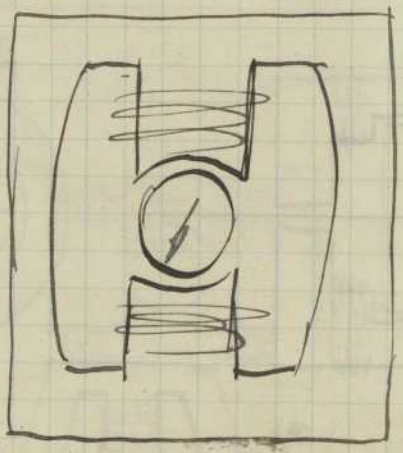












a) Nachteil Feld wird leicht ausgemacht dadurch einseitiger Lagerdruck schlechte Kühlung.

Braucht viel Eisen Maschine wird sehr warm Wärme muss hinaus Hat aber kleine ausstrahlende Oberfläche.

Bei b ist einseitiger Achsendruck vermieden, Eisen ist viel leichter Kupfergewicht ist etwas grösser. Man hat gute ausstrahlende Oberfläche. Maschine wird nicht so warm Maschine wird im ganzen leichter.

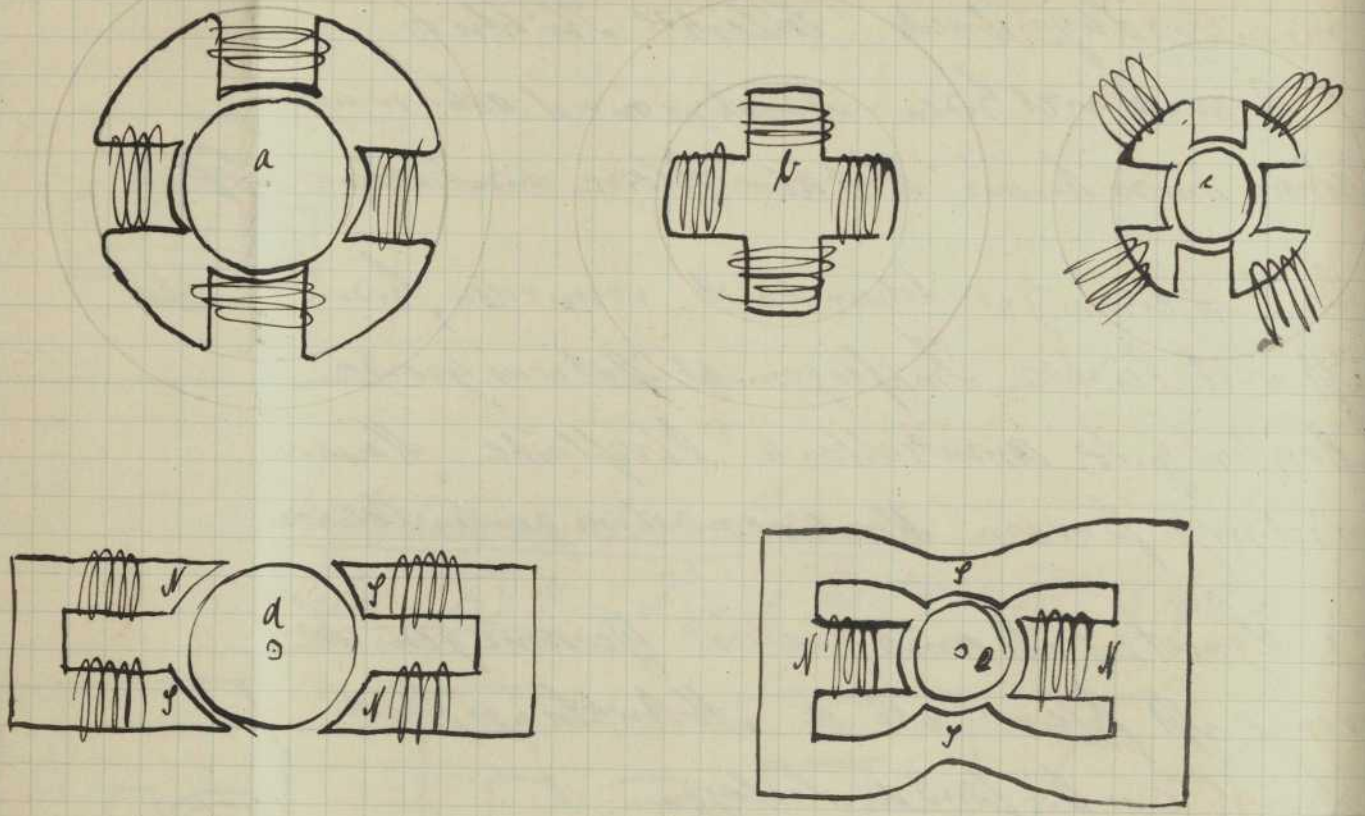
c) Symetrie ist auch gestört Gesamtgewicht von c ist kleiner als a. Abkühlungsfläche grösser c und b. sind a überlegen

d) Keinen einseitigen magnet. Zug. Eisengewicht ist kleiner als bei c Kupfergewicht grösser

e) Viel Eisen. Kleiner Kupferaufwand Geringe Erwärmung

f) wird nicht so schwer als e braucht aber mehr Kupfer

Ganz eingekapselte Maschinen haben höhere Temperaturen



a u. b Anker in Trommelmaschine.
Magnetgestell von a schwerer als b dagegen Kund.
des Ankers bei b schwieriger man konstruiert nur nach a.
c) Ist ein schwer Magneter schwer über einer von Kurz.
Wechselnde Erhitzung als bei a.
d) 2 getrennte Ankerspulen. Man kann leicht u. billig
bauen. besonders wenn Kerne gründlich sind
Man spart dadurch an Kupfer. Schwierig ist Verbind-
der Pole die müssen durch Bronzeträger geschehen
Erhitzung kleiner. d wird leichter als a besonders
wenn a aus Gußeisen hergestellt ist bei a hat man

keine Bremsverbind. so größere Kühlung a wird überlegen sein wenn a aus Stahlguss herg.
c) Läßt billiger u. leichter herstellen als alle andere besonders wenn aus Stahlguss hergestellt. Benzt eine kleine Steerung wird daher vielfach auf Schiffen verwendet. (Kompass). Auch bei Straßenbahnwägen angewandt da Magnetnähe vor Schmutz geschützt sind.

Temperatur der Magnete.

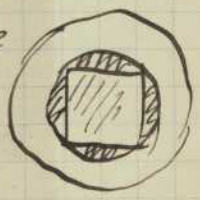
Drähte seien mit Baumwolle umsponnen u. gefirnißt. Temp. hängt ab von der Anzahl Watt die in der Spule in Form von Wärme frei wird Oberfläche sei O d.h. äußere Spulenfläche. Pv Verlust

$$\frac{O}{P_v} = \sigma \quad \text{qcm pro verlorenes Watt}$$

Dann ist Temperaturzunahme für die Magnetspulen

$$t = \frac{320}{\sigma}\,^{\circ}$$

Hat man gnädiges Eisen und der Kern u. äußere Spulen so bleiben Ventilationskanäle übrig Temp. wird dann kleiner. dann ist



$$t = \frac{280}{\sigma}$$

$t < 40^{\circ}$ $\quad 40 > \frac{320}{\sigma}$ $\quad \sigma > 8$

Der Ölverlust wird für die ausstrahlende Oberfläche
an 16 qcm pro verlorene Watt.

Für Anker (von Eisen)

σ qcm Ausstrahlungsfläche pro verlorene Watt

$$t = \frac{1}{\sigma} \frac{650}{1 + 0{,}1 v}$$

v Umf. Geschw. in m pro Sek

bei $v = 15 \frac{m}{sec}$ $\sigma = 7-10$ qcm p. verl. Watt.

$t = 32^0$ resp. 22^0.

also mässige Erhöhung.

Englische Admiralität streng verlangt bei 9 stündigem Betrieb in 1 Min. nach Anhalt. der Maschine höchstens 17°

<u>Magnetische Belastungen.</u>

Ist verschieden je nach dem man Ring oder Pol Magnet

Für eine 2polig Dynamo wird im Anker $B = 10000 \div 15000$

" vielpol. Ringmagnet

" 2 " " $12000 \div 16000$

Magnet für hinteren ungeteilt. Bogelanker

$17000 \div 20000$.

Für den Luftstrom rechnet man $2500 \div 5500$ kg/qm

Maschinen mit Magneten und Lamellenanker $B = 12000 - 17000$

Magnet für hinteren geteilt. Bogl. $B = 17000 - 20000$

Induzir. 6000 ÷ 8000
mit gesch. B. 6000 ÷ 10000

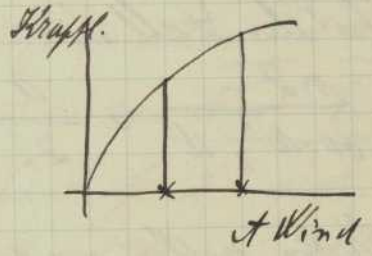
Theorie der Dynamomaschinen

Gleichungen für die Serienmaschine.

1) Elektrom. Kraft jeder der 3 Maschinen

$$E = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8}$$

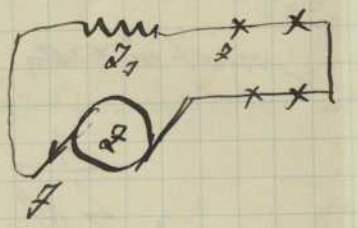
2) definiert näher den Begriff Kraftlinienzahl



für die betreffende Maschine
Proportional gleich

$$K = \frac{AW}{a + b\,AW}$$

3) Defin. d. Amp. Wind.
Speziell für Serienmaschine
Windungszahl der Magnete Z_s



$$AW = J Z_s$$

4) $$J = \frac{E}{W + W_s + W_e}$$

Ankerwiderst W
Widerst. der Magnetwicklg W_s
Äussere Wid. W_e

Aus den 4 Gleich. sind die nähert. Grössen bestimmen wenn bekannt sind n Z Z_0 W W_0 W_c und. Unbekannt wird ein Strom J

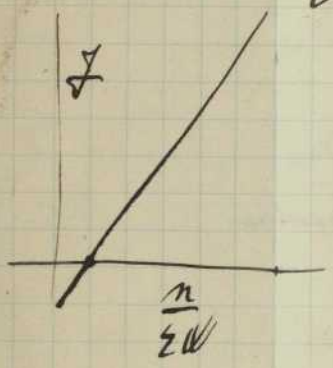
Von Wichtigkeit wird sein J welchen Strom geht nun die Maschine? Nach Klem.

$$J = \frac{1}{b}\left(\frac{nZ}{60 \cdot 10^8 \Sigma W} - \frac{a}{Z_0}\right)$$

Stromgleichung der Serienmaschine

Graph. Darst. dieser Gleich.

Abscissen $\frac{n}{\Sigma W}$ man erhält eine Gerade



J kann 0 werden für den Fall dass Klammer 0 wird d. h. dass $\frac{nZ}{60 \cdot 10^8 \Sigma W} = \frac{a}{Z_0}$

Oder mit anderen Worten wollen wir einen Strom grösser als 0 d. h. damit Maschine Strom nach aussen liefert muss sein

$$\frac{n}{\Sigma W} > \frac{a\, 60 \cdot 10^8}{Z Z_0}$$

Die Tourenzahl muss über ein gewisses Mass hinausgehen oder der äussere Widerst muss unter einem gewissen Wert liegen sonst geht die Dynamo

Von Wichtigkeit wird sein Elementarp. $\mathfrak{D}$.

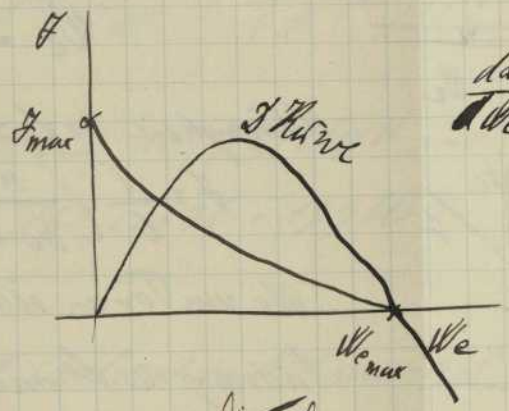
$$\mathfrak{D} = J W_e$$

$$\mathfrak{D} = \frac{1}{b}\left(\frac{n Z W_e}{60 \cdot 10^8 (W + W_0 + W_e)} - \frac{a W_e}{Z_0}\right)$$

Es wird notwendig sein den Verlauf der Betriebskurven zu haben. Gleichzeit. Hyperbel

$$W_e = \sqrt{\frac{n Z Z_1 (W + W_0)}{60 \cdot 10^8 a}} - W - W_0$$

praktisch ohne Bedeutung

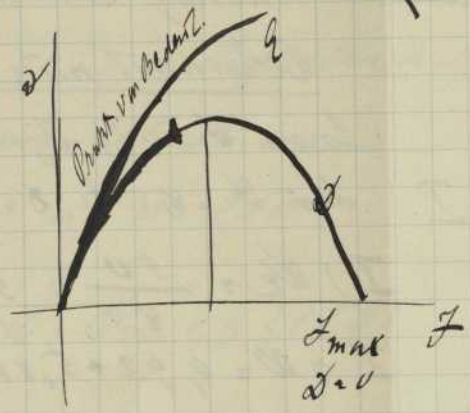


$\frac{d\mathfrak{D}}{dW_e} = 0$ hieraus Max bestimmt

Beziehung zwischen Jn $\mathfrak{D}$.

Bezieh. zwischen Jn. η.

Für gewisses J ist $\mathfrak{D}$ = max.



$$\eta = \frac{A W n Z}{(a + b J W) 60 \cdot 10^8} \quad A W = J Z_0$$

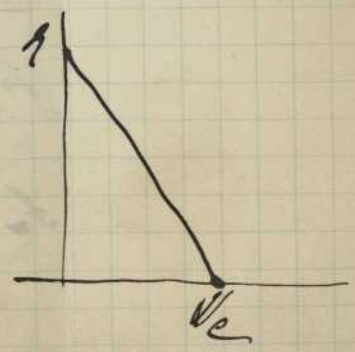
$$\eta = \frac{J Z_0 \; n Z}{(a + b Z_0 Z) 60 \cdot 10^8}$$ stellt Gleich einer Hyperb. dar.

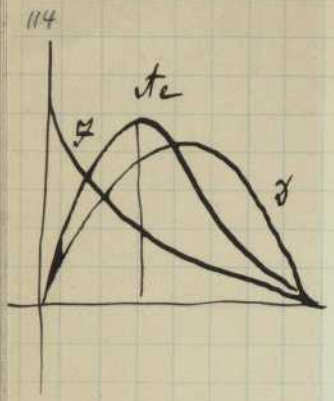
Je größer J desto größer η.

η als Funktion von W_e

$$\eta = J \varepsilon W = \frac{1}{b}\left(\frac{n Z}{60 \cdot 10^8 \varepsilon W} - \frac{a}{Z_0}\right) \varepsilon W$$

$$\eta = \frac{1}{b}\left(\frac{n Z}{60 \cdot 10^8} - \frac{a \varepsilon W}{Z_0}\right)$$ lineare Gl. nach W_e





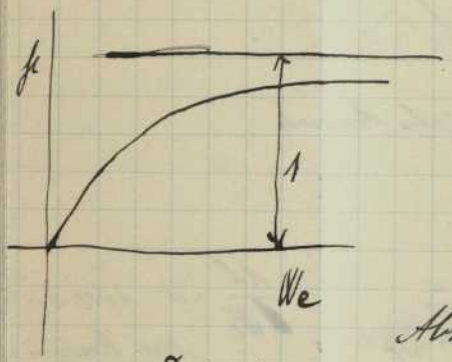
Kurve der äusseren Arbeit der Leitungsmasch

$T_e = J\delta \qquad W_e < W + W_0$

Wirkungsgrad der Maschine $\mu = \frac{J\delta}{J\delta + J^2W + J^2W_0} = \frac{\delta}{\underbrace{\delta + JW + JW_0}_{\eta}}$ oder

$$\mu = \frac{\overset{\text{äussere Arbeit}}{J^2W_e}}{J^2W_e + J^2W + J^2W_0} = \frac{W_e}{W_e + W + W_0}$$

Kurve nähert sich asymptotisch dem Wirkungsgrad 1.



$$W_e\mu + (W + W_0)\mu = W_e$$

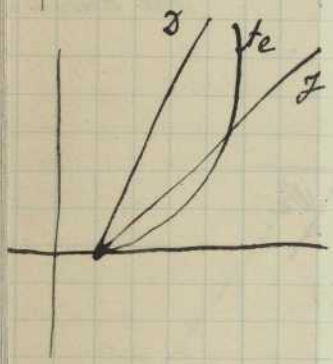
$$W_e = \frac{(W + W_0)\mu}{1 - \mu}$$

Abhängigkeit der Leistung von der Tourenzahl

$$J = \frac{1}{b}\left(\frac{nE}{60\cdot 10^8\,\Sigma W} - \frac{a}{E_0}\right)$$ nach n linear

W_e von Touren abhängig $\delta = JW_e$; $T_e = J\delta$.

Änderung des Stromes proz. der Änderung d. Tourenzahl.



Oberhaupt nur a u. b. Beispiel.

Es sei $E = 864$ $E_0 = 1926$ $W = 0{,}92$ $W_0 = 2{,}68$ Ohm bei $n = 460$

I dann $J = 8{,}5$ A $\delta = 50$ Volt II bei $n = 1000$ $J = 12$ A. $\delta = 157{,}6$ Volt

I) $W_e = \frac{50}{8{,}5} = 5{,}88$ II W_e $\frac{157{,}6}{12} = 13{,}3$

I $\Sigma W = 0{,}92 + 5{,}88 + 2{,}68 = 9{,}48$; II $\Sigma W = 0{,}92 + 2{,}68 + 13{,}3 = 16{,}9$ Ohm

I) $J = 8{,}5 = \frac{1}{b}\left(\frac{460\cdot 864}{60\cdot 10^8\cdot 9{,}48} - \frac{a}{1926}\right)$

II $J = 12 = \frac{1}{b}\left(\frac{1000\cdot 864}{60\cdot 10^8\cdot 16{,}9} - \frac{a}{1926}\right)$

hieraus a u. b bestimmbar

$a = 0{,}001492 \qquad b = 0{,}000000646$

In vielen Fällen wissen wir nicht von J u. J_0 dann bleibt unsere Stromgleichung

$$J = \frac{n}{60\cdot 10^8\,\Sigma W}\cdot\frac{E}{b} - \frac{a}{E_0 b}$$

daraus findet man am Schluss nicht a und b allein sondern $\frac{J}{b}$ u. $\frac{a}{bJ_0}$ u.
rechnet mit diesen weiter. Für diese Masch. findet man
wenn $n = 1000$ $J = 10$ Amp

$$J = 10 = \frac{1}{0{,}00000046} \frac{1000 \cdot 864}{60 \cdot 10^8 \, \Sigma W} - \frac{900492}{1926}$$

$$\Sigma W = 19{,}90 \text{ Ohm}$$

Nun ist $W = 0{,}92$ $W_0 = 2{,}68$ somit $W_e = 19{,}90 - 0{,}92 - 2{,}68 = 16{,}30$.
Nun ist. $E = J W_e = 10 \cdot 16{,}30 = 163{,}0$ Volt.
Wie gross ist das elekt. Güteverhältnis $\mu = \frac{W_e}{\Sigma W} = \frac{16{,}30}{19{,}90} = \underline{81{,}9\%}$
Wie gross ist die elekt. Kraft.?

$10 \cdot 0{,}92 = 9{,}2$ geht verloren im Anker $10 \cdot 2{,}68 = 26{,}8$ V. ind. Magneten
Zusammen 36 Volt somit $E = 163{,}0 + 36 = 199$ Volt.
Wieviel Watt gehen verloren?

$J^2 W = 100 \cdot 0{,}92 = 92$ Watt Verlust in Ankerwickel.
$J^2 W = 100 \cdot 2{,}68 = 268$ " " " Magnetwickel.

Wie viel Touren müsste man Maschine
laufen lassen wenn bei 8,5 Amp n u. $E = 200$

$$W_e = \frac{200}{8{,}5} = 23{,}53 \qquad W + W_0 = 0{,}92 + 2{,}68$$

$$\Sigma W = 27{,}13 \text{ Ohm.}$$

$$8{,}5 = \frac{1}{6}\left(\frac{n \cdot 864}{60 \cdot 10^8 \cdot 27{,}13} - \frac{a}{1926}\right) \text{ hieraus}$$

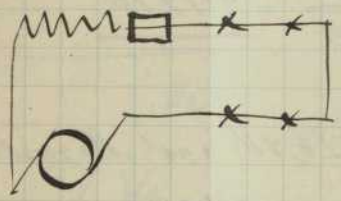
$$\underline{n = 1180.}$$

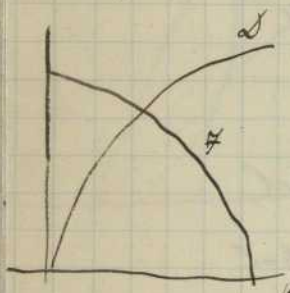
Wenn mehrere Bogenlampen von einer Serien-
maschine gespeist werden, so will man oft eine
regulieren. Es muss aber der Strom immer constant

sein deshalb Mess-Mach. regulierbar sein.

Regulierung der Serienmaschine.

Die Stromverbraucher werden mit hintereinander geschaltet. Man muss dafür sorgen dass der Strom immer konstant ist d.h. die Serienmasch. muss auf konst. Strom reguliert werden können. Man kann dies machen indem man in den anderen Widerst einen Regulierwiderstand einschaltet so dass bei abnehmendem Strom der Widerst mit in R zu nimmt. wie ausgerechnet





Man habe eine Bogenlampe von 10 A. diese braucht 45 V. somit Widerst.

$$\frac{45}{10} = 4{,}5\,\Omega$$

so seien 12 B.L. somit Widst.

BL = Bogenlampe?

$$12 \cdot 4{,}5\,\Omega = 54\ \text{Ohm}$$

9 B. $9 \cdot 4{,}5 = 40{,}5$ Ohm

$$13{,}5\ \text{Ohm}$$

Soll Strom konstant bleiben so muss man 13,5 V. im Widerst R erzeugt werden. Durch solch eine Regulierung wird keine Arbeit erspart Rationell ist diese Methode nicht. Da Kohlen aber bedeutend teuer der Betriebskraft ausmachen so wird doch etwas gespart.

2te Reg. Änderung der Tourenzahl. Nach

$$J = \frac{1}{b}\left(\frac{nZ}{60 \cdot 10^8 \, \Phi W} - \frac{a}{Z_0}\right)$$

Ändert man die Tourenzahl proportional dem äusseren Widerstand so erhält man konstanten Strom

$$\frac{n}{\Phi W} = \text{const.}$$

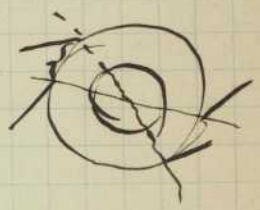
$W + W_0 = 5$ Ohm

12 BL. $\Phi W = 54 + 5 = 59$ V.

8 " " " $= 40{,}5 + 5 = 45{,}5$ V

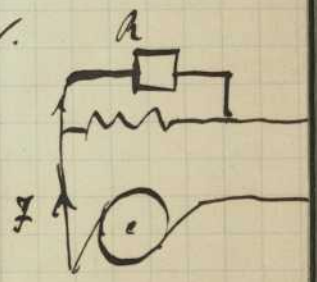
Dampfmaschine ohne Regulator passt sich dem Widerst. an

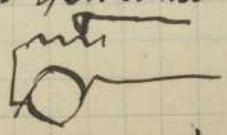
Gehen unwahrscheinliche Änderungen vor sich so muss man äusseren Widerst dementsprechend im Reg. W. einrichten.



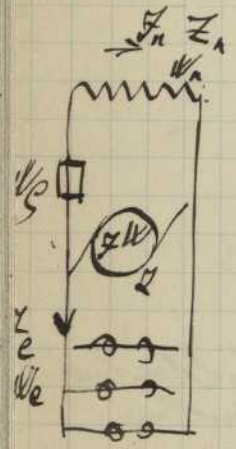
3) Rückt man Bürsten aus der neutralen Zone heraus so nimmt die electr. Kraft ab bis gleicher Faz geht es aber Feuer. Solche Maschinen lassen sich bauen dass man Bürsten aus der neutralen Zone verschieben kann ohne Funken

4) Man baut noch alles Strom durch die Magnetwickel. gehen sondern baut noch etwas schwächeren der Magnetwickl. # Widerst. fliessen Dasselbe. baut auch erreichen durch Fortschalten der magnetisirenden Windungen





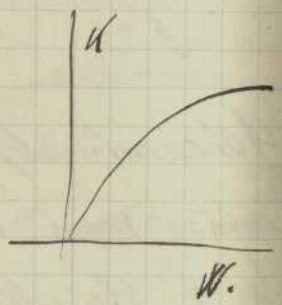
Nebenschlussmaschinen.



Strom J teilt sich in 2 Teile. Ein Teil geht durch die Magnetwickel. wie der andere # durch den äusseren Widerstand. Stromverbraucher werden # geschaltet.
Ankerwiderst W. Regulier W. W_ϱ Anker W. W_e
Z_n Windung. auf den Magneten W_n Wid. im Magnet.
Z Ankerwickelung

1) $E = \dfrac{n Z K}{60 \cdot 10^8}$

2) $K = f(AW) = \dfrac{AW}{a + b\,AW}$



3) $AW = J_n \cdot Z_n$

Kirchhoffsches Gesetz.

$$\text{A} \begin{cases} \text{a)} & J = J_n + J_e \\ \text{b)} & E = JW + J_e W_e \\ \text{c)} & 0 = J_n (W_\varrho + W_n) - J_e W_e \end{cases}$$

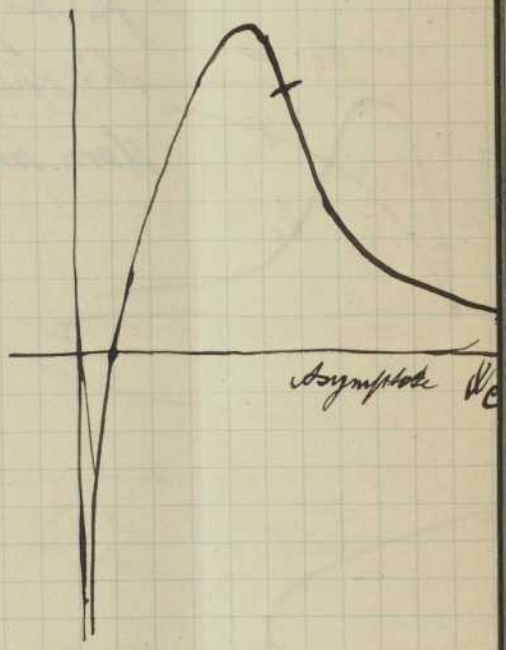
Man hat folgend. Unbekannte $E\ K\ AW\ J_n\ J\ J_e$
Man hat aber auch 6 Gleich. Man ist daher im Stande jede dieser ~~Gleichungen~~ Grössen zu bestimmen.
Durch Elimination erhält man Stromgleichung.

[115]

$$J_e = \frac{1}{b}\left(\frac{nZ}{60\cdot 10^8\left(W_e + W + \frac{W_e W}{W_n + W_g}\right)} - \frac{a}{Z_n \frac{W_e}{W_n + W_g}}\right)$$

W_g bleibe konstant. J_e stellt eine Kurve 3ten Grades dar. $W_e = \infty$ geht $J_e = 0$. Ferner wird $J_e = 0$ wenn erstes Glied der Klammer wird = dem 2ten.

$$J_e = 0 \text{ wenn } \frac{nZ}{60\cdot 10^8\left(W_e + W + \frac{W_e W}{W_n + W_g}\right)} = \frac{a}{Z_n \frac{W_e}{W_n + W_g}}$$



Praktisch wird nur der abfallende Teil die Kurve verwertet. Soll nun beim Anlauf der Maschine herausspringen soll sein

$$\frac{nZ}{60\cdot 10^8\left(W_e + W + \frac{W_e W}{W_n + W_g}\right)} > \frac{a}{Z \frac{W_e}{W_n + W_g}}$$

d.h.

$$W_e > \frac{1}{\frac{nZZ_n}{60\cdot 10^8 a (W_n + W_g) W} - \frac{W + W_n + W_g}{W(W_n + W_g)}}$$

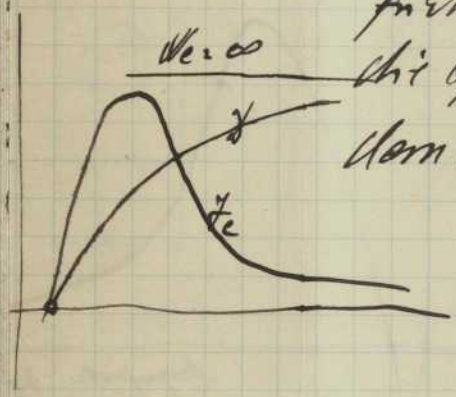
d.h. <u>kürzerer Widerstand muss größer sein als ein gewisses Min</u> Praktisch davon Verwendung zu machen ist nur gerade angezeigt wegen Kurzschluss.

Für die Klemmenspann. hat man:

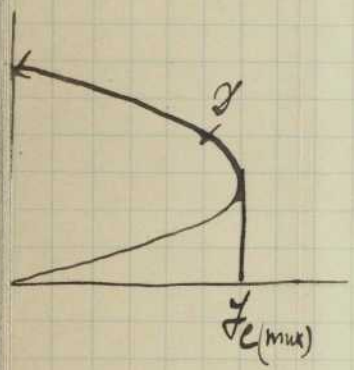
$$\mathcal{E} = J_e W_e$$

$$\mathcal{E} = \frac{1}{b}\left(\frac{n Z W_e}{60(\ldots)10^5} - \frac{a(W_n + W_e)}{Z_n}\right)$$

Gleich 2ten Grades. E. Kurve geht durch den Punkt wo J_e Null wäre schneidet. Es bleibt die Spannung der Nebenschlussmasch. proportional dem anderen Widerstand.



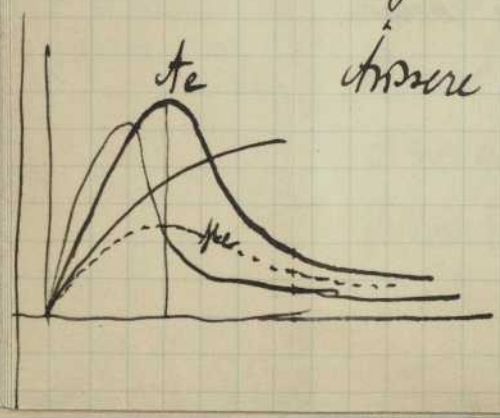
$$\mathcal{E}_{max} = \frac{1}{b}\left(\frac{n Z}{60 \cdot 10^8 \left(1 + \frac{W}{W_n + W_e}\right)} - \frac{a(W_n + W_e)}{Z_n}\right)$$



Strom im Nebenschluss

$$J_n = \frac{\mathcal{E}}{W_e + W_n}$$

J_n Kurve wird proport. der E Kurve verlaufen. Je größer der äußere Widerst. desto mehr Strom geht in den Nebenschluss

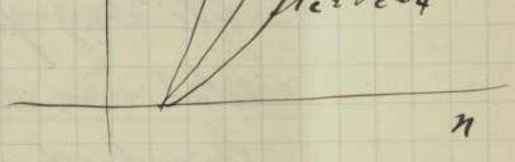


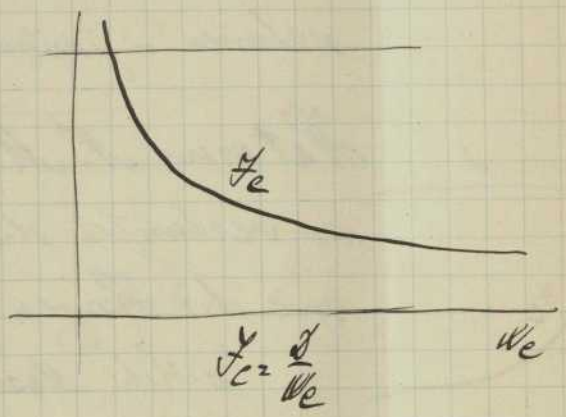
äußere Arbeit $A_e = J_e \mathcal{E}$

Elektrischer Wirkungsgrad

$$\eta_e = \frac{J_e \mathcal{E}}{J_e \mathcal{E} + J^2 W + J_n \mathcal{E}}$$

Wie ändert sich der Strom bei konst. W_e mit veränderl. Tourenzahl n. Rückwirkung kann uns die Nebenschlussmasch. wie es die Theorie zeigt nicht befriedigen. Mit dem kleineren J_c ist die Spann. gross mit dem grösseren J_c ist Spann etwas kleiner. Diese Spannungen dürfen durch für Glühlampen. Hier wird man die Maschine auf konstante Spannung halten müssen. Dies lässt sich durch Nebenschlussregulator regulieren. Man kann die Klemmenspannung durch den Regulierwiderstand gehalten wie man will.





Wie kann man diesen Widerstand W_e bestimmen für einen gewissen Strom J_e

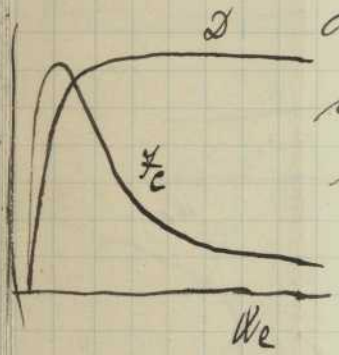
$$J_e = \frac{1}{b}\left(\frac{nZ}{60\cdot 10^8\left(W_e + W + \frac{W_e + W}{W_n + W_s}\right)} - \frac{a}{Z_n \frac{W_e}{W_n + W_s}}\right)$$

$$D = J_e W_e \qquad W_e = \frac{D}{J_e}$$

$$J_e = \frac{1}{b}\left(\frac{nZ}{60\cdot 10^8\left(\frac{D}{J_e} + W + \frac{D\cdot W}{J_e(W_n + W_s)}\right)} - \frac{a}{Z_n \frac{D/J_e}{W_n + W_s}}\right)$$

$$\boxed{J_e^2 \frac{1}{b}\left(\frac{n Z_1 J_e}{\left(\delta + Z_e W + \frac{\delta W}{W_n + W_\varsigma}\right) 60 \cdot 10^6} - \frac{a J_e}{Z_a \frac{\delta}{W_n + W_\varsigma}}\right)}$$

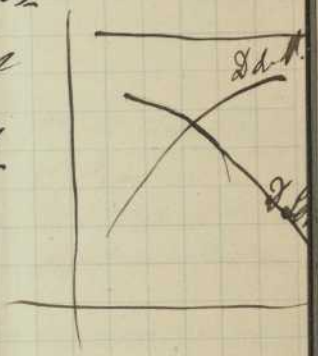
Gleichung gilt wo W_ς für ein bestimmtes δ
Setzt man $J_e = 0$ d.h. denkt man sich den einzelnen Stromkreis geöffnet so gilt wo die Gl. $W_{\varsigma max}$ /
Wie findet man a u. b.? Genau wie bei der Serienmaschine. Man wird 2 Belastungszustände nehmen u. genau so verfahren wie bei d. S. M.



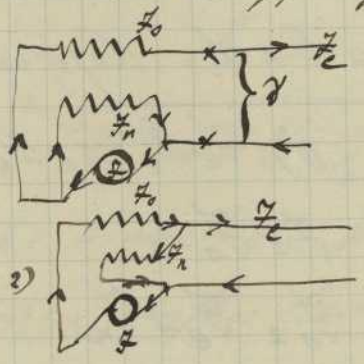
Hat man N. M. mit sehr kleinem Ankerwiderstand so verlaufen die Betriebskurven bei variablem W_e genau so wie die Kurven bei konstanter Spannung. Eine solche Masch. wird weniger Regulier gerätschaft machen. Praktisch sind solche Maschinen sehr wertvoll. Besonders beim Motor wenn Motor mit konst. Klemmenspannung arbeitet dann bleibt Zugkraft konstant ob Motorarbeit leistet oder nicht.
Die unangenehmen Erscheinungen der N. M. dass sie wenn nicht regul. wird Spann. ändert bei variablen Stromstärken zu folg. Maschinen

Maschinen mit doppelter Wickelung.

Masch. welche sowohl Serien als auch Nebenschlußwickelung besitzt Hemlmerstöhre mit annähernd eine # Gerade. so daß man konst. Klemmspann erhält



hierfür 2erlei Arten von diesen doppelt gewickelten Maschine.



Nebenschlußwicklung bestehen aus vielen Windungen dünnen Drahtes Serienwicklung b. aus wenigen Windungen dicken Drahtes

Nebenschlußstrom J_n Serienstrom J_0.

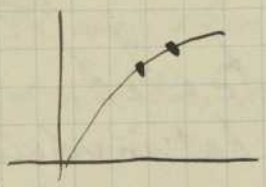
1) Nebenschluß # Gleichstromanker.

a) $E = \frac{n z K}{60 \cdot 10^8}$

K Kraftlinien aus einem Pol

Z Anz. der Wick. auf Anker

b) $K = f(J W)$



$K = \frac{J W}{a + b W J}$ gilt für nur ein kleines Stück der Magnetcurve

c) $J W = J_n Z_n \pm J_0 Z_0$.

d) $E = J W + J_0 W_0 + J_e W_e$

e) $0 = J_0 W_0 + J_e W_e - J_n W_n$

f) $J_2 = J_n + J_0$

g) $J_e = J_0$

Es handelt sich um 7 Unbekannte.

<u>Wickelungsart 2.</u>

Nebenschluss ~~#~~ zum anderen Stromkreis

Es gelten a b c d dagegen wird

e) $0 = J_e W_e - J_n W_n$

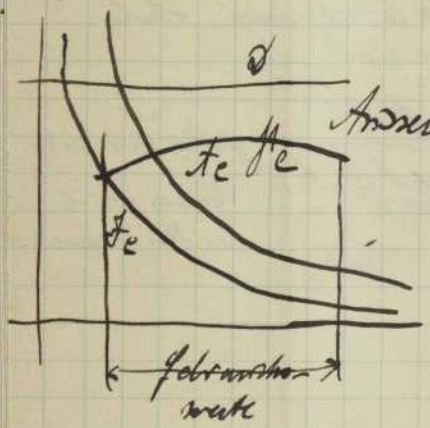
f) $J = J_0$

g) $J_0 = J_e + J_n$

Man verwendet diese Maschine bei konstanten Spannungen J_e variabel ist.

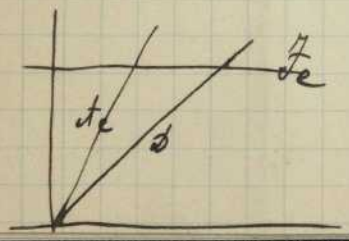
Wir sehen die Betriebskurven an.

$J_e = \frac{\delta}{W_e}$ Hyperbel mit Kurve als Asymptote.



Andere Arbeit $A_e = J_e \delta$

Man hat innerhalb der Gebrauchswerte konstanten Wirkungsgrade ist. Es erreicht zwar eine gewisses Max. durch unbedeutende Ist Maschine zu gebraucht dass man konst. Strom erhält so ist Spann. Gerade.



Leider war der elekt. Wirkungsgrad der Bede doch
ist dieser Kennzeichen nützlich es handelt sich mehr
um den <u>totalen Wirkungsgrad</u> d.h. wieviel
wird von der aufgeführten elekt. Energie nützlich
gemacht.

Arbeit durch Wirbelstr. sei A_w
A_h Arbeit die durch Hysterese verbraucht

<u>Totaler Wirkungsgrad</u> η_t

$$\eta_t = \frac{F_e D}{A_m} = \frac{F_e D}{F_e D + F W + F_s^2 W_s + F_n^2 W_n + A_w + A_h + \text{Reibungsarbeit}}$$

Man ist nun in der Lage die einzelnen Verluste
experimentell zu bestimmen außer Reibungsarbeit.
Ist die Maschine stromgeschützt was bei Nebenschl.
Maschinen mit konstanter Spann. verlangt sonst der Wirk.

$$\eta_t = \frac{A_m}{\alpha + \beta A_m + \gamma A_m^2}$$

α β γ Konst. für jede Maschine
verschied.

η sei Belastungsgrad d.h. Verhältnis der der
Maschine zugeführten zu dem Max der Leistung
die Maschine aufnehmen kann.

$$\eta = \frac{A_m}{A_{m\,max}}$$

somit

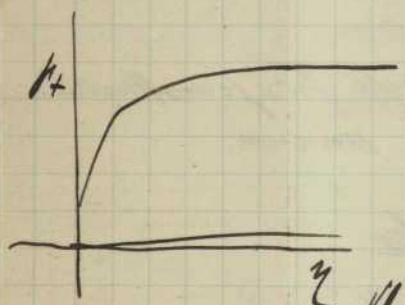
$$\eta_t = \frac{\eta}{\alpha_1 + \beta_1 \eta + \gamma_1 \eta^3}$$

Bei voller Belastung wird η_t = max für $\eta = 1$ $\alpha_1 = \gamma_1$

Beispiel Maschine der AEG Gesellschaft n = 700 J = 120

Fe = 300

Mech. Arbeit an d. Bremsscheibe N	Belastung	Fe A.	Fe J V	$J^2 R$ V	$J^2 W$ Watt	$J_N J$ Watt	Reibung Wirbelstrom Hysterese Selbstind.	μ_t	μ_e
13,3	1/5	60	9,8	10,8	51	714	253	74	90,5
20,1	1/6	100	16,3	17,5	148	720	259	81	93,2
23,4	1/2	150	24,4	25,8	318	730	265	86	94,6
37,1	2/3	200	32,6	34,4	565	740	270	88	94,7
54,5	1	300	49,0	51,7	1270	762	280	90	94,7
65,2	1,2	360	58,7	62,3	1834	780	292	90	94,7



Kleinere Maschine haben schlechteren Wirkungsgrad wegen Kostenpunkt

AEG. 1897.

Kleinmasch. N G 15 Nutzleist. 1650 Watt 3 PS pro PS 550 W. $\mu_t = \frac{\mu}{736} = 74,8\%$

N G 125 " 13750 " 21 PS " 640 " $\mu_t = 87,0\%$

S G 1000 (10 Jahr) " 120000 180 667 $\mu_t = 90,7\%$

F 10000 " 1000000/1500 " 667 μ_t 90,7%

Die grösseren Maschinen haben besseren Wirkungsgrad

Schuckert Werke.

AF 1/2	1650 Watt	2,915	569 k W/m²	$\eta_t = \frac{6}{736} = 77,3\%$
AF 21	24000 "	97 "	649	$\eta_t = 88,3$
AF 110	120000	177	678	$\eta_t = 92,2$

Siemens u. Halske 1898

FF 8/3	2000	3,5 PS	pro PS. 572	75%
UA 15/30	23000	35,5 "	" " 648	88%
Z 120/52	95000	137,3	" " 692 Watt	90%

Berechnung der Wicklung eines Ankers

Das Eisengerippe zeigt eben. bestehend aus Eisenblechen für Gleichstrom

Dicker d. Do Kürzere d. d. Eisen ist für Wechselstrom

(Durch zu vermeiden Lein von gelöstem Blech, dolieren Eff. nur Stell

dort anbringen wo Draht hinkommt.

Dicke der isolierenden Hülle ca. 1,5 bis 1,5 mm

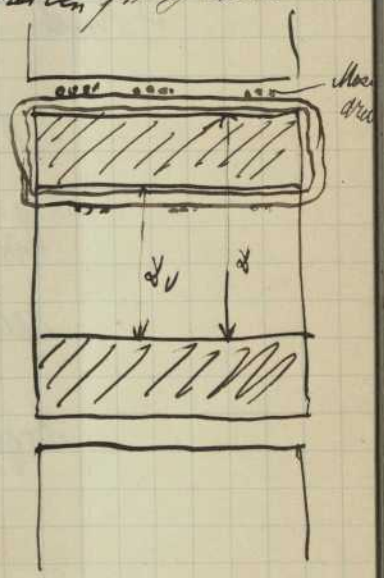
& Drähte werden durch Bandagen

aus elektrisch leitenden Material (Eisendrahtgeflecht Messing

Drähte) Eisendrahtgeflecht Bandagen legt

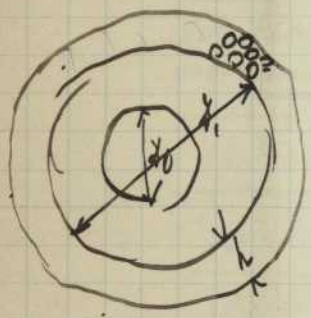
man nicht direkt auf Drähten sondern auf Glimmer.

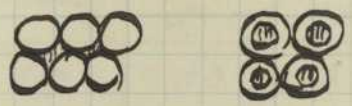
Bandage 1,5-2 mm Isolation 1,5-3 mm.



H sei Raum zwischen Wicklung u. Blechkern
h sei Nutzbarer Raum für Stahlkern. dann ist

$$H = h + \begin{cases} 5 \\ 6{,}5 \end{cases} \text{ mm}$$





Raum wird nicht ganz ausgefüllt
von Draht wegen Bedeckung u. Entlüftungsraum

Nackte Durchmesser des Drahtes

d_1 = 1,0 2,0 3,0 4 5 6 7 8 9 10 mm

Durchmesser des gesponnenen Drahtes

d_6 = 1,5 2,6 3,6 4,7 5,8 6,8 7,7 9,0 10,0 11,1 mm

Bei dünnen Drähten ist Kraftlos von Isolierschicht größer als bei dicken Drähten

Formel $d_6 = 0{,}44 + 1{,}06\, d_1$ mm

Nach Kapp $d_6 = 0{,}2\, b + 1{,}12\, d_1$

Einen Teil dieses Raumes verschwendet man bei Wicklung durch rechteckigen Querschnitt des Drahtes.

Angenommen: 1) Raum wird ganz ausgefüllt
2) Isolierschicht sei so dünn dass man sie vernachlässigen kann

Draht habe Querschnitt f qcm Gesamtquerschnitt $\pi d_1 h$ qcm

Windungszahl des Ankers

$$Z = \frac{\pi d_1 h}{f}$$

Elekt. Kraft

$$E = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8} = \frac{n d_1 h \pi K}{60 \cdot 10^8 f} \qquad (1)$$

Bei Berech. legt man zuerst den Spannungsverlust im Anker fest. Es zeigt sich dann, man den Spannungsverlust grosse wählt Maschine ~~billig~~ wird. Der Spann.-Verlust sei $v E$

v gross gilt bei grossen Belast. raschen Spann.-Abfall

v wird sein $0{,}02 \div 0{,}05$.

Länge einer Ankerwindung sei λ cm. gegeben

dann ist Anker widerstand (6 W. dest. Ver.) W in mm

$$W = \frac{\sigma Z \lambda^c}{100 f^2 4 \cdot 100} = \frac{\sigma \pi d_1 h \lambda}{4 f^2 10^4}$$

Ankerverlust

$$v E = J W = J \cdot \frac{\sigma \pi d_1 h \lambda}{4 f^2 10^4}$$

$$J = \frac{v n \pi d_1 h K 4 f^2 10^4}{60 \cdot 10^8 f \sigma \pi d_1 h \lambda}$$

$$J = \frac{v n K f 4}{60 \cdot 10^4 \sigma \lambda} \qquad (2)$$

Resp.

Elekt. Kraft wird gleich proportional dem Querschnitt

Es können die Breite dieser ~~grossen~~ kleinen Querschn. in dieser Weise E (1. Gleichg.)

ferner F dieht prop. dem Querschn. f. je größer f desto größer Strom J.
F u. E. proport. der Tonzeit u. u. Kraft. K
F prop. der Größe v Je größer v desto größer F.

Elektrische Arbeit die der Anker leistet

$$F h = \frac{n \pi d_1 h K v \pi k f \cdot 4}{f 60 10^8 60 \cdot 10^8 \sigma \lambda}$$

$$F h = \frac{n^2 d_1 h K^2 v \cdot 4 \pi}{60^2 10^{12} \sigma \lambda}$$

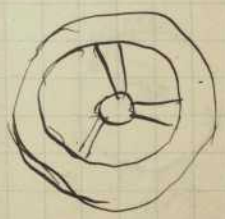
Für die Arbeitsleist. ist es gleichgültig ob man einen oder dicken Draht auf den Anker wickelt

K = FB.

Fh prop. K^2 prop. v. Der wirkliche Arbeitswert bleibt jedenfalls unter dem obigen Wert Fh einer Draht desto mehr bleibt Fh unter dem Wert wird Anker wenn bei angenommenen v es nur v kleiner genommen werden.

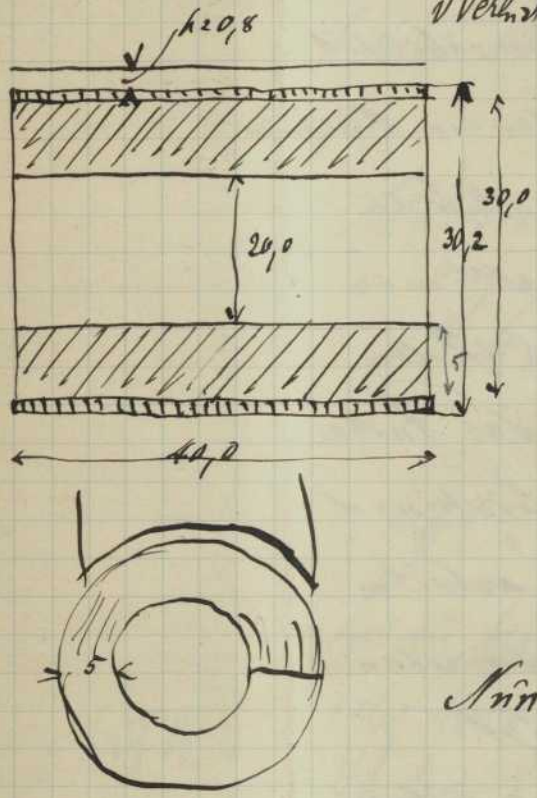
Nach früherem Gesagt muss die Eisenscheiben durch Längsbolzen zusammen. Statt dieser Längsbolzen wendet man auch mit Vorteil insbesondere bei Transformatoren eisernen Laschen an welche auf die Maschinenwelle aufgeschraubt werden u. mit Mutter u. Gegenmutter angezogen werden Eisenscheiben müssen nicht von der Maschinenwelle isoliert sein. Das in den Ankern

Zur Verwendung kommende Eisen muss von weichster Beschaffenheit sein (Schmied-Eisen) denn ein derartiges Material besitzt die größte magnetische Permeabilität u. die Verluste durch Hysteresis erreichen ein Minimum.
Der wirksame Eisenquerschnitt des Ankers ist so zu wählen dass die ihn durchsetzenden Kraftlinien das Eisen unter keinen Umständen bis zu dem Punkte beginnender Sättigung bringen. Der Anker kann soll vielmehr bei der maximalen Leistung d. Maschine noch in jenem Teile der Kurve arbeiten welcher angenäherte Proportionalität zwischen Induktion u. magnetisierender Kraft zeigt.
Der Querschnitt des Anker-Drahtes bestimmt sich aus der zulässigen Erwärmung. Dieselbe kann so hoch getrieben werden als es das Isolationsmaterial in längerem andauerndem Betriebe gestattet. In der Regel nimmt man jedoch die Zunahme der Temp. auf 30° bis 40° zu beschränken so dass die absolute Temp. des Ankerdrahtes in gut ventilierten Maschinenräumen um 60 bis 70° nicht überschreitet. Entwickelte Wärme wird nicht allein durch Stromwärme sondern auch durch Hysteresis u. Wirbelströme her. Ringanker erfordert in der Regel keine künstliche Ventilation. Bei Trommelanker sucht man Ankeroberfläche dadurch zu vergrössern dass man die Eisenblech etwas nicht bis zur Welle gehen lässt.



Beispiel. $n = 600$ $\mathfrak{D} = 120$ Volt $\delta = 0{,}03$ Ausfüll. $0{,}9$

Verlust im Anker $B = 15000$ $h = 0{,}8$



Berechnung des Ankers.

Verlust im Anker

$h = \mathfrak{D} = 0{,}03\,\mathfrak{E}$ $\delta = \mathfrak{E} - 0{,}03\,\mathfrak{E}$

$$\mathfrak{E} = \frac{\mathfrak{D}}{0{,}97} = 123{,}71 \text{ Volt}$$

Kraftlinienzahl aus einem Pol

$$K = 5 \cdot 40 \cdot 2 \cdot 0{,}9 \cdot 15000$$

$$K = 5{,}4 \cdot 10^6$$

Nun ist

$$\mathfrak{E} = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8} = 123{,}71 = \frac{600\, Z \cdot 5{,}4 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^8}$$

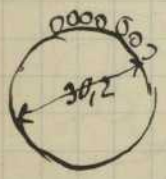
Windungszahl $Z = 229 \sim \underline{230} = 5 \cdot 46$.

Man wird 46 Spulen à 5 Windungen nehmen.

Mit $Z = 230$ statt 229 wird $\mathfrak{E}$ größer als verlangt ist. Dem kann man abhelfen durch Reduktion der Tourenzahl. $n Z$ muß eine bestimmte konstante Größe besitzen. Die Tourenz. verhalten sich umgekehrt wie die Windungszahlen.

Tourenzahl $600 : n_1 = 230 : 229$

$$n_1 = 598$$

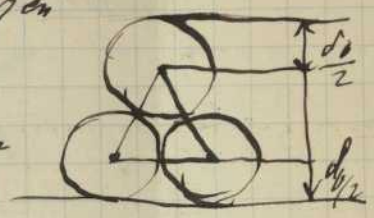


Mittlerer Durchmesser

$$d_b = \frac{\pi \cdot 30{,}2}{230} = 4{,}1 \text{ mm}$$

$\delta_n = 3{,}5\,mm$

Soll 8 mm umgehüllt werden. Man wendet 2 Lagen an



$$\frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_2}{2}\sqrt{3} = 1{,}866\,\delta_1 = 7{,}7\,mm$$

Umhüllt man die doppelte Zahl von Drahtmitte,

anstatt 230 hat man 2·230. Man hilft sich dadurch, dass man je 2 Drahtmitte ∥ schaltet 1 u. 2 1 u. 2

Querschnitt des Drahtes 0,62 qmm

Nun ist man 2 Drahtmitte 1,24 qmm = q.

Eine Windung hat die Länge $l = 0{,}94\,m$ (0,4+0,4+0,052 ?

somit.

$$W = \frac{\frac{1}{55}\,230 \cdot 0{,}94}{4 \cdot 1{,}24} = 0{,}0511\,Ohm.$$

Spannungsverlust $E = 123{,}71$

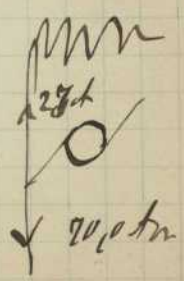
$J = 120{,}00$

$3{,}71$ Volt

$$3{,}71\,Volt = J \cdot 0{,}0511$$

$$J = 72{,}7\,Ampere.$$

Dieses J kommt aus dem Ankerkreis. Hat man eine Nebenschlussmasch. so teilt sich der Strom in 2 Teile. Ein Teil J_1 fließt durch die Nebenschlüsse, der andere J_2 geht nach außen.



Elektrische Arbeit

$$J_2 E = 72{,}7 \cdot 123{,}7 = 8990\,Watt$$

$$J_2 \delta = 70{,}0 \cdot 120{,}0 = 8400\,Watt$$

Elektr. Wirkungsgrad

$$\eta_e = \frac{8000}{8990} = 93{,}6\,\%$$

Umfangsgeschw.

$$30{,}2 + 1{,}6 = 31{,}85$$

$$\frac{\pi \cdot 31{,}8 \cdot 5{,}98}{60} = 10\,m$$

Größe der Ventilationsoberfläche (äußerer Mantel Stahlblech mit ein.)

äußerer Mantel	3996 qcm
Stirnfläche	986 qcm
	4982 qcm

Verlorene Arbeit im Anker $82{,}7^{A} \cdot 3{,}71^{Volt} = 270$ Watt

Verluste durch Hysterese u. Wirbelströmen bei 50 Perioden pro Sek. u. 1 kg Eisen.

B = 2000	0,66 Watt	B = 19000	23
B = 3000	1,06 "	B = 20000	25
B = 4000	1,6 "		
B = 5000	2,4 "		
B = 6000	3,3 "		
B = 7000	4,2 "		
B = 8000	5,7 "		
B = 10000	7 "		
B = 12000	12 "		

Unser Anker macht 600 Touren somit 10 Perioden in der Sek.

somit Verlust 1,7 Watt pro kg

$G = 112$ kg. $A_h = 112 \cdot 1{,}7 = \underline{190}$ Watt

460 Watt 4782 gcm

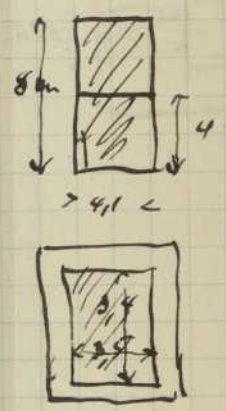
pro verbrauchte Watt $\frac{4782}{460} = 10{,}4$ gcm

$$f = \frac{560}{10{,}4\,(1+0{,}1\,\mu)} = 26{,}5^{\circ}$$

0,1 Umdrehungszahl.

Was wird nun aus der Maschine wenn man rechteckigen Querschnitt der Drähte wählt. 2 Lagen die # in Reihen sind. Drahtquerschnitt 11,9 qmm

somit $f = 23{,}8$ qmm



Leistungsfähigkeit

$$72\,qf \cdot \frac{23{,}8}{19{,}2} = 90 \text{ Amp}$$

$$JE = 90 \times 123{,}7 = 11134 \text{ Watt}$$

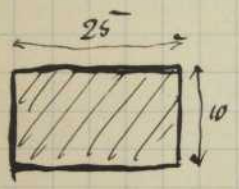
Am Anker mit dünner Isolierung der Drähte ($f = 32{,}8$ qmm)

die Maschine steigern auf 124 Amp 15300 Watt

Temperaturerhöhung 37,5°.

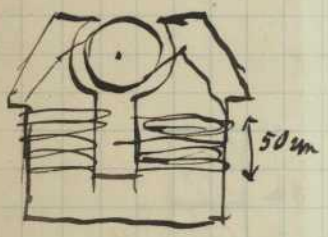
Berechnung der Magnete.

1) Serienwickelung.



Auf diese Kerne sollen 12^{10^2} AWind. gewickelt werden und zwar beim Strom 20 Amp. Verlust 16 Volt.

$$\frac{12100}{20} = 600 = Z_0$$



$$W_0 = \frac{16\,V}{20\,A}$$

Mittlere Windungslänge sei U_m somit ganze Länge des Drahtes $Z_0\,U_m$. Widerstand W_0

$$W_0 = \frac{\sigma \cdot Z_0 \cdot U_m}{f\,mm^2}$$

Vorläufig wird mm U_m als Umfang des Querschnittes m also 70 cm somit vorläufiger Querschnitt

$$f = \frac{55600 \cdot 0{,}70}{\frac{16}{20}} = 10{,}2\,mm^2$$

Nackter Drahtdurchmesser $d_n = 3{,}6$ Umsponnener D. $\phi\, d_s = 4{,}3$

Man hat mit Draht querschnitt pro Lage

$$\frac{500}{4{,}3} = 116 \text{ Drähte}$$

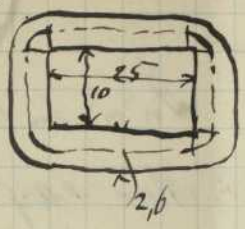
600 Drähte sind aber nicht unterzubringen somit Zahl der Lagen

$$\frac{600}{116} = \sim 6 \text{ Lagen}$$

Querschnitte wollen auf einem der Eisenkerne

Wickelhöhe: $6 \cdot 4{,}3 = 26$ mm (vorläufig)

Nun ist $M_m = 0{,}70 + \pi \cdot 2{,}6 = 0{,}702$



Korrigierter Querschnitt

$$f = \frac{\frac{1}{65}\,600 \cdot 0{,}702}{\frac{15}{20}} = 11{,}4$$

$\delta_n = 3{,}9$ $\quad \underline{\delta_b = 4{,}6}$

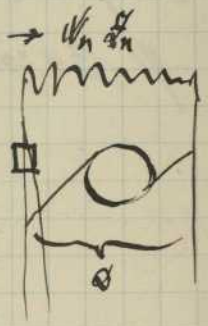
Drahtquerschnitt Zahl pro Lage $= \frac{500}{4{,}6} = 108$

Lagenzahl $= \frac{600}{108} = 6$ Lagen

Wickelhöhe $6 \cdot 4{,}6 = 27{,}6 = \sim 28$ mm

Will man die Kreuzungsoberfläche so hat man die äußerste Oberfläche ~~genauer rechnen~~ zu nehmen.

2) Nebenschlußwicklung.



Mittlere Windungslänge sei M_m

Nebenschlußstrom J_n

$$J_n = \frac{D}{W_n}$$

W_c sei in W_n inbegriffen

Z_n Windungszahl

$$W_n = \frac{D}{Z_n}$$

Ferner ist:

$$W_n = \frac{\sigma \cdot Z_n \cdot M_m}{f}$$

$$\frac{D}{Z_n} = \frac{\sigma \cdot Z_n \cdot M_m}{f}$$

$Z_n \cdot J_n$ geben die Amperewindungen

Drahtquerschnitt

$$f = \frac{\sigma \cdot Z_n\, M_m \cdot J_n}{D}$$

$$\sqrt{2\,\frac{\sigma \cdot AW\,Uw}{\delta}}$$

In einem bestimmten f gehört eine bestimmte AW.
Man darf bei einer wiedergeschickten Maschine noch soviel Windungen aufwickeln das ändert an den AW nichts
Querschnitt u. AW. sind proportional. Zwischen wird man leicht durch Regulierwiderstand aber bei zu wenig AW. ist nicht mehr zu helfen. Man sieht ferner das je größer δ desto stärker der Strom. Das ist sehr nachteilig für Hochspannungen

<u>Beispiel</u> Bewickelbare Länge der Magnete 50cm 9000 AW erzeugt durch die Spule. Spule 110 V. Magnete besitzen kreisrunden Querschnitt von ∅ 34cm. Mittlere Umfang (v. Läufer)

$$U_{34} = 1{,}068\,m$$

$$f = \frac{\frac{1}{55} \cdot 9000 \cdot 1{,}068}{110} = 1{,}588\ qmm$$

Wird σ zu klein angenommen dann kann auf f zu klein ausfallen dann kann man mit einer größeren σ

$\sigma_n = 1{,}4$ ist Querschnitt 1,539

$\sigma_n = 1{,}5$ " " 1,767 qmm

Bleibt man bei $\sigma_n = 1{,}5$ so ist $\sigma_0 = 2{,}1$ darf nie abgeändert werden

Nachträglich muss noch kontrolliert werden um 3,4 abzugleichen werden kann damit Draht noch zu warm wird

Maschine habe 3,4 ct somit Windungen

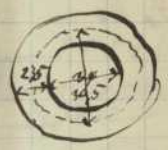
$$z_n = \frac{9000}{3{,}4} = 2647$$

Windungen pro Lage $= \frac{500}{2{,}1} = 238$

Zahl der Lagen $= \frac{2647}{236} = 12$

Diese geben eine verlängerte Wickelungshöhe $= 12 \cdot 2{,}1 = 25{,}2$ mm

$\mu_{36{,}5} = 1{,}147$



$$f = \frac{\frac{1}{55} \cdot 9000 \cdot 1{,}147}{110} = 1{,}706.$$

$\delta_n = 1{,}5 \quad \delta_6 = 2{,}1$

Wie kann man das Zuviel AW wegbringen. Man würde einen Widerstand im Nebenschluß an

$$W_n = \frac{\delta}{J_n} = \frac{110}{3{,}4} = 32{,}35 \text{ Ohm}$$

$$W_n = \frac{\frac{1}{55} \cdot 2647 \cdot 1{,}147}{1{,}767} = 31{,}24$$

Unterschied $1{,}11$ Ohm

Schaltet man $1{,}11$ O. dauernd im Nebenschluß ein so hat man den richtigen Widerstand

Widerstand bei der Temp. t_1

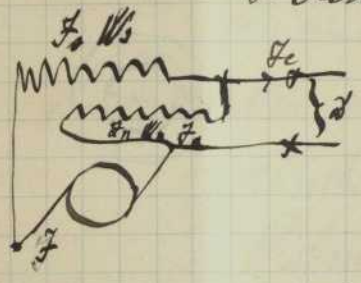
$$W_{t_1} = W_t\left(1 + 0{,}0038(t_1 - t)\right)$$

$$\frac{\sigma_{t_1} l}{f} = \frac{\sigma_t l}{f}\left(1 + 0{,}0038(t_1 - t)\right)$$

$$\sigma_{t_1} = \sigma_t\left(1 + 0{,}0038(t_1 - t)\right)$$

3) Kompoundwickelung.

Berech. einer Masch. von Konst. Spannung $E = 110$



$$J_{e_1} = 81 \text{ Amp.}$$

Amp. Windung. der Serienwickel. $AW_0 = J \cdot J_0$

" " " Nebenschl. W. $AW_n = J_n \cdot J_n$

Gesamt A. Wind $AW_0 + AW_n$

Beim Strom 81 Amp. wünscht man Span. 110 V.

ebenso für einen Strom 10 A. 110 Volt

$$J_{e_2} = 10 \text{ A}$$

Charakt. Kurve der Maschine muss gegeben sein. Es

Einfluß der AW. u. Kraftl. K. Strom im Neben-

schluss $J_n = 3$ A.

somit $J = 84$ A. $J = 13$ A.

Der Ankerwiderst. habe die Größe $W = 0{,}024$ Ohm

In der Leitungsdraht gehe $1/10$ Volt verloren

durch.

$$JW_0 = \frac{1}{10} \quad \text{beim größten Strom}$$

$$W_0 = \frac{1/10}{J} = \frac{1/10}{84} = 0{,}001 \text{ Ohm}$$

somit $W + W_0 = 0{,}025$ Ohm

Nun ist

$$E_1 = E + J(W + W_0)$$

im ersten Fall $E_1 = 110 + 84 \cdot 0{,}025 = 112{,}02$

im letzten Fall $E_2 = 110 + 13 \cdot 0{,}025 = 110{,}31$.

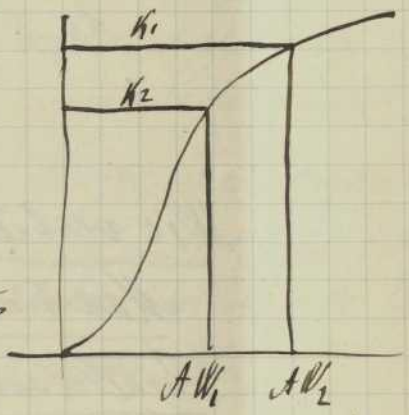
$$E = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8}$$

n bei $= 600$ $Z = 195$. Hauptleiterzahl die nötig ist um den gesamten Strom zu liefern

$$K_1 = 5{,}942 \cdot 10^6$$

Unterschied 1,4%

$$K_2 = 5{,}856 \cdot 10^6$$



Magnetisierung der Pole für K_1 u. K_2

$AW_1 = 900$ AW_2 8500.

In beiden Fällen bleibt AW_n des Nebenschlusses gleich. Man hat dann.

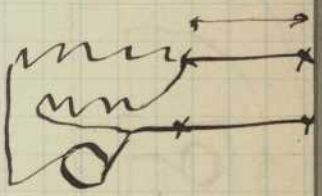
$$AW_1 = 900 = AW_n + 84 Z_0$$

$$AW_2 = 8500 = AW_n + 13 Z_0$$

$$500 = (84 - 13) Z_0 = 71 Z_0$$

$$Z_0 = 7 \quad AW_n = 8410.$$

Man braucht selbst bei der besten Maschine sehr wenig Serienwicklungen. Komplizierter wird die Rechnung wenn Nebenschlüsse nicht von den Klemmen sondern von den Bürsten ausgehen. Wünscht man dort konstante Spannung wo die Strom verbraucher sich befinden so kann man nach der Draht mitten und dann Bei Masch. mit kleinem Ankerwiderstand braucht man noch wenig Compoundserienwicklungen

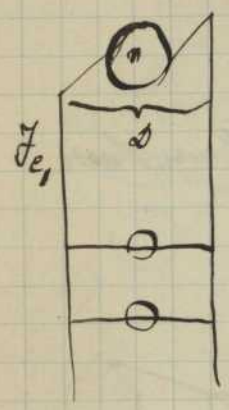


AW_1 u. AW_2 wird durch Versuche festgestellt. (s. n. Seite)

Der Anker sei bewickelt Z_p der Windungszahl der Rotorwicklung

$$J_{p_1} \cdot Z_p = A W_1$$

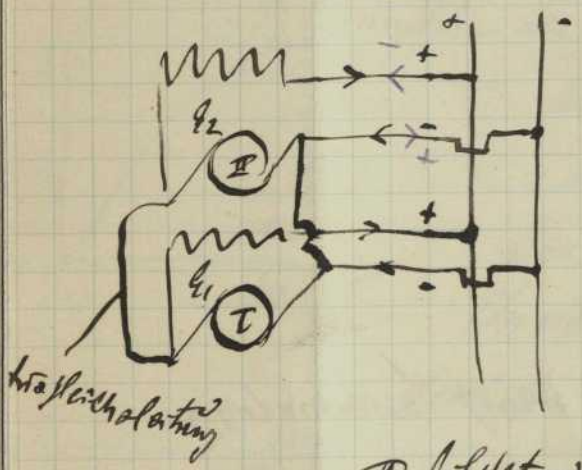
$$J_{p_2} \cdot Z_p = A W_2$$



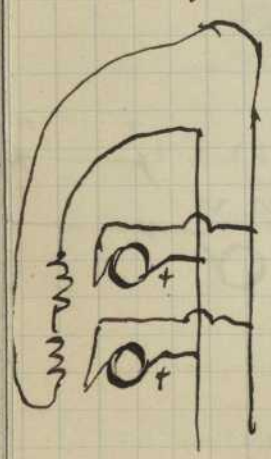
Durch eine Stromquelle wird Rotorwicklung erregt u. dadurch Anker J_{p_1} u. J_{p_2} kann man messen Z_p ist bekannt dadurch hat man $A W_1$ u. $A W$

Wie verhält es sich mit zwei verschiedenen Maschinen mit einander geschaltet werden?

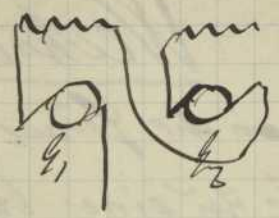
Parallelschaltung der Serienmaschinen:



I behalte ihre Tourzahl II dagegen wird kleiner E_2 wird kleiner so passiert dass anstatt Maschine II Strom abliefert erhält dieselbe Strom. Die Maschine erhält Rückstrom. Die Masch. magnetisiert umkehrend ihre Pole Masch. II bildet einen Kurzschluss in Bezug auf Masch. I. Führt zu einer Zerstörung der Maschine. Diese Schaltung ist also falsch für die Serienmaschinen. Man kann abhelfen durch Rückstromgleichungsleitungen. Ferner noch ist die Schaltung eine sehr gefährliche. Dasselbe gilt auch für Compoundmaschinen.

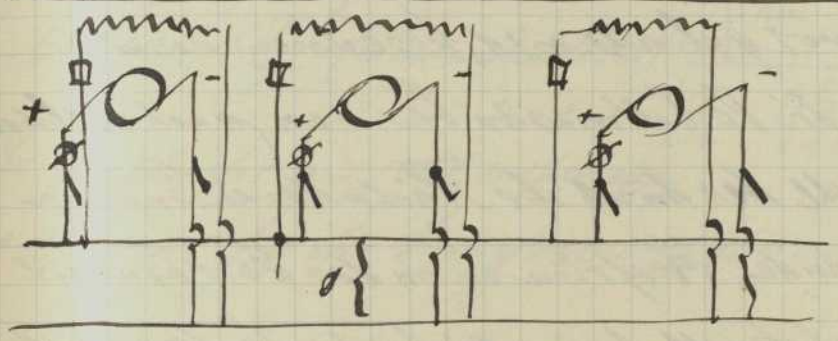


Die Stelle wo man mit Hintereinanderschalten von Lichtmaschinen kann mit Vorteil angewandt werden



$E = E_1 + E_2$

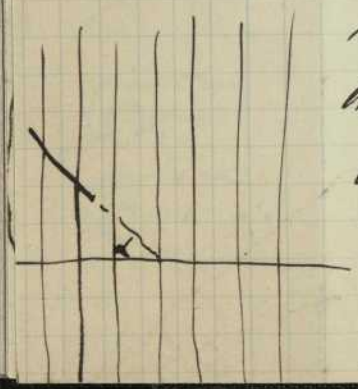
Parallelschalt von Nebenschlussmaschinen



Jede Maschine müsse einen doppelpoligen Ausschalter haben ebenso einen Umschalter. Bei eintretendem Kurzschluss erhalten die Magnete keinen Nennmagnetisierung. Der Anker wird geschützt durch Bleisicherung. Mit Hilfe des Nebenschl. Widerstandes hat man es ganz in der Hand den Maschinen mehr oder weniger Strom zu geben. Man kann eine Maschine hinzu- oder wegschalten. Nur hat man Magnete Strom hin- zu- ausschalten u. zuletzt hinwegzuschalten um am Anker Kurzschluss zu vermeiden. Strom muss ausgeschaltet werden u. mit gleicher Spannung eingeschaltet werden. Auf diese Weise können beliebig viele Nebenschlussmaschinen hintereinander geschaltet werden

Wechselstrom

Will man die Größe der elektromotorischen Kraft welche zu einer bestimmten Zeit in einem secundären Kreise durch Entstehen u. Verschwinden eines primären Stromes hervorgebracht wird, berechnen so ist es notwendig, das Verhältniß zu bestimmen, nach welchem sich die Zahl der durch die Fläche des secundären Kreises gehenden Kraftlinien in der Zeiteinheit ändert. Man betrachtet eine einfache Drahtschlaufe durch welche ein Strom in der angegebenen Richtung konstant cirkuliert. Nun trete plötzlich eine Änderung in der Stromstärke ein etwa dadurch daß sich dieselbe erhöht. Dann ändert sich sofort auch die Zahl der Kraftlinien welche durch die Fläche gehen, sie wird entsprechend der Zunahme des Stromes verändert (vergrößert) u. wir erhalten eine elektromotorische Kraft der Induktion. Induktion findet ferner statt wenn ein Leiter sich in einem magnetischen Feld bewegt u. die Kraftlinien desselben schneidet. Bewegte man in der Zeit t ein Leiterelement um $\angle \alpha$ gedreht so verhält sich



$$\alpha : 2\pi = t : T$$

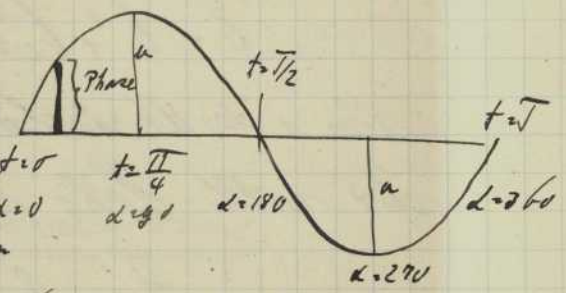
$$\alpha = \frac{2\pi t}{T}$$

$1/T$ nennt man Frequenz od. Zahl der Dreh. pro Min.
Die elektrom. Kraft in einer bestimmten Stellung ist.

$$e = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

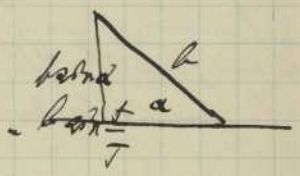
Wechselstrom folgt dem Gesetz:

$$i = b \sin \frac{2\pi t}{T} \text{ (Sinuswechselstrom)}$$



Die Gesetze die wir jetzt aufstellen gelten nur für die Sinusformen (aber auch allgem.)

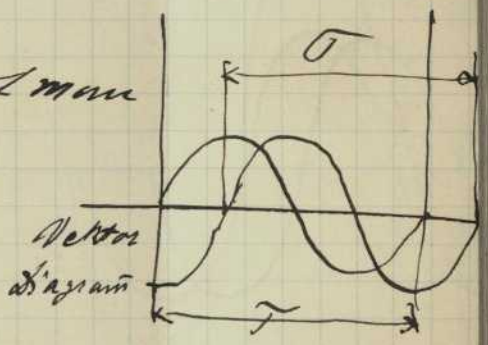
Zeitlicher Verlauf von Spannung u. Strom



$$i_1 = b_1 \sin \frac{2\pi t_1}{T} = b_1 \sin \alpha_1$$

$$i_2 = b_2 \sin \alpha_2$$

Den momentanen Zustand des Stromes nennt man die Phase des Stromes

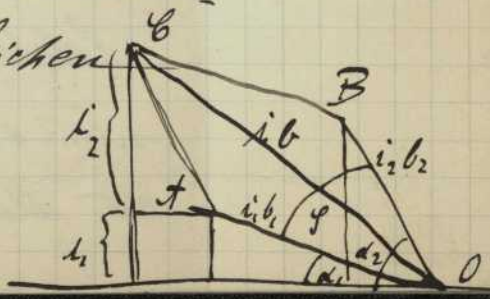


Zwei beiden Ströme haben eine Phasendifferenz:

$$\varphi = \frac{2\pi \tau}{T} \quad \varphi \text{ ist Phasenwinkel}$$

$$i_1 = b_1 \sin(\alpha_2 - \varphi) \qquad i_2 = b_2 \sin(\alpha_1 + \varphi)$$

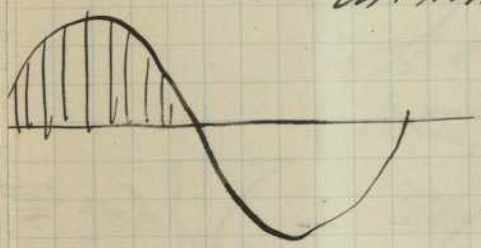
Wir können also einen Strom ausdrücken im Phasenwinkel i_1 kann einer später in die gleichen Zustände wie i_2. Was für ein Gesamtstrom entsteht aus den beiden Strömen $i = i_1 + i_2$



Im Vektordiagramm erhält man den result. Strom. Die Parallelogramm-Seiten sind die einzelnen Ströme. Das von den Strömen gesagte gilt ebenso gut für Spannungen.

$$b = b_1^2 + b_2^2 + 2 b_1 b_2 \cos\varphi$$

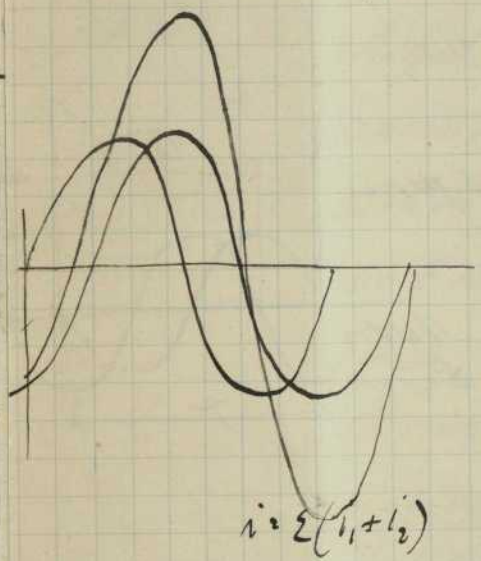
Um i des Wechselstroms zu berechnen kann man die mittl. Höhe der Kurve ausrechnen



$$J_m = \frac{2}{\pi} b$$

Für den effektive Strom (Wurzel aus dem mittleren Stromquadrat)

$$J_m = \frac{2}{\pi} a \qquad \underbrace{J = \frac{a}{2}\sqrt{2}}$$



Result. Momentanwert $i = i_1 + i_2$ (Σ der einzelnen Momentanwerte)

Diese Summation ist keine gewöhnliche Addition sondern die Diagon. des Vektordiagramms. In jedem Wechselstromkreis tritt eine elektrom. Kraft durch Selbstinduktion auf.

Sekundliche Änderung des Stromes $= \frac{di}{dt}$.

Selbstinduktions Koeffizient $= L$ cm (abool)

Elektrom. Kraft $L \frac{di}{dt}$

nimmt Strom ab dann $\frac{di}{dt}$ negativ nimmt Strom zu dann $\frac{di}{dt}$ positiv.

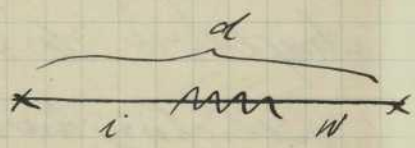
Selbstinduktion.

Die Elektrom. Kraft der Selbstinduktion ist

$$= L \frac{di}{dt}$$

Ohm'sches Gesetz für Wechselströme

d möge dem Sinusgesetz folgen: Es sei



w Widerstand

L Selbstinduktionskoeff

dann ist:

$$d = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$d - L \frac{di}{dt} = iw$$

In Worten:

Es ist die Summe der elekt. Kraft = Strom · Widerst.

Oder anders geschrieben:

$$\frac{di}{dt} + \frac{w}{L} i = \frac{d}{L} = \frac{a}{L} \sin \frac{2\pi t}{T}$$

Bessere Lösung mit Hilfe des Diagramms.

$$i = b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

φ unbekannter Phasenwinkel

$$-L\frac{di}{dt} = -Lb\frac{2\pi}{T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$ oder

diese Größe der Selbstind. bezeichnet mit e_s

$$e_s = -Lb\frac{2\pi}{T}\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

$$e_s = bL\,2\pi N \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\varphi - 90\right)$$

Hieraus die erste Größe der Selbstinduktion

Amplitude der S. Ind. ist $2\pi N L b$.

Beziehung zwischen Ampl. u. effektiven Wert:

$$J = \frac{1}{2}\sqrt{2}\,b$$

Spannungseffekt. Wert

$$\mathfrak{J} = \frac{1}{2}\sqrt{2}\,a$$

Wenn $2\pi N L b$ = Amplitude dem

effekt. Wert der Selbstinduktion

$$2\pi N L \frac{b}{2}\sqrt{2} = E_0$$

Hieraus

$$\boxed{E_0 = 2\pi N L J}$$ (richtig)

Es würde vorausgesetzt

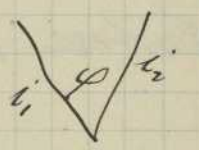
$$i = b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

$$e_s = 2\pi N L b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi - 90\right)$$

Selbstinduktion ist elekt. Kraft welche Phasenwinkel 90° gegenüber dem Strom besitzt.

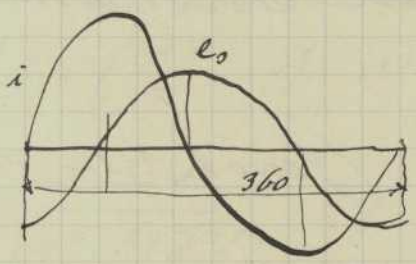
D.h. z.B.

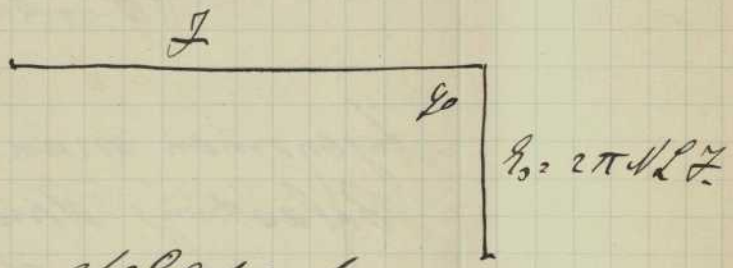
$$i_1 = b_1 \sin(\alpha_2 - \varphi)$$



Strom und die vom Strom erzeugte Selbstinduktion stehen im Vektor Diagramm senkrecht aufeinander

Im Linien Diagramm.





360° entsp. der ganzen Welle 90° also 1/4 Wellenlänge.

Ohm'sches Gesetz für Wechselstromkreis Leiter

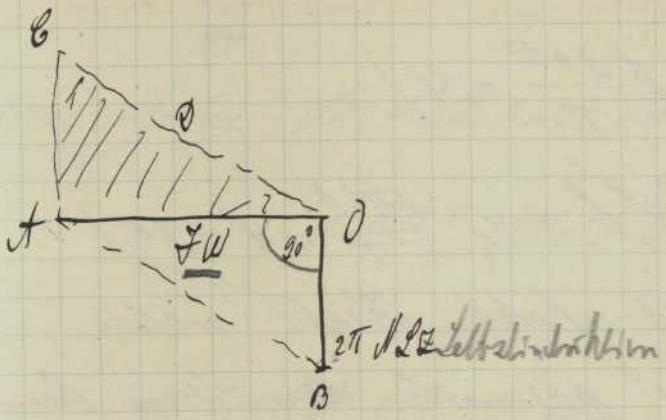
$$d - L\frac{di}{dt} = iW.$$

d Linienspannung

In doppeltem Sinn aufzufassen: $d = a \sin \frac{2\pi t}{T}$

Im Liniendiagr. im algebraischen Sinn.

Im Vectordiag. im geom. Lin. Nämlich



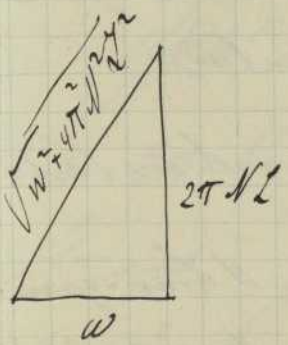
Weitere Beziehungen die herauszulesen:

$$\mathfrak{J}^2 = 4\pi^2 N^2 L^2 J^2 + J^2 W^2$$

$$J = \frac{\mathfrak{J}}{\sqrt{W^2 + 4\pi^2 N^2 L^2}}$$

Angenommen man habe selbstinduktionslose Belastung dann:

$$J = \frac{\mathfrak{J}}{W} \quad \text{(Gewöhnliches Ohm'sches Ges.)}$$



$\sqrt{W^2 + 4\pi^2 N^2 L^2}$ = scheinbarer Widerstand

Heißt „Impedanz" genauer

$2\pi N L$ Induktanz

Angenommen $w = 1$ Ohm $L = 1$ $C = \frac{1}{50}$ Farad

$N = 50$

dann ist:

$$\text{Impedanz} = \sqrt{1^2 + 4\pi^2 2500 \cdot 1} = 314$$

1^2 kommt gegen den anderen Faktoren fast nicht in Betracht. Während Ohm'scher Widerstand nur 1 gewesen wäre ohne Selbstinduktion.

<u>J läuft J voraus um Phasenwinkel φ</u>

Ebenfalls aus dem Diagramm zu ersehen.

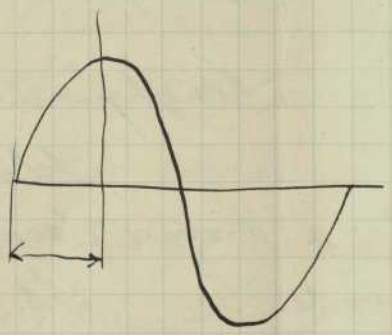
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi N L J}{w \quad Z} \quad \text{für } L = 0 \quad \varphi = 90$$

im Sinus diagramm.

$$i = b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right) \quad 1)$$

$$b = \frac{a}{\sqrt{w^2 + 4\pi^2 N^2 L^2}} \quad 2)$$

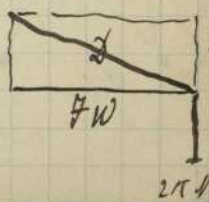
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi N L}{w} \quad 3)$$



<u>Was hat die Selbstinduktionsspan. zu leisten?</u>

1) Überwindung der Selbstind. Span. muss der S.Z. Gleichgewicht halten können

2) Strom zu schaffen oder besser Sw zu liefern



Span. muss also ad 1) Klemmenbesetzen = u. entg. der S.Z.

2π 1

3) muss Sp. Komp. besitzen = Iw.

$$i = b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right) = b\left(\sin\frac{2\pi t}{T}\cos\varphi - \cos\frac{2\pi t}{T}\sin\varphi\right)$$

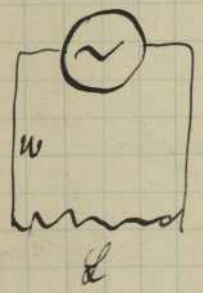
$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi N L}{w} \qquad \sin\varphi = \frac{\frac{2\pi N L}{w}}{\sqrt{1+\frac{4\pi^2 N^2 L^2}{w^2}}}$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{4\pi^2 N^2 L^2}{w^2}}}$$

$$i = \frac{a}{w\left(1+\frac{4\pi^2 N^2 L^2}{w^2}\right)}\left(\sin\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi N L}{w}\cos\frac{2\pi t}{T}\right)$$

(Nachtrag)

Wechselstromgenerator



Welche Arbeit leistet der Wechselstrom im ganzen Kreis?

Was versteht man unter Arbeit?

Lek. mech. Arbeit wie sie in jedem Augenblick vorhanden ist.

Wenn für best. Moment i = Strom

d = Spannung

Muss für diesen Moment,

Arbeit = $i d$.

Lek. Arb. in Watt

Gesamt Arb. in Joule

exp. mkg.

Wieviel Gesamtarbeit wird im Zeitelement dt geleistet

Lek. Arbeit .. dt

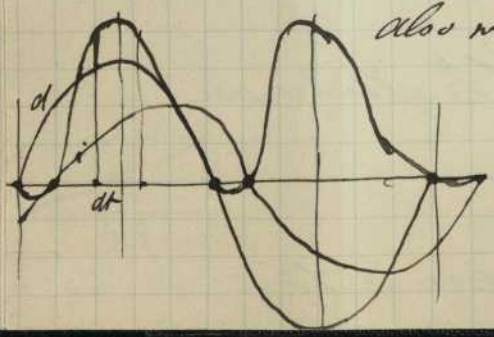
$i\,d\,dt$

Welche Arbeit wird während 1 Periode geleistet?

also während T

$$\int_{t=0}^{t=T} i\,d\,dt$$

$\int i\,d\,dt$ d. Arbeit während einer vollen Welle.



2 mal während einer Periode erhält der Generator Energie aus dem äusseren Stromkreis

Zwischen die inhaerent. Chemical verursacht durch die L. Ind.
Diese speichert sich im Stromkreis auf u wird zurückgegeben
Wir wünschen die mittl. Arbeit zu kennen:
Die mittl. sek. Arbeit eines Wechselstroms

$$A^{watt} = \frac{1}{T}\int_0^T i\,d\,dt$$

$$A = \frac{1}{T}\int_0^T a \sin\frac{2\pi t}{T}\, b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right) dt$$

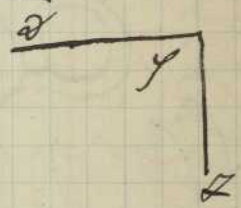
$$= \mathcal{J}\sqrt{2}\cdot J\sqrt{2}\cdot\frac{1}{T}\,\frac{T}{2\pi}\int_0^{2\pi} \sin\alpha \sin(\alpha-\varphi)\, d\alpha$$

wo φ gegebene Größe

$\cos\varphi$ Leistungsfaktor

$$A = J\mathcal{J}\cos\varphi$$

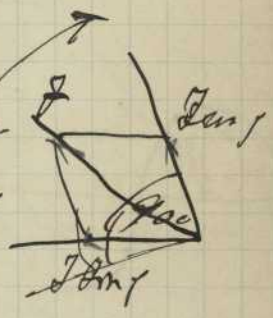
Arbeit die ~~einstellbarkeit~~ inch. tel pro Zeit. leistet.



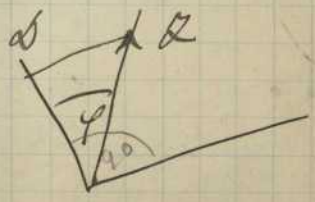
Ist Phasenwinkel $\varphi = 90$ so wird $\cos\varphi = 0$ dann kann
der Fall eintreten daß bei Spann u. großer Strom geliefert
wird doch keine Arbeit. Praktisch möglich daß $\varphi = 90°$ nahekommt

$J\mathcal{J}$ scheinbare Leistung. Um nützbare zu erhalten
muß $\cos\varphi$ klein sein (wird φ ungroßen

Zobrowolsky sagt:
Wenn man Sp. $\mathcal{J}$ u. Strom J unter Phasenwinkel φ
hat u. Spann dem Strom voraus läuft so ist es gerade
so als ob nicht der ganze Strom arbeitleistend wäre
sondern nur eine Komponente von der Größe $J\cos\varphi$
Die Zugehörige Komp. bildet mit der Sp. den Winkel 90°.
Ihre Arbeit ist also 0. Man hat also Wattströme
u. Wattlose Ströme (wattlose Komponente)

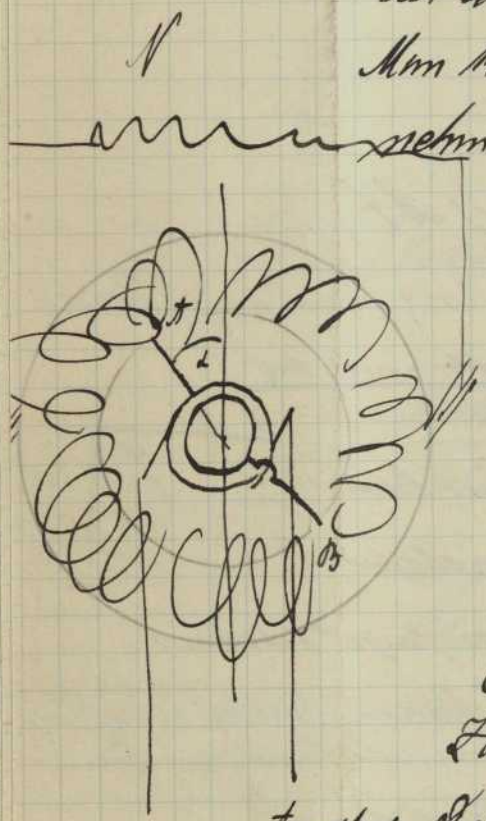


Ist Strom der voraus ist so ändert dies an der
Arbeitsleistung nichts



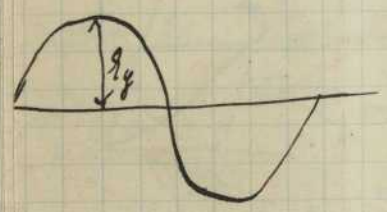
Wechselstrommaschinen

Die Wechselstromm. unterscheid. sich von der Gleichst. M. nur durch den Kommutator. Man muss die Magnete der Wechselst. M. mit einem Gleichst. M. erregen. Man kann einen Gleichstrom M. auch Wechselstrom entnehmen.



Die Masch. habe eine gew. El. Kraft E_g als Gleichstrom Masch. Wird die Masch. nun als W. M. benützt so ändert sich die elektr. Kraft folgendermassen. Für $\alpha = 0$ befind. die W. M. die el. Kraft 0. Dreht man AB fort so wächst el. Kraft für wieder wenn AB horizontal liegt d. h. in der neutralen Zone beim $\alpha = 90$ Faktoren am größten.

Annahme. Die el. Kraft der W. M. wird nach einer Sinuslinie variieren. Der effektive Wert der Wechselstrom Masch. ist der 0,71 fache der Gleichstromm. nehmen



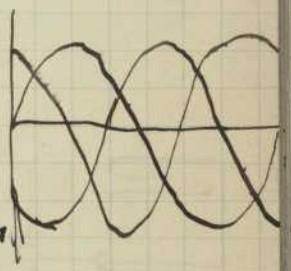
$$\frac{E_g}{2}\sqrt{2} = E = 0{,}71\, E_g.$$

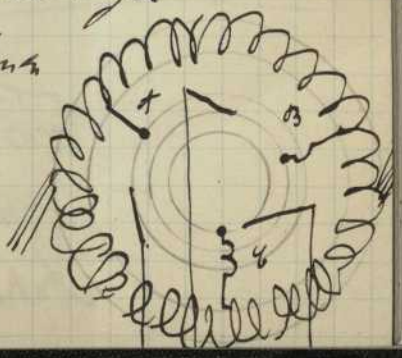
Wenn ich daher eine Gleichst. M. durch Anbringung von Schleifringen als eine W.St. M. benütze so erhalte ich eine el. Kraft die nur 71% der el. Kraft ist welche die Masch. als Gl.St. M. liefert. Ihre Arbeit ist $JE = JE_g \cdot 0{,}71$.

Während Arbeit der Glühl. N = 7 Kg. Nun kann man aber zu gleicher Zeit Wechselst. u. Gleichstrom entnehmen. Die Summe dieser beiden Ströme darf den Anker nicht überlasten.

Will man N = 50 Wellen haben so ist

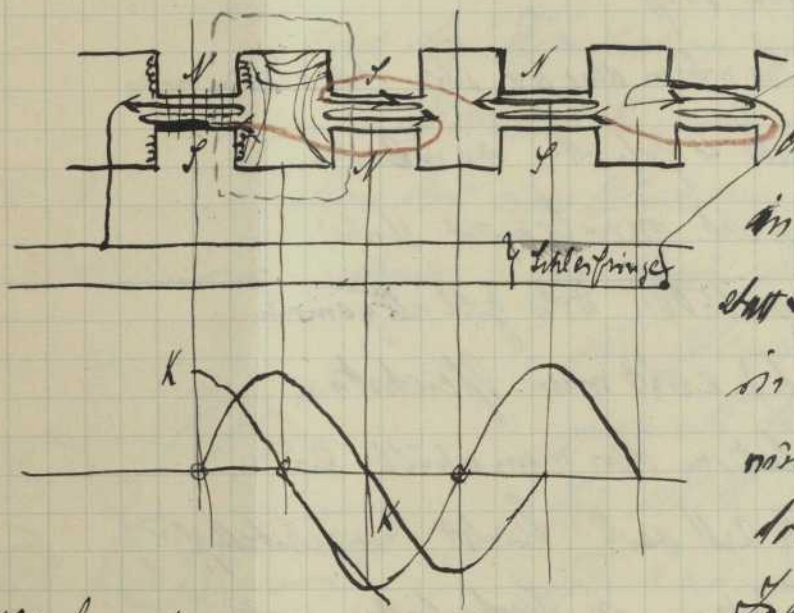
pro Min 3000 Wellen so wären also für die Bogenlampe nicht. Baut man die 2 pol. Maschine als 4 pol. M. so werden pro Drehung 2 Wellen hervorgebracht man braucht daher nur die Hälfte der Touren also 1500. Dies gilt allgemein. Für bestimmte Zwecke (Strassenb.) zieht man Gleichstrom vor. Man hat daher den Wechselstrom der man erhält zu transformieren. Dies kann durch 2 Mash. leicht bewerkstelligt werden indem man den Wechselstrom in Wechselstrommotor leitet, damit ein Gleichst. M. angetrieben u. dieser Gleichstrom entnommen. Wechselstrom mit mehr einer hohen Spannung wegen erzeugt. Leitet man 100 V. Gleichst. hinein so entnimmt man der Maschine 71 V. Wechselstrom. Will man Wechselstrom von höherer Span. so hat man denselben durch Transformatoren hinauf zu transformieren. Führt man der Doppel Maschine Strom zu so kann man der Mash. Wechselstrom Gleichstrom oder beides entnehmen. Legt man noch in Wege mehrere Schleifringe anbringen von dem daher einen 3 phasigen Strom zu entnehmen. Man kann 3 Wechselströme entnehmen deren Phasen um 120° verschoben sind. Führt man 3 phasigen Wechselstrom in der Mash. so erhält man Gleichstrom



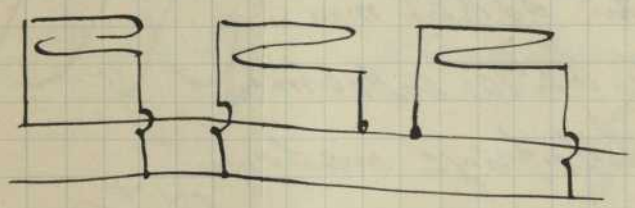


Konstruktion der Wechselstrommaschinen

Man braucht permanente Dauermagnete gleich erregte Magnete



Die Spulen drehen sich von links nach rechts. Die Spulen sind dort wo maximale Kraftlinien sind in ihnen ist. Es findet etwas Streuung statt. Durch den Stromkreis ist Kraftlinienzahl in der Spule 0. $\frac{dK}{dt}$ ist dort nur Max. wo Kraftlinien zahl 0 ist. Dort wo K Max ist Größte Induktion ist wenn Spule zwischen den Polen liegt. Sinuslinie um 1/4 Welle Länge verschoben. Man wird Induktion Bruchteil des Theoreticums haben. Die Spulen sind jeweils abwechselnd in entgegengesetzten Pole verbunden. Wie sind die Spulen hintereinander schalten. Will man hohe Spann. dann schaltet man in Serie. Diese obige Anordnung wendet man erst Siemens u. Halske an.

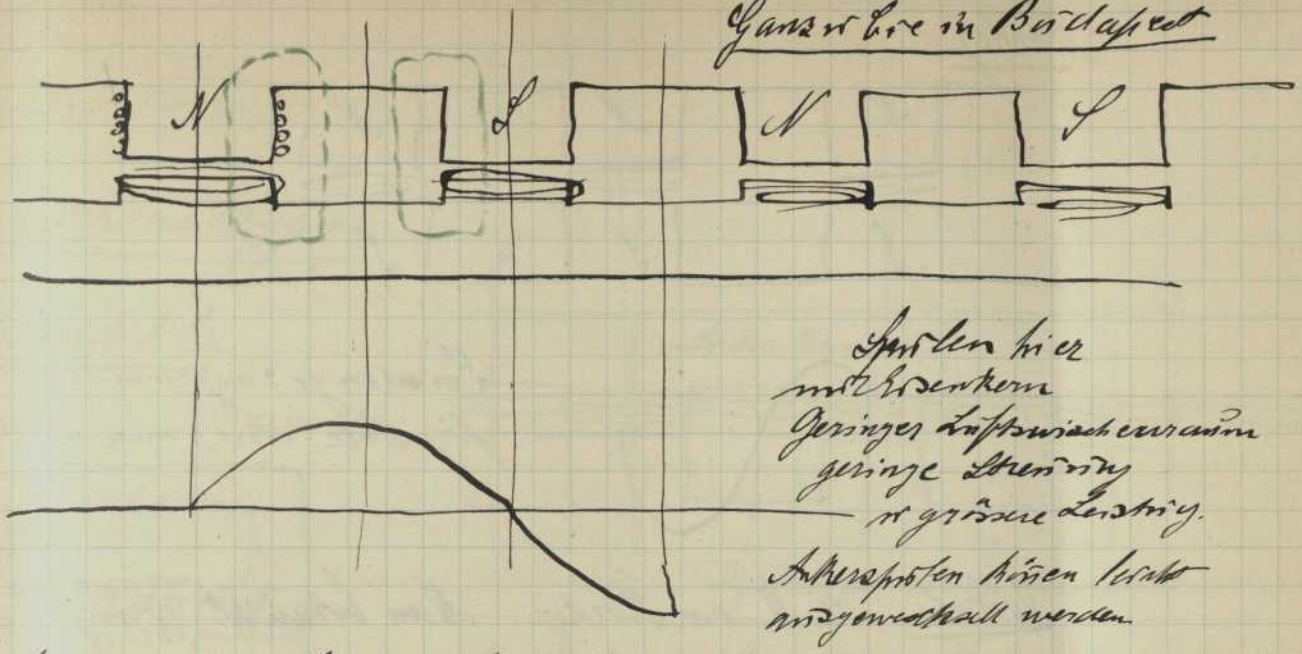


Wird nicht mehr in der Form gebaut. Streuung ist bei diesen Maschinen sehr groß. Man geht zur folgenden Form über. Anstatt der 2 Reihenen Polen wendet man nur eine Reihe an. Eisengerippe wird dann diesen Anker fest. Magnete bewegen sich

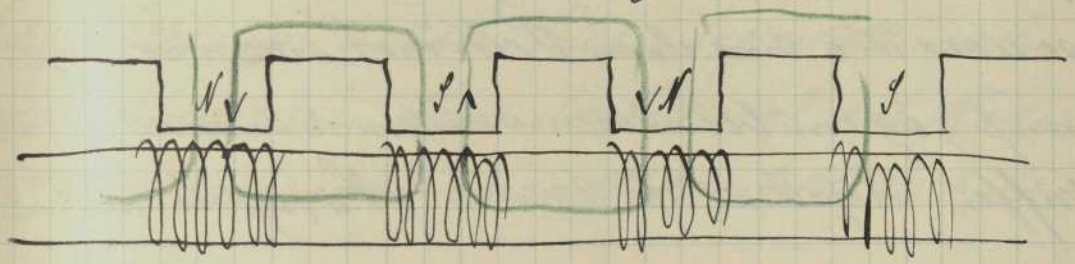
Din.

NB! Spulen haben keinen Eisenkern. wegen Fehlen des Eisenkerns geringe Leistung u. große Streuung

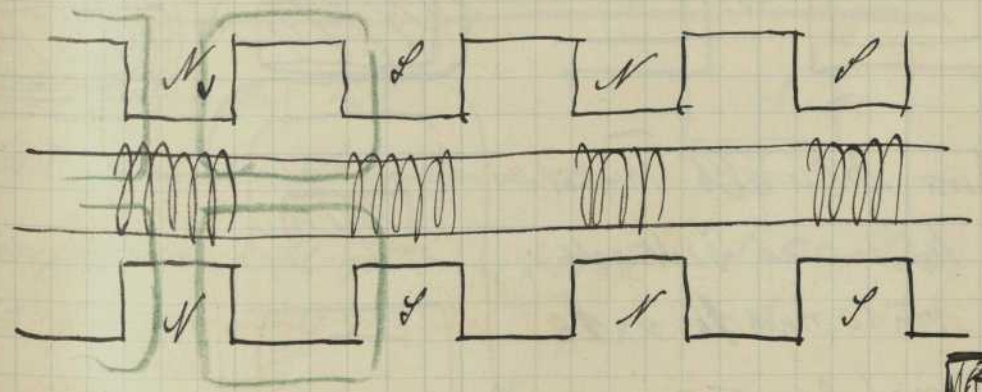
Ganz'sche in Budapest

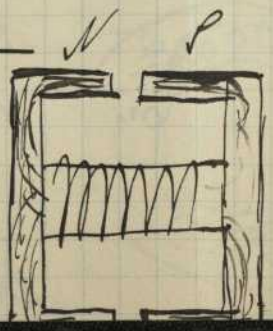


Es hat sehr grosse Vorteile Magnetbewegliche zu machen
da Reibungs Schleifringe nötig sind. Man kann mit
Leichtigkeit einen solchen Wech. Ströme von hohen
Spann. zu entnehmen Anordnung von Grame



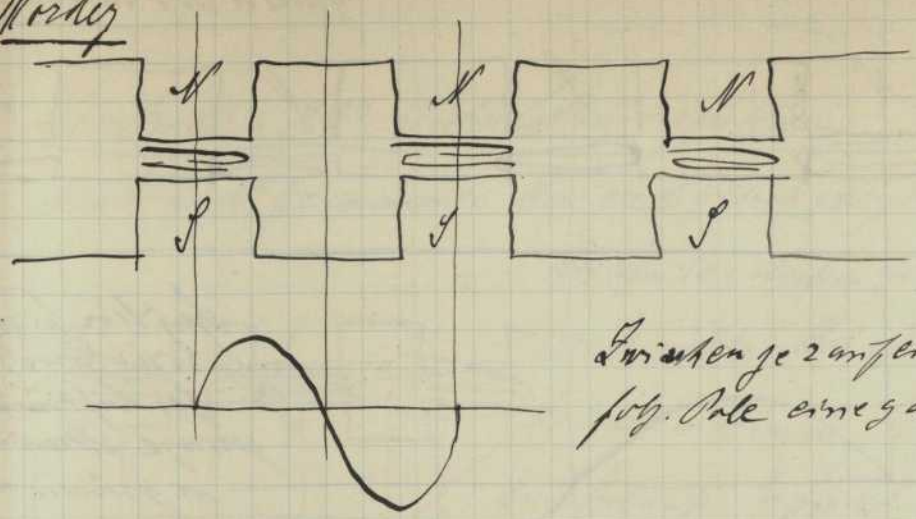
Flachringmaschine von Schuckert





Mordey Man eine erregende Spule
dadurch entstehen N auf der einen S auf der
andern Seite.

Mordey

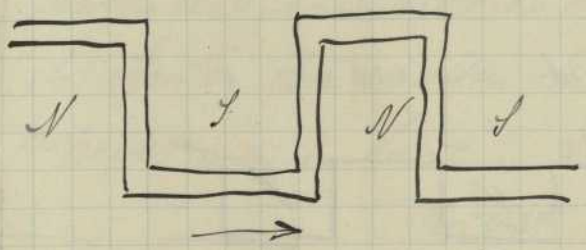


Zwischen je 2 aufeinander folg. Pole eine ganze Welle.

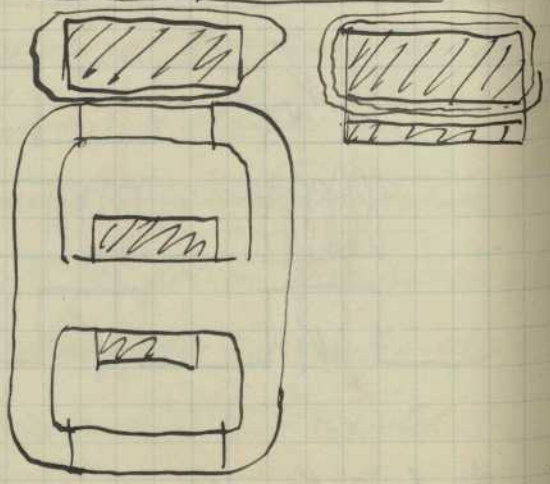
<u>Vorteile</u> der M. von Mordey. Man braucht wenig Material u. wenig A Windungen

<u>Nachteil</u> Anker hat eine gewisse Richtwirkung da Anker mit magnetisiert wird.

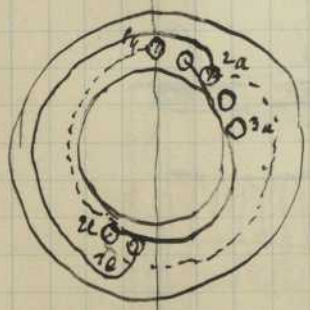
Anker von Mordey wurde modifiziert von <u>Brown</u> so daß die einzelnen Polhörner einander nicht mehr gegenüber stehen sondern in einander eingegriffen. Magnetrad ist drehbar Frensch also ausdrücken.



Wickelung des Ankers



Ringpolanker

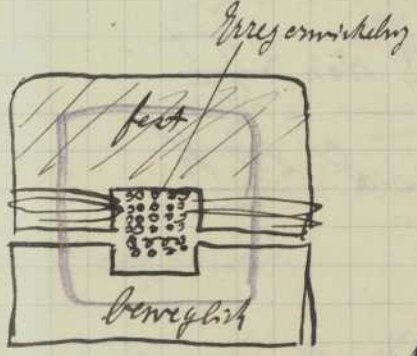


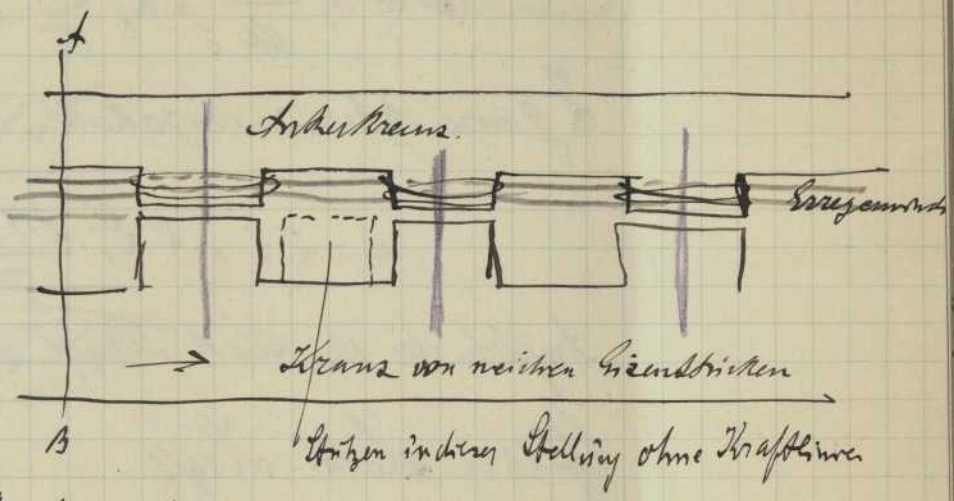
Man kann Anker als Trommel wickeln kontinuierlich Draht geht von 1a nach 1b von 1b nach 2a u. etwas weiter nach diametral sondern an der Peripherie des Kreises herumgewickelt werden. Ein Unterschied zwischen Ring u. Trommelwicklung existiert nicht.

Neue Form:

Induktionstypus

Schnitt A B.

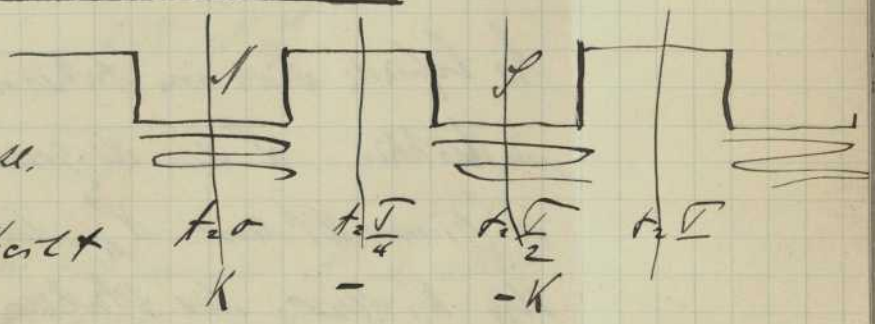




Man hat ruhende Windungen die ist vorteilhaft.
Man hat bei diesen Masch. fortwährend ein großer Wechsel an Kraftlinien dies bedingt große Hysteresis verluste
Anker müsse aus einzelnen Blechen hergestellt werden wegen Wirbelströme. Wegen dieser Herstell. aus Blechen ist es einfacher wenn einen glatten Anker zu haben.

Theorie der Wechselstrommaschine

Liegt Schnitt A B dem Max. der Kraftlinienzahl.



Kraftlinienzahl zu einer Zeit t ist (angenommen)

$$R = K \cos \frac{2\pi t}{T}$$

So also 2 Spulen eine Spule hat 2 Windungen

Elekt. Kraft einer Spule — elekt. Kraft einer Windung

$$\mathcal{E} = \mathfrak{L}_1 \frac{dK}{dt} = \mathfrak{L}_1 \frac{2\pi}{T} K \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$\mathfrak{L}$ ganze Induktionskonstante

$$e = \mathfrak{L}\mathcal{E} = \mathfrak{L}\mathfrak{L}_1 \frac{2\pi K}{T} \sin \frac{2\pi t}{T}$$

Amplitude der elek. Kraft. $a = \mathfrak{L} \frac{2\pi K}{T}$

Effektive elekt. Kraft

$$E = \frac{1}{2}\sqrt{2}\, \mathfrak{L} \frac{2\pi K}{T}$$

$$\boxed{E = 4{,}44\, N \mathfrak{L} K \cdot 10^{-8} \text{ Volt}}$$

$$c = \frac{\text{Effekt. El. Kraft}}{\text{Mth. El. Kraft}} = \frac{\frac{a}{2}\sqrt{2}}{\frac{2}{\pi} a} = \frac{\pi}{4}\sqrt{2} = 1{,}1$$

Verhält. c nennt man Formfaktor

Elekt. Kraft $E = 4c$.

Es befinde sich im Inneren: äußeren Stromkreis Selbstinduktion. $\mathfrak{L}$ sei der ganze Selbstinduktionskoeffizient, W ganzer Widerst. $\mathfrak{L}_a$ der Selbstinduktionsk. des Inneren, W_a Widerst. des Inneren, dann ist Strom

$$J = \frac{E}{\sqrt{W^2 + 4\pi N^2 \mathfrak{L}^2}}$$

Wirkl. Arbeit geht wenn Wechselstromgenerator (Alternator)

$$J R \cos\varphi$$ φ Phasenwinkel

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi N L}{w}$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{4\pi^2 N^2 L^2}{w^2}}}$$

somit ein gesetzt

$$N_e = \frac{(4{,}44\, N Z K 10^{-8})^2}{\sqrt{w^2+4\pi^2 N^2 L^2}} \cdot \frac{w}{\sqrt{w^2+4\pi^2 N^2 L^2}}$$

$$\underline{\left(N_e = \frac{w\,(4{,}44\, N Z K 10^{-8})^2}{w^2+4\pi^2 N^2 L^2} \right)}$$

Wie ändert sich J mit w

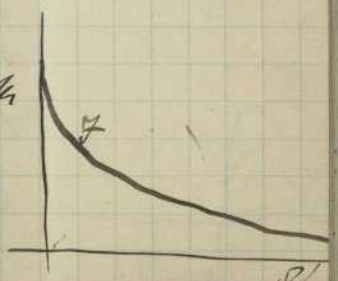
bei w = 0 dann ist Kurzschlussstrom:

$$J_{w=0} = \frac{E}{2\pi N L} = \frac{\pi\sqrt{2}\, N Z K 10^{-8}}{2\pi N L}$$

$$= \frac{Z K 10^{-8}}{\sqrt{2}\, L}$$

Dieser Strom ist unabhängig von Tourenzahl N wo wird nur Phase je grösser Selbstinduktion L.

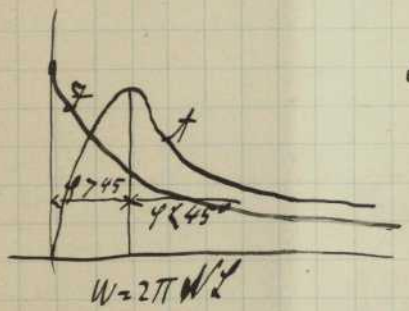
Wird so weiter charakterisiert so bricht man neben nebenstehende Kurve Wird Wechselstrom Kurz geschlossen geht die Leerlaufspannung aber stabil o d. h. sie geht durch



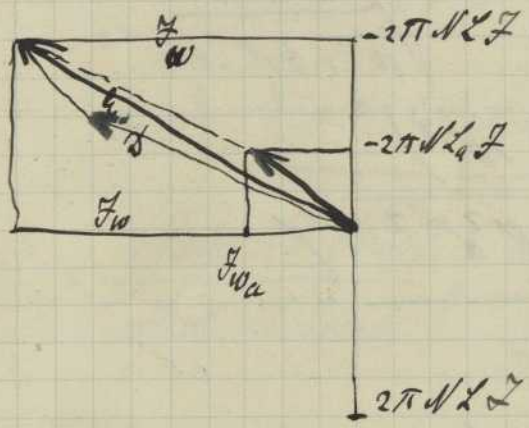
einem bestimmten W entspricht ein Max der Arbeit d.h. W ist

$$W = 2\pi N L$$

Man hat folgende Arbeitskurve. Für den Phasenwinkel $\varphi = 45°$ ist Arbeit ein Max. Im Bereich findet mir abfallender Zeit die kürzere Verwendung d.h. für einen Winkel $< 45°$.



Wechselstromdiagramm oder Vektordiagramm

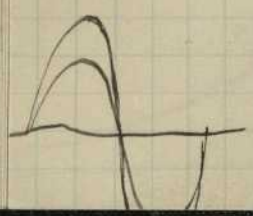


E ist Diagonale eines Parallelog. dessen eine Seite ZW u die andere $-2\pi N L Z$. Z sei = Effekt. Strom $\perp$ dazu gesamte Selbstinduktion. Die gesamte el. Kraft hat zu heißen ZW_a u muß aufstehen die Komponente $-2\pi N Z L_a$ (Selbstinduktion)

Hieraus kann man im Diagramm d. Kontrolle

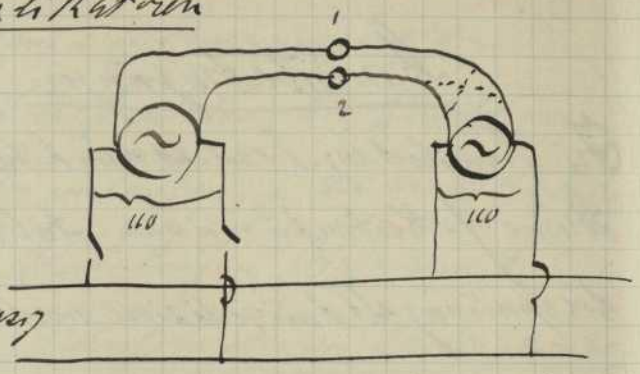
Wie steht es nun mit Parallelschaltung

Ist schwieriger als bei Gleichstromnetz.
Bei Gleichst. hat man nur Spannung gleich machen müssen.
Bei Wechsel. muss Spann. gleich sein ferner müssen Polzahlen gleich sein. 2te Maschine muss eine Welle gleicher



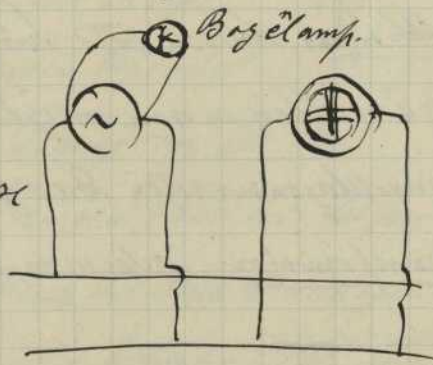
Phasen haben. Um dies zu erkennen dienen die Instrumente

Phasenlampen oder Phasenindikatoren



Man legt 2 Glühlampen zwischen 2 Generatoren herein. In dem Moment in dem die Masch. gleichphasig sind werden die Lampen hell aufleuchten. Arbeiten die Wellen aber einander entgegen so erlischt das Licht. Verwechselt man die Drähte so stellt sich das Umgekehrte ein so dass wenn die Masch. einander gegenüber arbeiten die Lampen hell aufleuchten u. umgekehrt. Bei einer Maschine dreht so erlischt die andere Maschine nicht blos Strom in die Leitung sondern auch in die Maschine. Die Maschine wirkt als Motor bis die Maschinen <u>synchron</u> sind d.h. bis beide Masch. gleiche Tourenzahl besitzen so werden sich selbst synchron machen.

Anstatt den Phasenlampen wendet man auch eine auf der Welle sitzende schwarze Scheibe mit weissem Kreuz an. Man sieht dann das



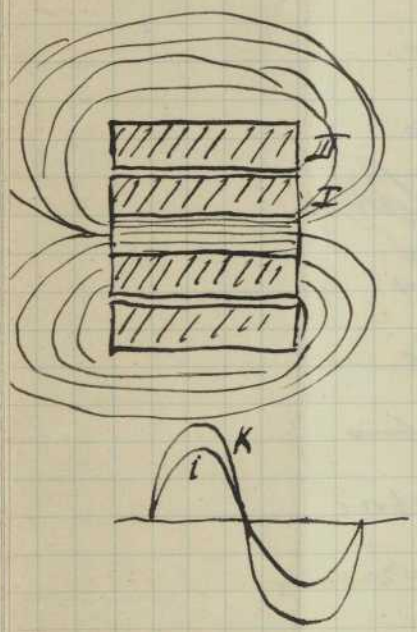
Kreuz nur in dem Momente des Aufleuchtens der Lampe. Tritt nun ein dass Masch. nicht synchron sind so dreht sich das Kreuz

während es sonst immer an ein u. derselben Stelle bleibt.

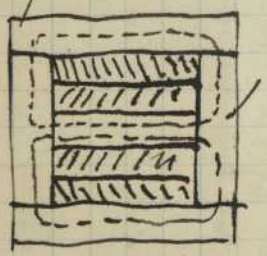
Fernübertragungen

Zu Fernübertrag. braucht man hohe Spann. um nicht zu große Ströme fortleiten zu müssen. An Ort u. Stelle selbst muss die Spannung ab dann reduziert werden. Dies geschieht mittelst

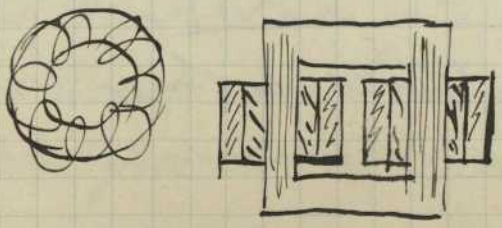
Transformatoren.



I Primärspule II Sekundärspule. In der Primärspule werden veränderliche Ströme geschickt resp. wechselnde abs. dann entsteht im Eisenkern eine veränderliche Anzahl von Kraftlinien. Der Strom magnetisiert entsprechend einem Verlauf; die Kraftlinienzahl K ist der i Kurve phasengleich. Die Anzahl der Kraftl. sind der Größe des Stromes proport. Diese sich verändernden Kraftlinien induzieren in der sekund. Spule einen Strom. Um schon wenige Kraftlinien möglichst kräftig wirken zu lassen u. um möglichst alle Kraftlinien durch II hindurch gehen zu lassen. bieten wir denselben einen möglichst bequemen Weg den sie alle einschlagen werden. Dies gelingt durch folg. Konstr.

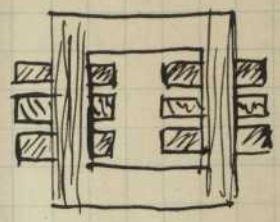


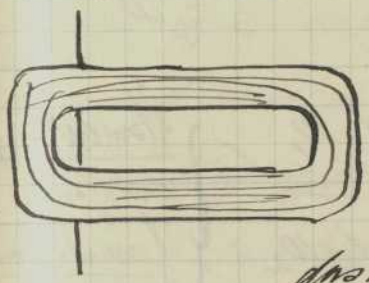
Manteltransformator oder man legt diesen Eisenweg in das Innere der Spulen



Kerntransformator braucht nicht Kreisform zu sein

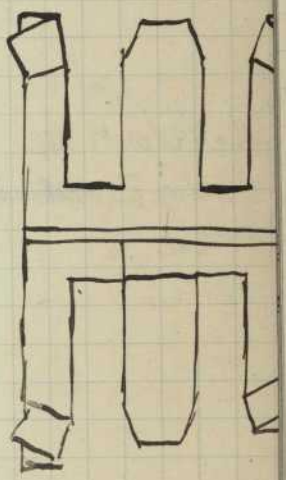
Spulen können auch aus einzelnen Teilen bestehen geringe Streuung
Zipernowsky (Budapest) haben zuerst die Nutzwirkung
des geschlossenen Eisenkreises klar erkannt u. in Praxis eingeführt
Das Eisen muss natürlich aus Blechen bestehen. Die Wirbelströme
würden sich den Strömen der Spulen verlaufen, ⊥ zu diesen Richtung
müssen daher die Bleche laufen (Fingerregel)





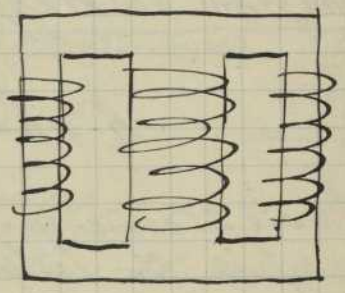
Transformator von Westinghouse.

In die Spulen werden Bleche von nebenstehender Form eingeschlossen
Ein Blech von unten hereingeschoben
das andere " " oben " u. Lappen aufgebogen



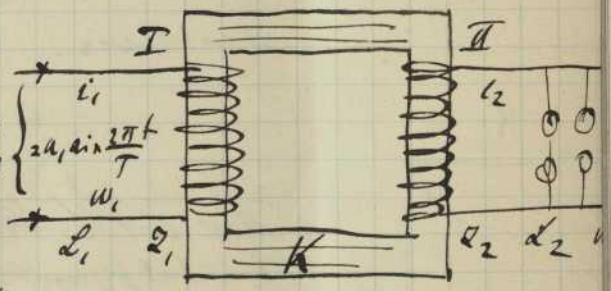
Ähnlich von Crompton u. Kapp.

Dreiphasige Transformatoren.



Vorgänge im Transformator selbst

Nicht blos der primäre Strom magnetisiert sondern
ebenso auch der secundäre u. das Resultat
beider Magnetisierungen ist die Kraft-
linienzahl die sich dann im Eisen befindet.



NB! Bei einem vollbelasteten Transform. ist der
sec. Strom von beinahe entgegengesetzt. Phase mit der primäre Statt
des Stromes tragen wir im Diag. gleich die Amp. Windungen ein
Diese Result. Diagonale ist nun weil ∠ beinahe = 180° sehr klein
Diese result. Kraftl. K wird es allein sein welche das Eisen
magnetisieren

Koeffizient der gegenseitigen Induktion von I in II / bei M. In der Primärwicklung tritt die Selbstind. $-L_1 \frac{di}{dt}$ auf.

<u>Primärkreis</u> $-L_1 \frac{di_1}{dt}$ $-M \frac{di_2}{dt}$ <u>Sekundärkreis</u> $-M \frac{di_1}{dt}$ $-L_2 \frac{di_2}{dt}$.

Somit das Gesetz für Kreis I)

für I $\quad e_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} = i_1 W_1$

W_2 Widerst. der Wicklung II insl. äußerem Widerst.

für II) $\quad -M \frac{di_2}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} = i_2 W_2$

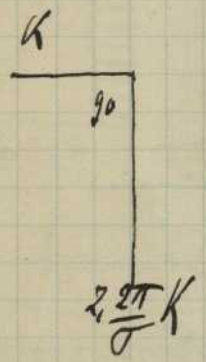
<u>Momentangleichungen der Transformatoren</u> (mit Vernachläss. der Hysterese)

<u>Diagramm von Kapp.</u> Erklärung der Abb. S.

$$K = K \sin \frac{2\pi t}{T};$$ K ist in beiden Spulen Amplitude

Wie sie zusammenhängt das ist vorerst gleich. Man sagt einfach. In beiden Spulen erzeugt K eine Elektromotorische Kraft in der primären u. in der sek. Spule e_1 u. e_2 sein:

$$e_1 = L_1 \frac{dK}{dt} = L_1 \frac{2\pi}{T} K \cos \frac{2\pi t}{T}$$

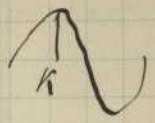


Also die E. Kraft ist um 90° hinter dem Kraftlinienzahl / Elektronen die zum Ist. e hat gegenüber K eine Phasendifferenz von 1/4 Wellenlänge.

$$e_2 = L_2 \frac{dK}{dt} = L_2 \frac{2\pi}{T} K \cos \frac{2\pi t}{T}$$

e_1 u. e_2 sind proportional den Wind. L_1 u. L_2 e_1 u. e_2 unterscheiden sich nur durch L_1 u. L_2 Es ist demgemäss e_1 u. e_2 gleichphasig. e_2 ist auch um 90° den Kraftlinien im Elektroden hinterher

Effektiv Wert der el. Kraft. in einer Spule



$$E_1 = \frac{1}{2}\sqrt{2} \times \text{Ampl} = \frac{1}{2}\sqrt{2} \times Z_1 \cdot \frac{2\pi}{T} K$$

$$= 4{,}44\, N Z_1 K\, 10^{-8}\ V.$$

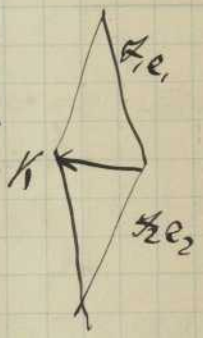
K Geom. Ampl.

$$E_2 = 4{,}44\, N Z_2 K\, 10^{-8}\ \text{Volt}$$

Man hat bei einem Transform. ideal Amperewindungssymbole

$$J_1 Z_1 = J_2 Z_2$$

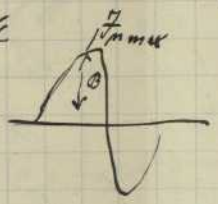
Jetzt nun dieselben zusammen. Es erhält man das resultierende Amperewindungssystem. Dieses erzeugt die Kraftlinien.



Wie gross ist das Magn. Wechselsystem?

μ sei Permeabilität des Eisens. Induktion sei B.

B sei Maximale Induktion. Der magnetisierende Strom der Kraftlinien erzeugt sei $J_{\mu max}$



l Länge der mittl. magnet. Wickelung

Man erhält von der Spule in der Länge l ein magn. Feld.

$$H = \frac{\frac{4\pi}{10} J_{\mu max} Z_1}{l}$$

$$B = \mu H = \mu \frac{\frac{4\pi}{10} J_{\mu max} Z_1}{l}$$

Effektive Strom $J_\mu = \frac{1}{2}\sqrt{2}\, J_{\mu max}$

$$J_{\mu max} = \sqrt{2}\, J_\mu$$

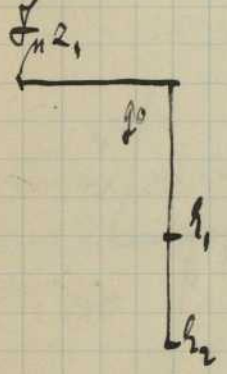
$$B = \frac{\mu \cdot 0{,}4\, \pi \sqrt{2}\, J_\mu Z_1}{l}$$

somit Amperewindungszahl die die Kraftlinien erzeugt

ist:

$$\underline{J_n \mathfrak{L}_1} = \frac{Bl}{n \cdot \pi\, 0{,}4\sqrt{2}} = \underline{\frac{Bl}{1{,}78 \cdot n}}$$

Nun ist folgendes bekannt. Anstatt der Strahl. K berechnet man $J_n \mathfrak{L}_1$ in ⊥ Lage stehen $\mathfrak{L}_1$ in $\mathfrak{L}_2$



Klapp fand für n folg. Zahlen

$B = 2000$ Ampw. $n = 1300$

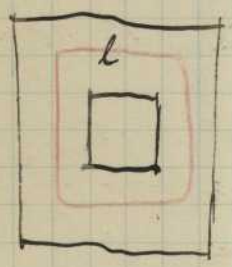
$B = 3000$ $n = 1920$

$B = 4000$ $n = 2070$

$B = 5000$ $n = 2330$

$B = 6000$ $n = 2570$

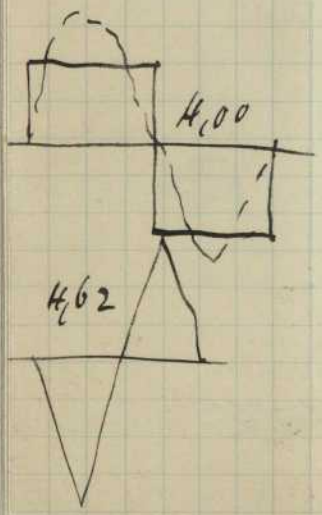
$B = 7000$ $n = 2780$



Es ist.

$$\mathfrak{L}_{1\,2} = 4{,}44\, N \begin{matrix} \mathfrak{L}_1 \\ \mathfrak{L}_2 \end{matrix} K\, 10^{-8}$$

Dies gilt nur für Linienströme. Nun geben aber die wenigsten unserer Maschinen Linienströme. Hat man rechteckige Form der Span. oder Erregerwicklung so ändert sich nur der Faktor 4,44 in etwas wird er hier 4,00 bei spitzer Form 4,62.



<u>Verluste eines Transformators</u> die eine Temperaturerhöhung bedingen bezieht. richtet sich natürlich wieder nach der Ausstrahlungsfläche

Stromwärme $J_1^2 w_1$ $J_2^2 w_2$ = für große Stromstärken und niedre Cyklezahl N zeigt sich:

Strom drängt infolge der Induktion nach außen rein fließt kein Strom so wird scheinbar der Widerstand des Stromes erhöht.

Effektverluste durch Hysterese u. Wirbelströme (nach Kapp)

Blechdicke 0,4 – 0,6 N = 100

B =	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	
Mittelgutes Eisen	0,3	0,6	1,1	1,7	2,4	3,2	4,1	Watt/kg pro kg Eisen
Sehr gutes Eisen	0,2	0,5	0,8	1,25	1,8	2,5	3,2	"

Verluste prop. der Cyklezahl N

Verluste durch Wirbelströme

So werden Bleche verwendet von einer Stärke 0,35 – 0,5 mm N = 100 – 50 (Cyklezahl N)

Nähme man diese Bleche so stand Verluste von keinem Einfluss. Wirbelstrom verlust

$$V_w = \varepsilon \mu V N^2 B^2 10^{-7} \text{ Watt}$$

μ Leitungskoeffizient
V Volumen
N Cyklezahl
B
ε Wirbelstromkoeff.

$$\varepsilon = \frac{\pi^2 d^2}{6} = 1{,}645 d^2 \text{ für Blechscheiben.}$$

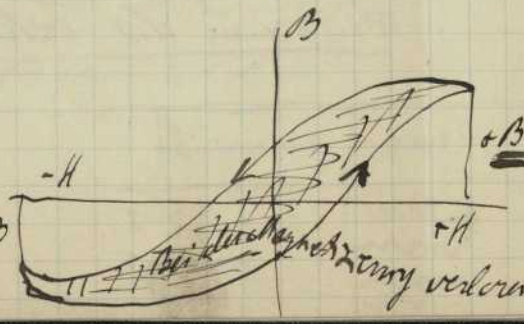
ε wächst prop. der Scheibendicke d.

Jedoch die Temp. desto schlechter leitet das Eisen

$$\mu = 10^5 \frac{1}{\text{Ohm} \times \text{cm}}$$

Hysteresiverluste

$$V_h = \eta V N B^{1,6} 10^{-7} \text{ Watt}$$

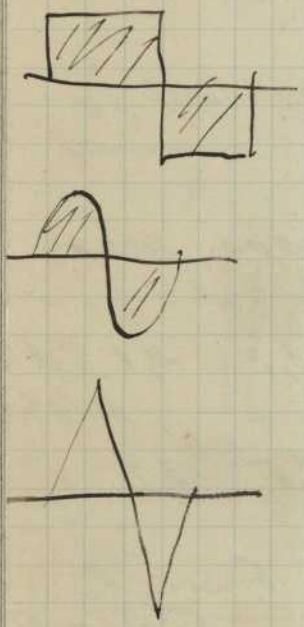


$\eta = 0{,}0033$ für mittelgutes Eisen

Zerg verlorene Arbeit

130 dem Hzm = 1 Hz.

Ist der Hysteresis- oder Wirbelstromverlust noch abhängig von der Stromform?



Es muss notwendig der Hysteresisverlust abhängen von der Form. Bei einer flachen Form ist Verlust größer als bei Sinusform u. dementsprechend geringer bei Spitzform. Man wählt daher bei kleinen Anlagen eine Spitzform anstreben, um Verlust möglichst gering zu erhalten.

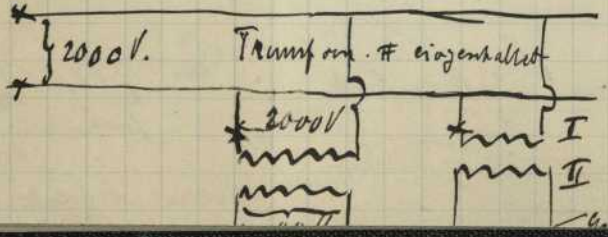
Nur muss Wärme nach außen abstrahlen.

Man wird nie über 60° hinausgehen. Es hängt natürlich von der Umgebung des Transf. ab.

Erwärmung von Transf. nach Hopp

Abstrahlungsfläche in qcm / Effektverlust in Watt	= 15	20	25	30	35	40	46	50	55	60
in Kasten ohne Öl	= 88°	76	67	61	55,5	51,5	47,5	44	41	38° C Erwärmung
" " " mit Öl Erwärmung	= 62°	55	49	45	42	38	35	33	31	25,5

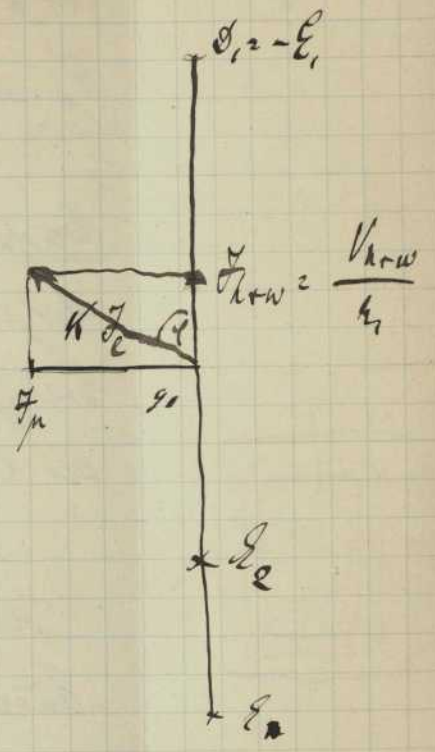
Diagramm des belasteten Transformators.



J_1 Primärspan. des noch belasteten Transf.

J_e Leerlaufstrom des Primärteile

J_2 Span. der Sekundärwelle. Der Transf. braucht eine Leerlaufarbeit da er nicht umgeschaltet wird.



<u>Wie groß ist der Leerlaufstrom?</u>

Die Verluste in I und II werden klein sein. Denkt man sich keine Verluste vorhanden R_1 und R_2 und die Lüfte die in den Spulen entstehen so ist dann der Strom

$$J_\mu = \frac{B\,l}{1{,}78\,\mu\,z}$$

Amperwindungszahl die K schafft

$$J_\mu\, l = \frac{B\,l}{1{,}78\,\mu}$$

J_μ ist Strom der magnetisiert / braucht also keine Arbeit / u. zwar um 90° versetzt.

So muss man keine Verluste $J_1 = E_1$

Nun muss aber Hysteresearbeit geleistet werden dafür braucht man einen Strom J_{h+w} der als Komponente im Diagramm aufgetreten werden kann

So muss daher ein Strom J_c in den Transformator geschickt werden der sich als Resultante der Ströme J_μ u. J_{h+w} ergibt. Der Strom steht also nicht mehr $\perp$ sondern bildet einen Phasenwinkel φ

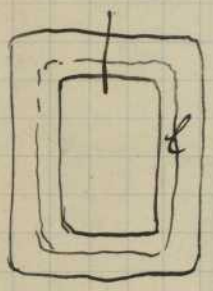
Nun ist:

$$J_{h+w} = \frac{V_{h+w}}{R_1}$$

V_{h+w} Gesamtverluste des Transformators

Der Leerlaufstrom besteht aus den beiden Komponenten J_μ u. J_{h+w}.

<u>Beispiel.</u> Man habe einen 12 Kilo Watt Transformator. Die primäre Sp. sei 2000 Volt. Die secund. Sp. 100 V. Eisengewicht des Transf. 200 kg. Mittlere Länge sei $l = 140$ cm. $B = 5000$ $\mu = 2330$.



$N = 50$ R_1 und R_2 unterscheiden sich nur durch den Spannungsverlust

Querschnitt sei f. spez. G. 7,8. Wie gross ist z_1

$$f^{qcm} \cdot l^{cm} \cdot 7{,}8 = 200$$

$$f = 184 \text{ qcm}$$

Ganze Kraftlinienzahl die in dem Eisen fliesst

$$K = 184 \cdot 5000 = 920000$$

So ist somit

$$E_1 = 4{,}44 N z_1 K 10^{-8}$$

$$2000 = 4{,}44 \cdot 50 \cdot z_1 \cdot 920000 \cdot 10^{-8}$$

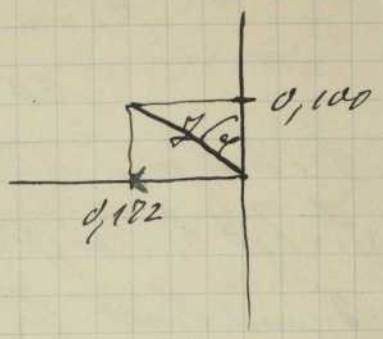
$$\underline{z_1 = 980}$$

$$J_\mu = \frac{5000 \cdot 140}{1{,}78 \cdot 2330 \cdot 980} = 0{,}472$$

Verlust ist 2,000 Watt pro Kilo u. 100 Cycles

somit für 50 Cyklen 1,000

Es ist somit Hysteresiverlust:



$$V_{h+w} = 200 \text{ Volt}$$

Es ist somit

$$J_{h+w} = \frac{200}{2000} = \underline{0{,}100} \text{ Amp}$$

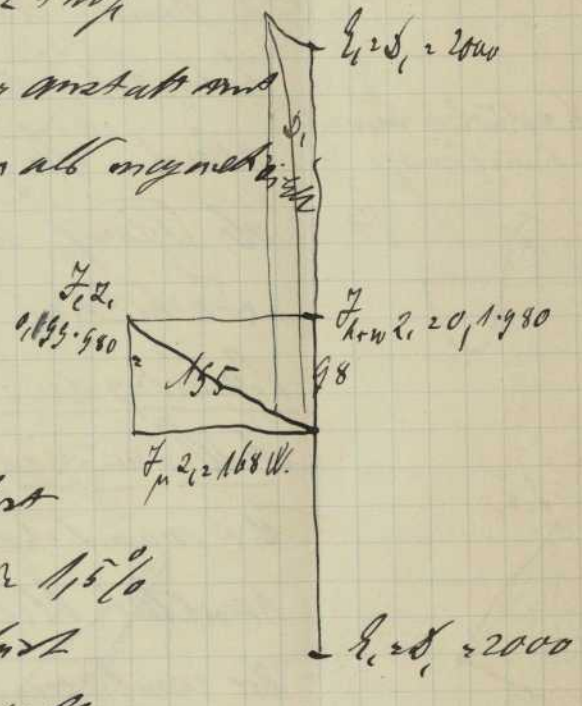
Um nun Tangente des Winkels zu bestimmen

$$tg\,\varphi = \frac{0{,}172}{0{,}100} \quad \varphi = \sphericalangle\, 60^\circ$$

Leerlaufstrom

$$J_l = 0{,}199 \text{ Amp.} = \sphericalangle\, 0{,}2 \text{ Amp}$$

Zeichnet man das Diagr. von vorem aber anstatt mit Strömen mit Amp Wind dann erhält man als magnet. Amp Wind. 168 W.



Hyster. & W. 98 W.

Gesamtwatt $0{,}199 \cdot 980 = 195$ W.

Man kann bei Transf. den Spannungsverlust wählen so daß bei primär Wirk. aus 1,5 %

ebenso bei sek. 1,5 % somit Verlust

bei Vollbelastung 1,5 % von 2000 = 30 Volt

1,5 von 100 = 1,5 Volt

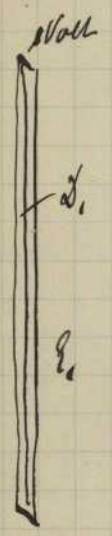
Der Transf. muß 12 Kilowatt aufn. also

$$\frac{12000}{2000} = 6 \text{ Amp}$$

$$J_{1\,max} = 60\,A$$

$$J_{2\,max} = \frac{12000}{100} = 120\,A$$

$$30\,\frac{6{,}2}{6{,}0} = 1\,\text{Volt Verlust}$$

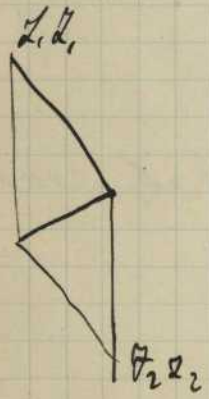


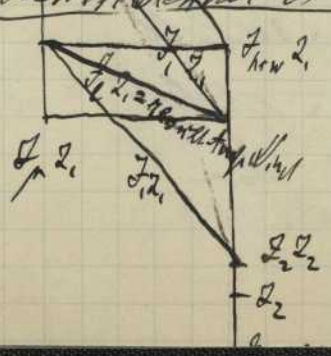
Wie kann man Klemmenspannung finden wie sie wirklich ist. Sie hat E_1 das Gleichgew. zu halten. Man kann aber J_1 mit Recht bei Leerlauf $= E_1$ setzen.

Nun wird Transf. belastet.

J_1 bleibt von der Leitung konstant erhalten dann wird E_1 um 1,5 % weniger sein. Doch ist Unterschied ganz. Man sieht daher die Lösung so an daß man E_1 als konstant ansieht. Ist E_1 konst. dann E_2 konstant ist etwas gleichgültig ob Transf. belastet oder entlastet ist. Das K bleibt dann auch gleich. In ihm ist die Kraftlinienzahl dieselbe ob Transf. belastet oder entl. ist. D.h. aber Induktion B nicht konstant. Bei jeder Belastung des Transf. bleiben die magnetisierenden Amperewindungen konstant. $J_{kow}\,z_1$ bleibt auch die nämliche. D.h. das gesamte Magnetisierungsresultat bleibt dasselbe ob Transf. bel. oder nicht. Die resultierenden A.Wind. für jeden Transf. ist konstant.

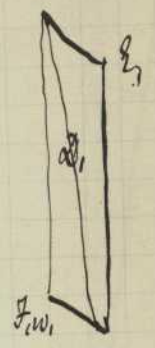
K natürlich variiert sinusförmig





Angenommen man entnimmt J_2 v. der Strom ist ~~induktionslos~~ phasengleich mit Lst. bei Belastung induktionslos

Man hat jetzt J_1 nach Größe u. Richtung



Die Klemmenspannung hat E_1 das Gleichgewicht zu halten u. Spannungsverlust in der primären Rolle zu decken. Man trägt daher auf der Richtung $J_1 Z_1$ $J_1 W_1$ auf. Setzt $J_1 W_1$ u. $-E_1$ zusammen so erhält man primäre Klemmenspann. J_1 nach Größe u. Richtung. (Rasche Aufz. vorh. / Fig)

Zum Aufzeichnen ist es vorteilhaft verschiedene Maßstäbe anzuwenden für E_1 u. E_2 da in einem Maßstab E_1 u. E_2 so verschieden ist

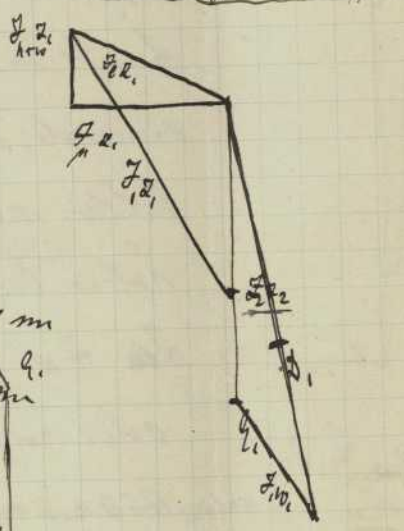
Man nimmt

$$E_2 = \frac{E_2}{Z_1} E_1$$

Wählt man bei E_1 0,5 mm für 1 Volt $E_1 = 500$ mm

u. bei E_2 2 mm = 1 Volt $E_2 = 200$ mm

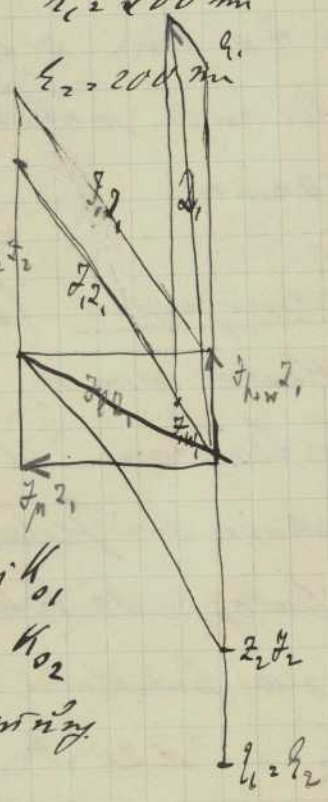
So ist nun somit $E_1 = E_2$

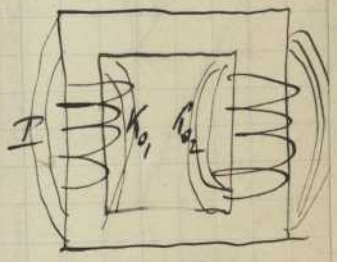


<u>Richtung</u> des Diagramms.

Es ist

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$ Der keine Streuung vorhanden ist





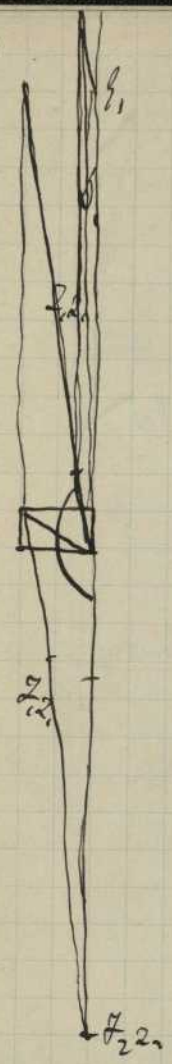
Streuungs Kraftlinien der prim. Rolle sei K_{01}

" " sekund. " K_{02}

Man sieht nun aber ab von der Streuung

dann gilt $\frac{E_1}{E_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$

Da nun die Spannungsverluste sehr klein sind so wird sich auch



verhalten $\frac{J_1}{J_2} = \frac{z_1}{z_2}$

Bei voll belasteten Transformatoren wird

$$J_1 z_1 = J_2 z_2$$

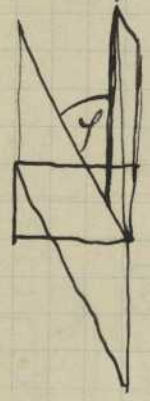
$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Bei stark belast. Transf. verhalten sich die Ströme umgekehrt wie die Windungszahlen

Es ist in dem Augenbl. Primärstr. u. sek. Strom nahezu einander entgegen gerichtet da ∠ zwischen $J_1 z_1$ und $J_2 z_2$ bildet nahezu 180° wird. Primärspan. u. Primärstr. haben bei voller Belast. die Phasenverschiebung 0.

Das $J_1 w_1$ Dreieck ordnet J_1 ob Transf. belastet oder nicht nahezu ⊥ auf E_p u. fällt mit E_1 nahezu zusammen.

$J_1 z_1$ + uns (E_1, J_1)
∠ $J_1 z_1$ = 0
somit cos $J_1 z_1$ = 1
bei Vollbelastung.



$E_1 J_1$ + uns J_1
$E_1 J_1$ = 12 000 Amp.

<u>Wirkungsgrad</u> (letztes Beispiel)

Entlastet man d. Transf. so sinkt der Wirkungsgrad aber langsam. Wie kann man rasch den W. Grad berechnen bei jeder Belastung?

Belastung	12 KW	8	4	1,2 KW
Wie gross sind dabei die Ströme				
J_2	120 A.	80	40	12 Amp.
J_1	6 A.	4	2 nicht mehr genau richtig, es nicht mehr	0,6 A.

Es ist hier
J_1 2000 uns = 4000
J_2 4000

J_1 2000 uns = 4000
J_2 4000

Verlust im Niederspannungskreis. 120 × 1,5

Verlust 1,5 %
d.h. 30 Volt in
n: 1,5 V. in Sek.

180 Watt 80 × 1 40 × 0,5 12 × 0,15
80 20 2 Watt

Im Hochspannungskreis

6 × 30 4 × 20 2 × 10 0,6 × 3
180 80 20 2

Stromwärmeverlust
360 160 40 4

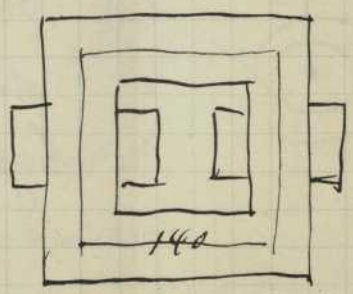
Hysterese u. Wirbelströme. 200 Watt
200 200 200 200

Gesamtverlust
560 360 240 Watt 204

in %
$\frac{560}{12000}$ = 4,7 % 4,5 % 6 % 17 %

Wirkungsgrad
95,3 % 95,5 % 94 % 83 %

Wie hoch wird die Temp. des Trafos.
Wir brauchen die wirksame Oberfläche
Man hat die gesamte Eisenoberfl. zu nehmen
Kühlschlitzen Luftzutritt
Oberfl. 140 · 54 qcm = 7560 qcm
Tatsächlich werden es mehr sein.

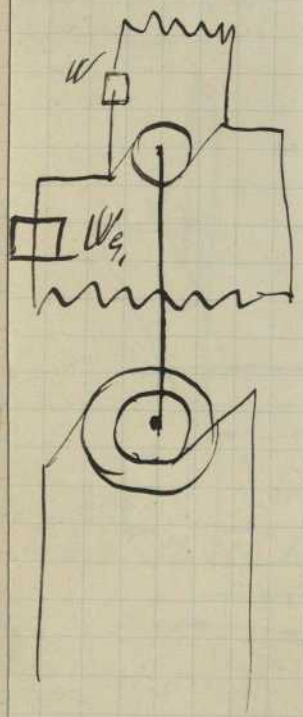


Man hat somit Anzahl pl. für 1 Watt

$$\frac{75 \cdot 60}{560} = 13{,}5 \text{ gem.}$$

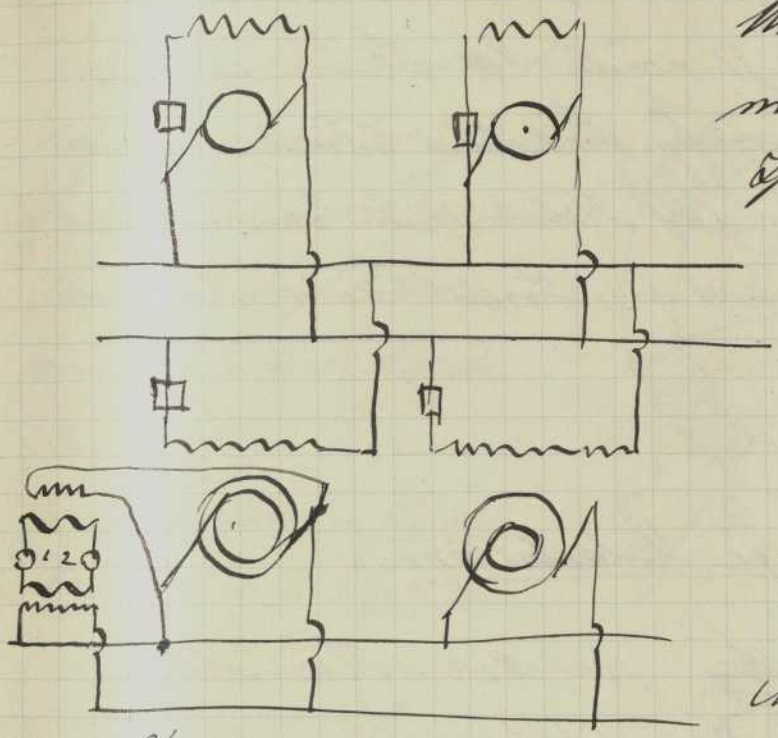
Dem entspricht nach Tabelle 65° für Inpfstärke
Auch die Dauer wird er nicht als 12 HW. Dampf
Dienenkönnen da Temp. oeken sehr hoch. Be-
findet es sich in einem Maschinenhaus so wird
er kaum als 10 HW. Dampf verwendet werden
Verwendet man den Dampf nur für Glühlampen
so wird Spannung höher sein als wenn Motoren betrieben
werden.
Sowohl durch Steuerung als durch induktive
Belastung wird der Spannungsabfall vergrössert.
Man will daher im Motorenbau mit Transformatoren
kurzen Ankern mit geringer Steuerungsoberfläche.

<u>Wie kann Spannungsabfall vermieden werden?</u>



Wechselstrommaschinen werden durch Gleichstrom
erregt werden. Auf der Achse der Maschine sitzt
der Gleichstromerreger. Das spart nicht notwendig
Braucht man höhere Span. so wird Strom in der
Erregerwicklung stärker werden u. dies geschieht
durch Verkleinerung des Nebenschlusswiderstandes
Es hat sich herausgestellt dass nicht ganz praktisch
ist nur durch W_g zu regulieren sondern auch noch
durch einen Hauptschlusswiderstand W_{g_1}

Hat mehrere Maschinen so läßt man Gleichstrommasch in Serienschaltung einen Strom erzeugen und den Wechselst. ab. den Strom entnehmen läßt.

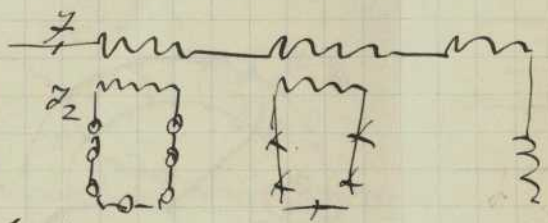


1 u. 2 Phasenlampen

Um Masch. zu synchronisieren müßte man bestehen Spann. viele Phasenlampen anbringen. Hier benützt man dann den Transformator dann kann man wieder mit 2 Phasenlampen auskommen.

Man setzt sich die Spann. durch Maschtransform herunter

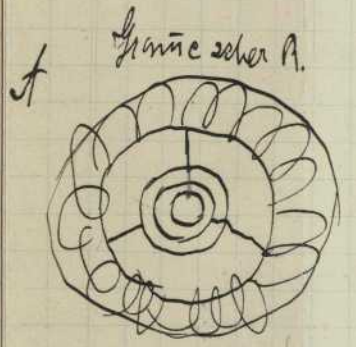
Nun ist man aber bei Schaltung der Transf. nicht an Parallelschaltung gebunden. Man kann auch hintereinander schalten. Bei Parallel. Schalt wird Spann konstant bleiben. Während bei einem Hintereinanderschaltungssystem der Strom J konstant erhalten werden muss. Hier ist Regulierung besser denn ist J_1 konst dann ist J_2 konstant. Bei Nichtgebrauch einer Transf. bei kürzeren Leit muss Transf kurz geschlossen werden



dient wird Transf. zerstört.

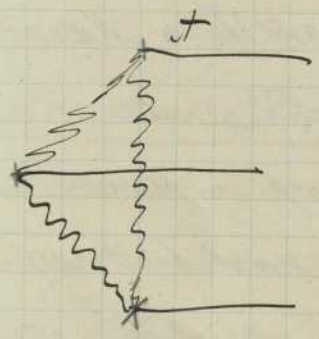
Bei Wechselstrom sind Eisenschiene nicht zu gebrauchen. Ebenso dürfen keine Eisenbänder in Stabeln benutzt werden da Ströme entstehen u. Verluste gross werden. Sind die einzelnen Stäbe zu einem Kabel vereinigt dann durch Stabel mit Eisenbändern umhüllt werden da sich hier Induktionsströme wieder auch aufheben.

Mehrphasige Wechselströme

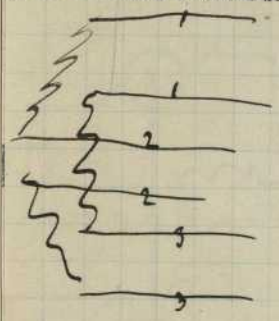


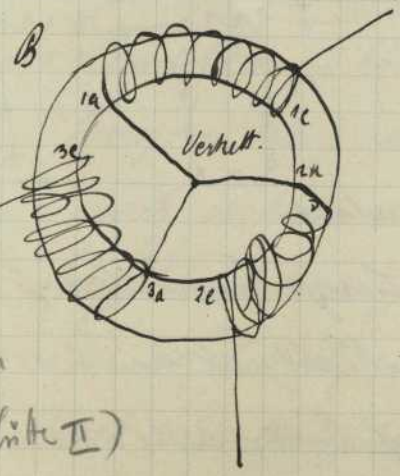
Dreiecksschaltung. Verkettete 3 Phasenschaltung

Maschine A ist in nebenst. Fig. schematisch dargestellt Ring B ist gleichzeitig mit A erhält aber eine andere schematische Darstellung diese Schaltung wird genannt

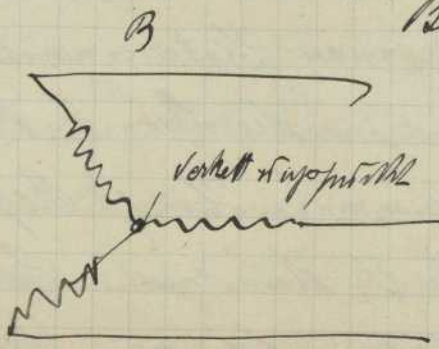


Nicht verkettete Dreiecksschaltung





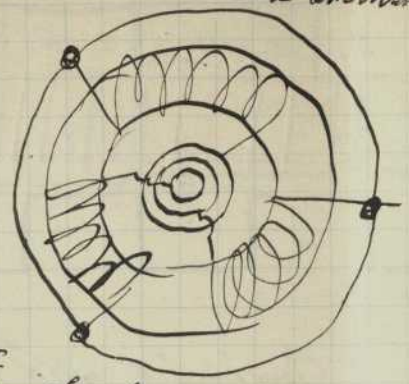
Sternschaltung



Bei praktischen Anwend. handelt es sich nur um Dreiecks- u. Sternschaltung

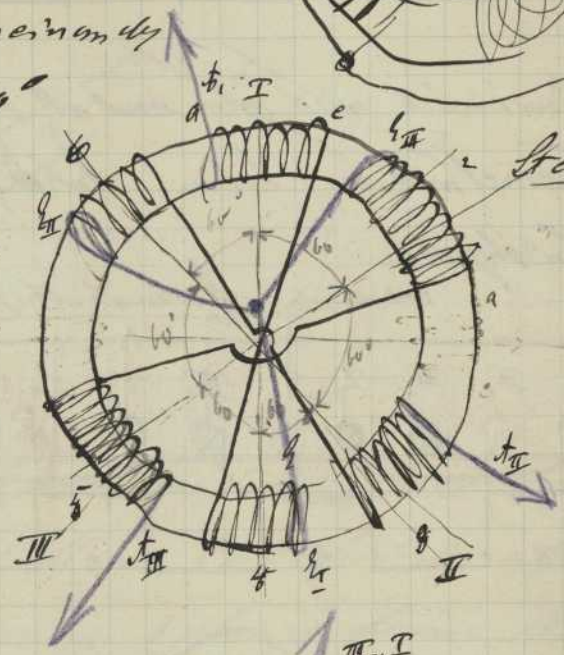
Spulen gleicher Induktion werden verkettet (1. Hälfte II)

andere Sternschaltung.

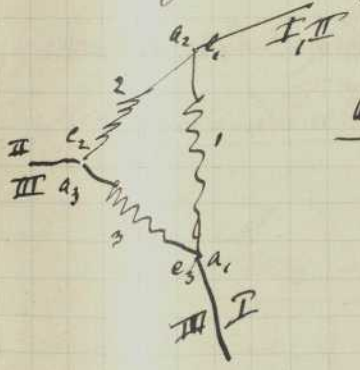


Den Ankerwicklungen kann man noch mit 3 Spulen auffüllen. Man erhält 6 Spulige W. Kehrschaltung. Spulen sind um 60° voneinander entfernt. Phasen um 120° entfernt. Spulen von gleichen Enden werden hintereinander geschaltet. Jetzt kann man die 3 Enden in Reihenschaltung bringen.

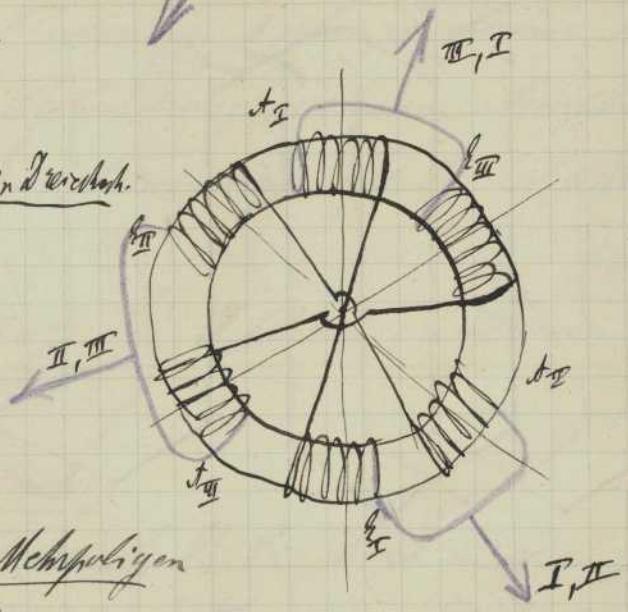
Sternschaltung



Ganze Schaltung in Dreieckschaltung mit 6 Spulen.

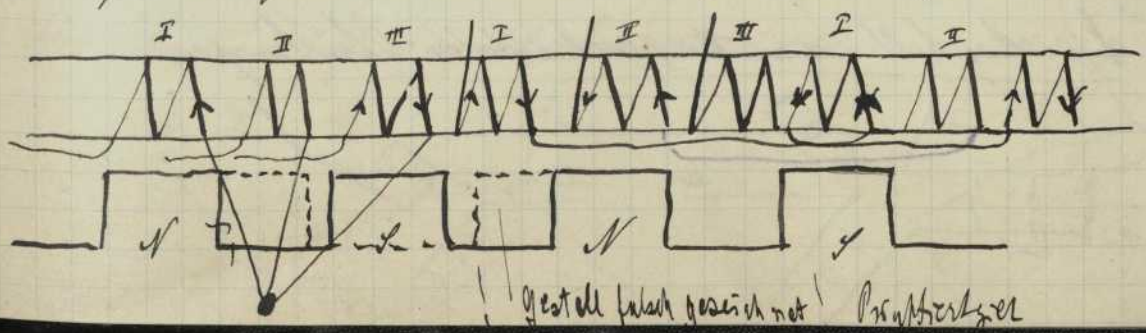


6 Spulen in Dreieck.



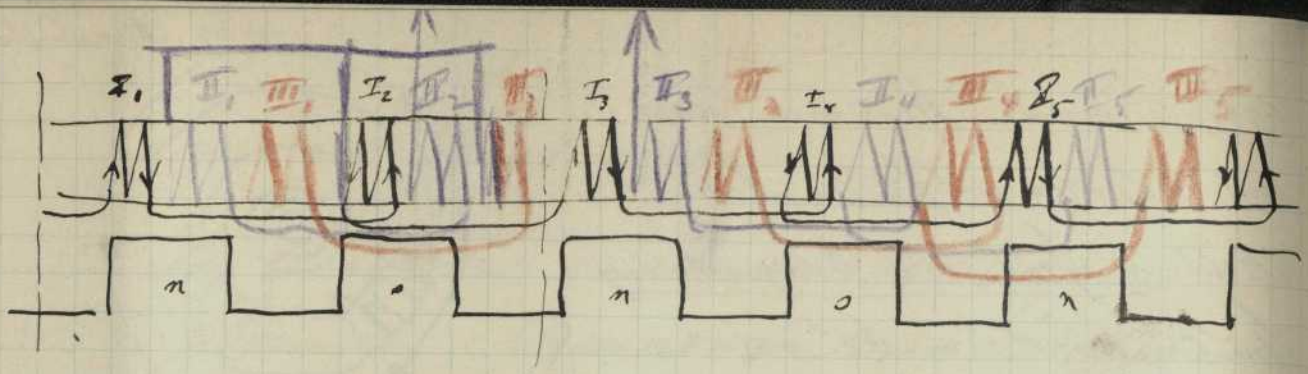
Wie gestaltet es sich bei Mehrpoligen Generatoren die Schaltung?

Prinzip bleibt genau dasselbe wie oben. Generat. sei gerade gestreckt.



Gestell falsch gezeichnet Prüfstellen

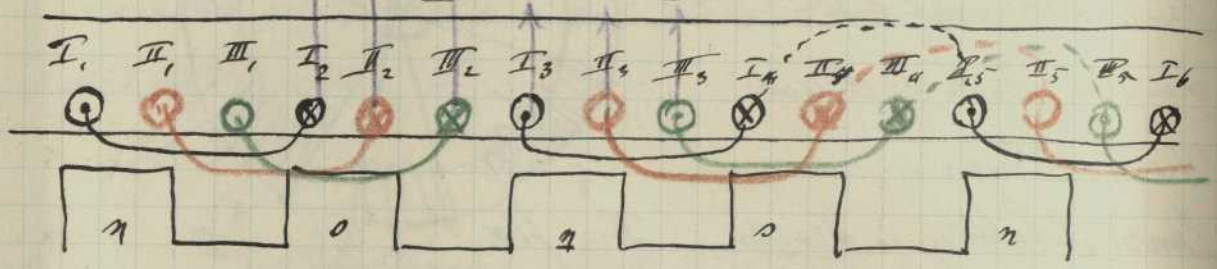
Sternschalt falsch!

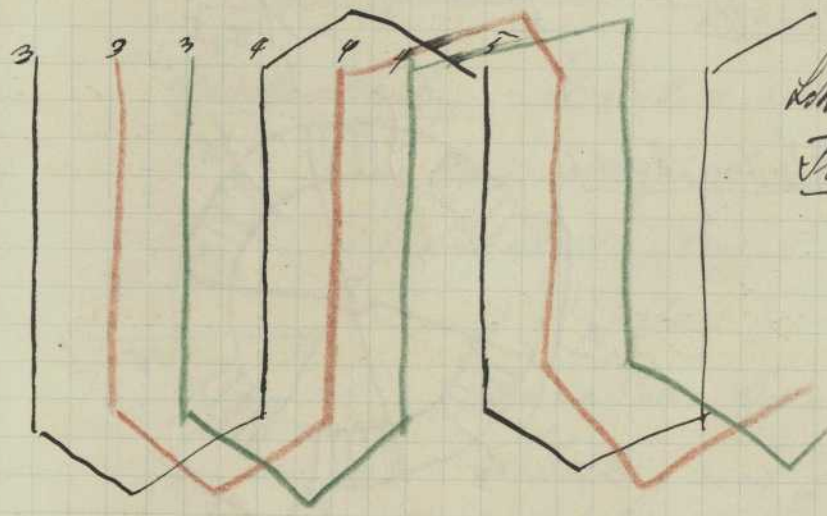


Gewöhnlich wird man anstatt einer Ringwicklung eine Trommelwicklung haben. Anker ist gelacht. wo drückt hin. Ankerjoch.

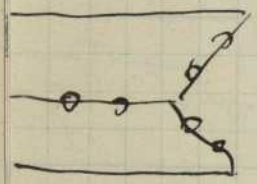
Verkettungsch. Sternschaltung

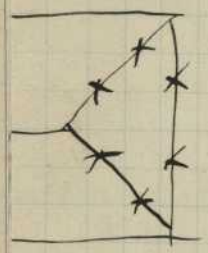
× nach hinten
• nach vorn





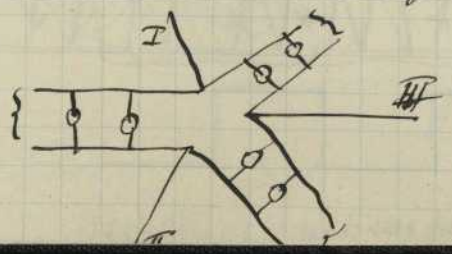
Schemat. Darstell. von Trommelwicklung

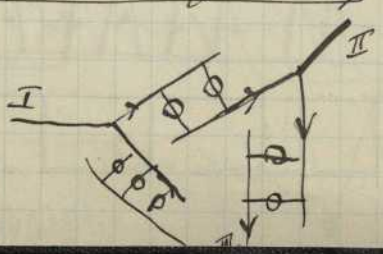




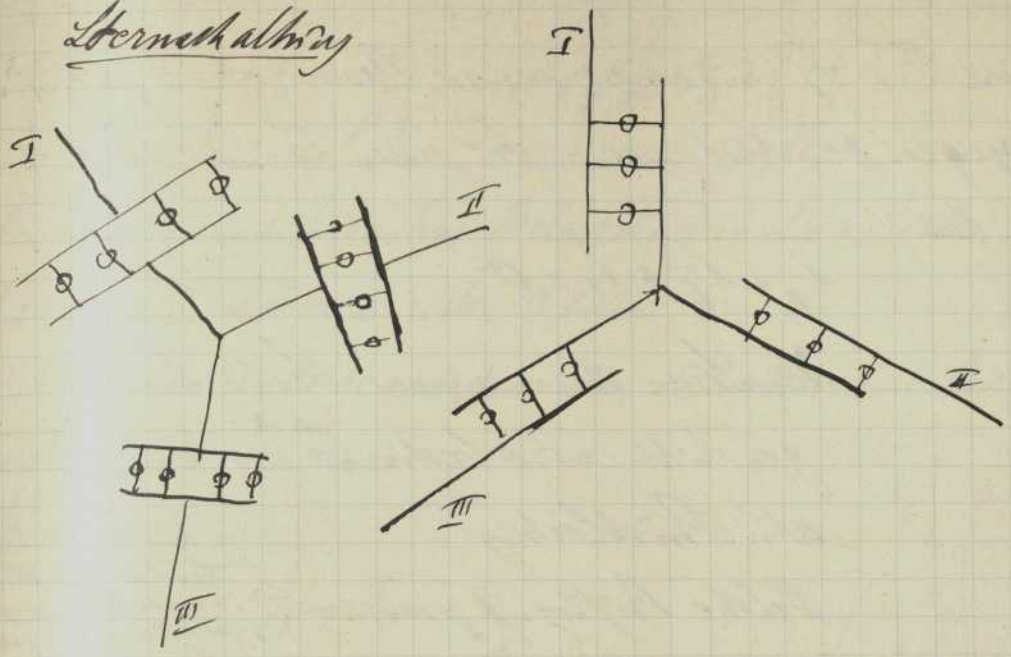
Stromverbraucher

Dreieckschalt. von 3 gesch. abgeben Glühlampen





Sternschaltung

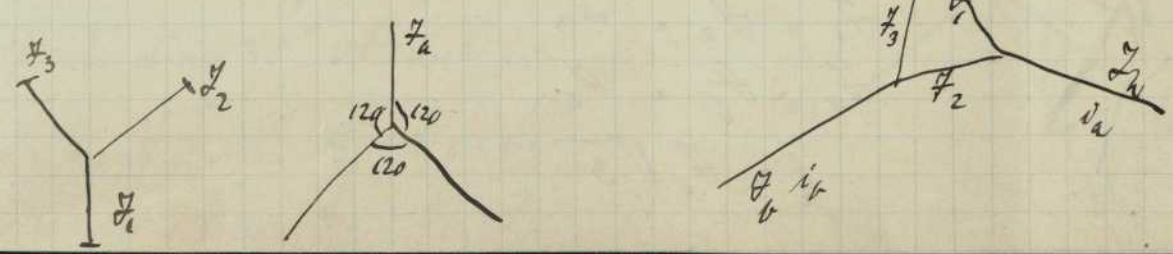


Es ist notwendig dass die 3 Bezirke möglichst gleich belastet werden. Ist dies nicht der Fall so tritt Spannungsdifferenz ein. Man ist nicht gebunden an 3 phasige Ströme. Man könnte auch 6 phasige Wechselströme nehmen. Mehrphasige Strömen in Praxis nicht in Anwendung. 3 ph. St. hat größte Bedeutung

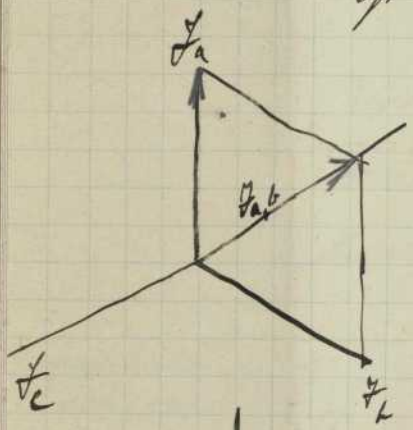
Strom u. Spannung bei 3 phasigen Strömen

Bezeichnung bei Dreieckschaltung

Es mögen die Ströme heißen J_1 J_2 J_3 die alle vier gleich groß. Sind J_1 J_2 J_3 gleich dann auch J_a J_b J_c gleich groß. Wie groß ist J_b u. J_c wenn J_a bekannt ist.
Die Phasen sind um 120° verschieden



Man setzt J_a u. J_b zusammen so muß resultierende gleich u. entgegen gerichtet sein. Für jeden Zeitaugenblick ist dann

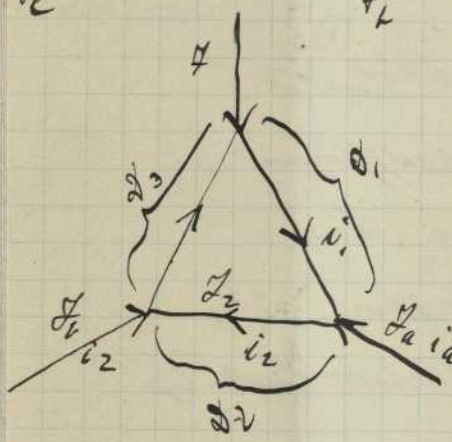


$$i_a + i_b + i_c = 0.$$

Der Strom der in einem Leiter hinzugeschickt wird bedient sich der 2 anderen als Rückleitung

Welche Richtung ist gewählt? Positiv zeichnet man die Ströme die in den Drehrichtungen gegen die Gleichgerichteten gehen

Nach dem Kirchhoffschen ist für jeden Augenblick

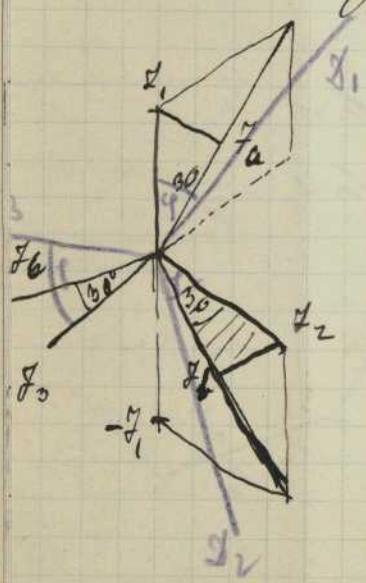


$$i_2 = i_1 + i_a \qquad i_a + i_b + i_c = 0$$

$$i_a = i_2 - i_1 \qquad i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

Was heißt das in Vektorendiagramm?

Es ist J_a Result. aus J_2 u. dem umgekehrten J_1 d.h. $-J_1$. Es geht J_a vorn J_2 voraus um 30° ebenso geht J_b u. J_c voraus J_3 u. J_1 um 30°.



$$J_a = 2\frac{J_2}{2}\sqrt{3}$$

$$= J_2\sqrt{3}$$

$$J_a = 1{,}732\, J_2 = 1{,}732\, J_1$$

$$J_1 = J_2 = J_3$$

$$J_a = J_b = J_c$$

$$J_a = J_1\sqrt{3}$$

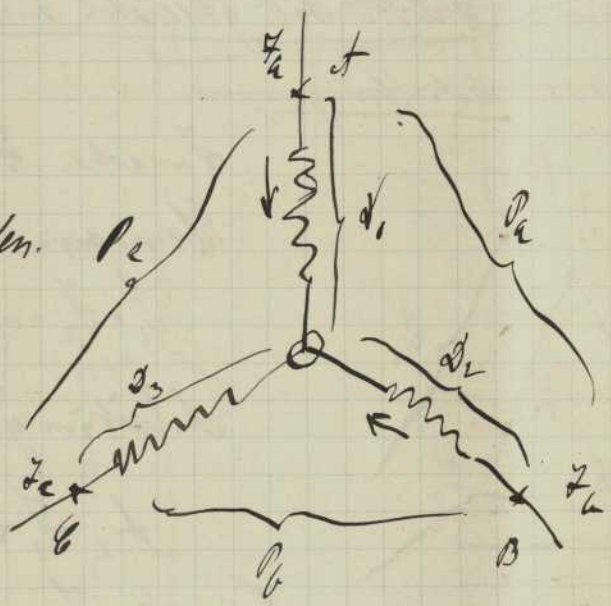
$$\boxed{J_1 = \frac{J_a}{\sqrt{3}} = 0{,}577\, J_a}$$

$\varphi = 0$ wenn induktionslose Belastung in den 3 Leitern

$\varphi = 45$ wenn Motoren in den 3 Leitern

$\cos\varphi = 1$ oder $= 0{,}7$ je nachdem man induktionslose Belastung

mißt.



<u>Sternschaltung</u>

Es sei wieder $J_a = J_b = J_c$

Strom fließt ganz in den Sternarmen.

J_1 Spann. zwischen Verkettungspunkt

u. der Klemme die den Strom J_a

zuführt. Man setzt $J_1\ J_2\ J_3$

<u>Schenkelspannung</u> oder

Spannungen zwischen den Leitern.

seien $P_a\ P_b\ P_c$ (Leitungs- oder Systemspannungen)

Der Abschnitt der Spannung von A ~~über~~ ~~B~~ nach O sei

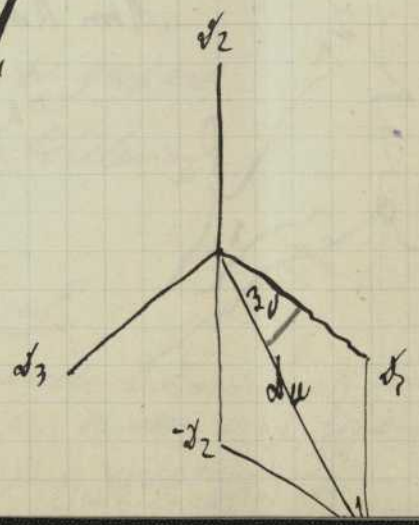
Gegenstück. Ebenso von B u. C nach O.

Wie groß ist Spannungsunterschied zwischen A u. B

Von A nach O hat man durchlaufen Spann. d_1

Von O nach B – d_2 somit

$$d_1 - d_2 = P_a$$



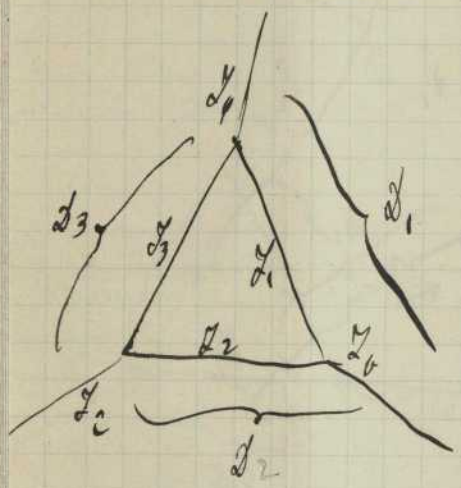
J_1 läuft d_1 um 30° voraus.

$d_a = d_1\sqrt{3}$ $\quad J_1 = J_2 = J_3$

$d_1 = 0{,}577\, d_a$ $\quad J_a = J_b = J_c$

Bei der Δ Schaltung spalten sich die äußeren Ströme bei der Sternsch. spalten sich die ganzen Spannungen des Stromes. Bei Δ Sch. sind Nutzspann. identisch mit den Leiterspann. Bei Stern Sch. sind Ströme identisch mit den Strömen in den Stern Leitern.

Arbeit die geleistet wird in den 3 Leitern des Δ in Stern Schaltung.



Zwischen J_1 u. J_2 zwischen Phasen winkel φ

Ebenso zwischen S_2 u. S_3 $\quad J_a$ leicht messbar

$J_1 = J_2 = J_3 \quad J_a = J_b = J_c$ dagegen J_c nicht

Arbeit im ganzen Δ

$$A = J_1 S_1 \cos\varphi + J_2 S_2 \cos\varphi + J_3 S_3 \cos\varphi = 3 J_1 S_1 \cos\varphi$$

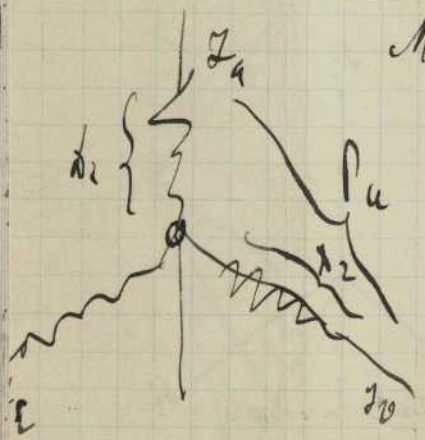
Nun ist $J_a = 1{,}732 J_1 \quad J_1 = 0{,}577 J_a$

Je mehr man induktive Belast. desto mehr nimmt sich $\cos\varphi$ zu nimmt den 0,7

somit

$$A = 3 \frac{\sqrt{3}}{3} J_a S_1 \cos\varphi = 1{,}732\, J_a S_1 \cos\varphi$$

Arbeitsleistung bei Sternschalt.



Man kann Leitungsspannung gut messen

$J_a = J_b = J_c \quad S_1 = S_2 = S_3$

$$A = 3 J_a S_1 \cos\varphi$$

$$S_1 = 0{,}577\, P_a$$

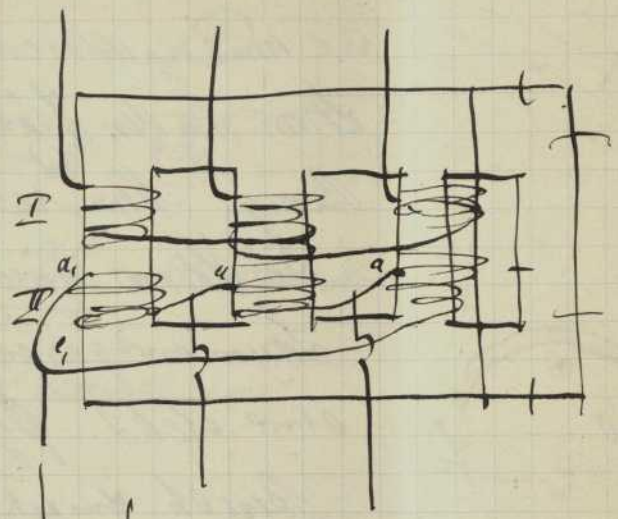
$$A = 3 J_a \frac{\sqrt{3}}{3} P_a \cos\varphi = J_a P_a \sqrt{3} \cos\varphi$$

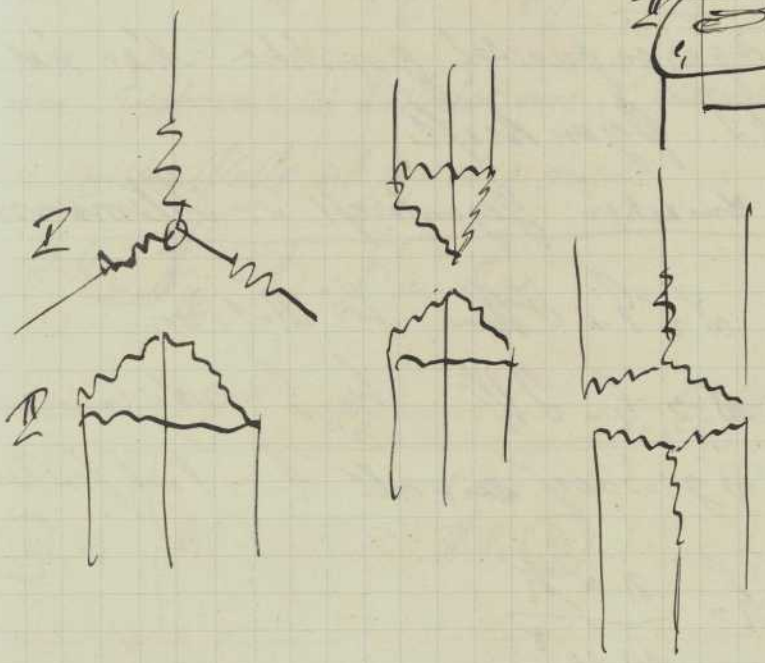
beide A gleich

Das gleiche gilt auch für Stromverzweigungen.

3 Phasige Transformatoren.

bestehen aus 3 einphasigen Transf.
Schalt. wie neb. Fig.





Arbeitsübertragung

Gleichstromarbeit.

Man hat Kraft eines mag. Feldes auf ein Leiterelement dl.

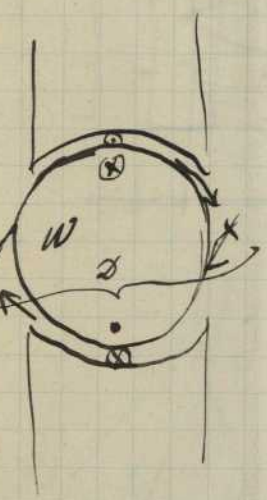
Φ Feldstärke

$df = \Phi\, i\, dl \sin\alpha$

Am günstigsten, wenn α 90 grad. So wird an Draht gesetzt

Diese Kraft ist am grössten wenn Feld Φ u. Leiterelement ⊥ zu einander stehen.

Richtung der Bewegung	Linke Hand	Regel
Bei Motoren: Daumen 1	Bewegung	dasselbe hat man wenn Strom durch Drähten eingeführt u. Magnete erregt werden
Zeigefinger 2	Kraftlinien	
Mittelfinger 3	Strom.	



Wenn die Drähte durch ein mag. Feld hindurchgehen müssen sie auch induziert werden. Was wird sich für ein Strom in den Drähten bilden auf Grund der gefundenen Beweg. Man hat rechte Fingerregel anzuwenden.

Der Strom wäre dem in die Maschine hineingeschickten Strom entgegengesetzt gerichtet. Man hat eine elekt. Gegenkraft.

<u>Beziehung zwischen Gegenkraft u. Klemmenspann.</u>

$$\Delta = E + JW \quad \text{bei Motoren}$$

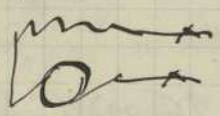
$$\Delta = E - JW \quad \text{bei Generatoren}$$

So muss Δ grösser sein als E. Nach früheren hat man:

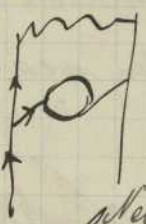
$$E = \frac{n Z \Phi}{60 \cdot 10^8}$$

Offenbar muss diese Gleich. auch jetzt gelten. Sie muss gelten für die el. Gegenkr. eines Motors wie auch für d. el. Kr. eines Generators. Man hat 3 Arten.

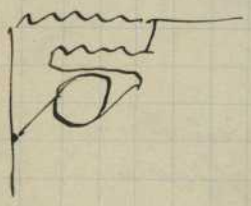
<u>Serienmotoren</u>



<u>Nebenschlussmotor</u>



<u>Kompoundmotor</u>



<u>Welche Arbeit kann nun ein ~~Serien~~ Nebenschluss motor leisten?</u>

wenn Te hineingeschickt wird

Zugeführte Arbeit ist $J_e \mathcal{E}$

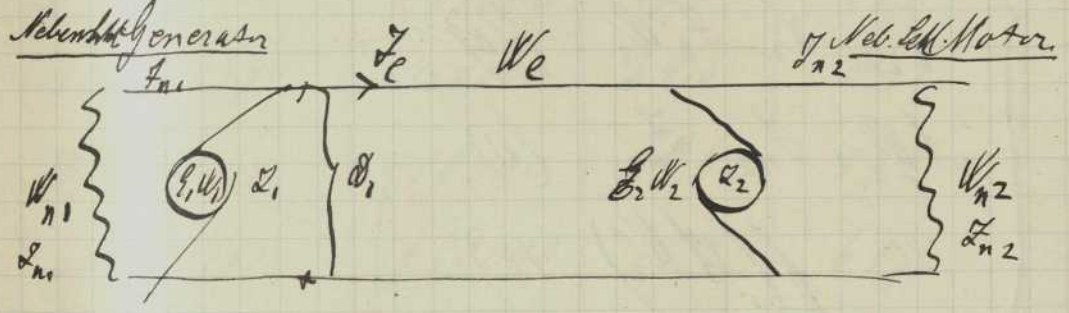
Davon kommt der Stromwärme und Verlust in den Wirbelströmen:

$$J_e \mathcal{E} - J^2 W - J_n \mathcal{E} = \mathcal{E}(J_e - J_n) - J^2 W$$

$$= \mathcal{E} J - J^2 W = J(\mathcal{E} - JW) = \underline{J\mathfrak{L}}.$$ Arbeit des Motors

Nun kommen Hysterese und Wirbelströme in Betracht und Arbeit die an der Welle abgegeben wird

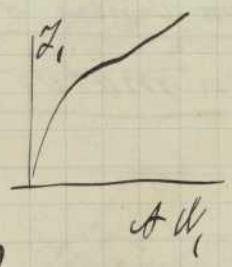
$$J\mathfrak{L} - A_W - A_h - A = \underline{A_2}$$



Gleich. 1) Elektr. Kraft des Ankers des Generators

$$\mathfrak{L}_1 = \frac{n_1 \alpha_1 K_1}{60 \cdot 10^8} \qquad (1)$$

$$K_1 = f(AW_1) \qquad (2)$$



$$AW_1 = J_{n1} \cdot \mathfrak{L}_{n1} \qquad (3)$$

$$\mathcal{E}_1 = \mathfrak{L}_1 - J_1 W_1 \qquad (4)$$

$$J_{n1} = \frac{\mathcal{E}_1}{W_{n1}} \qquad (5)$$

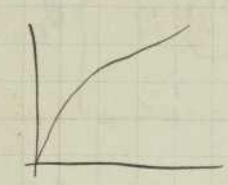
Äußeren Strom

$$J_e = J_1 - J_{n1} \qquad (6)$$

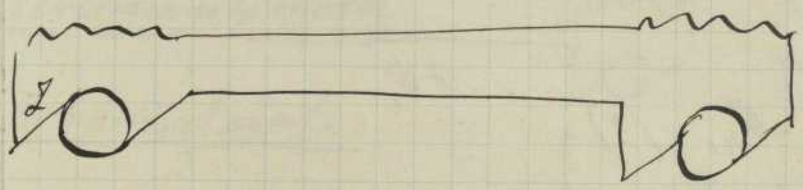
Jetzt geht man von der Primärwicklung über zur Sekundärwicklung. Klemmenspann.

Motor.

$$\left.\begin{array}{ll} J_2 = J_1 - J_e W & (7) \\ J_{n2} = \dfrac{J_2}{W_{n2}} & (8) \\ J_2 = J_e - J_{n2} & (9) \\ E_2 = J_2 - J_2 W_2 & (10) \\ \Phi W_2 = J_{n2} \cdot Z_{n2} & (11) \\ K_2 = f(\Phi W_2) & 12) \\ E_2 = \dfrac{n_2 Z_2 K_2}{60 \cdot 10^8} & (13) \end{array}\right\}$$



<u>Übertragung von einem Serien generator auf einen Serien motor.</u>



Überall ist Strom J.

Beispiel. Motor identisch mit dem Generator

Serienmotor. $n = 1100$ $J = 36$ Amp. $\mathfrak{E}_1 = 70$ V.

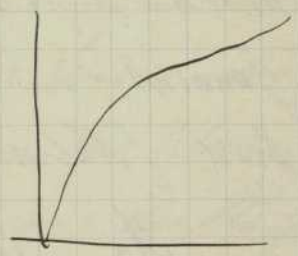
$Z_1 = Z_2 = 216$ $Z_{01} = Z_{02} = 354$. $W_{01} = W_{02} = 0{,}10$ Ohm

$W_1 = W_2 = 0{,}17$ Ω. Leitungswid. $W_e = 0{,}20$.

Charakteristische Kurve wird gegeb.

Wie ändert sich die Tourenzahl des Motors mit der Beanspruchung

Rechnung wird durchgeführt für



5 | 10 | 20 | 30 u. 40 Amp.

$n_2 = \frac{60}{Z_2}$

J	$AW_1 = AW_2$	$K_1 = K_2$	$K_1 = \frac{n_1 Z_1 K_1}{60 \cdot 10^8}$	$\mathfrak{E}_1 = K_1 - J(W_1 + W_{01})$	$\mathfrak{E}_2 = \mathfrak{E}_1 - JW_e$	$K_2 = \mathfrak{E}_2 - J(W_2 + W_{02})$	$K_2 = \frac{n_2}{60}$
5	1770	246000	19,4	18,0	17,0	15,7	84,9
10	3590	480000	38,0	35,3	33,3	13,6	88,1
20	7060	816000	64,6	59,2	55,2	49,8	84,0
30	10620	950000	75,2	67,1	61,1	53,0	77
40	14160	1058000	83,0	72,2	64,2	53,4	70,[illegible]

Wirkungsgrad eines Motors

Totale Wirkungsgrad

$$\eta_t = \frac{A_2}{J_e \mathfrak{E}} \qquad \text{Nebenschlussmotor } \eta_t = \frac{\overbrace{J_e \mathfrak{E} - J^2 W - A_n \mathfrak{E} - A_h - A_w}^{A_2} - A}{J_e \mathfrak{E}}$$

Ein Nebenschl.M. wird mit konstanter Klemmenspg. betrieben u. ist W sehr klein so bleibt seine Tourenzahl nahezu

konstant ob er belastet ist oder nicht. Und ist ein nahezu konstant. Verlust. Ebenso A_1 u. A_w. Für Überschlagsrechnungen kann die 3 Grössen konstant angesehen werden. Fasst man den Generator nach, so hat er einen totalen Wirkungsgrad. (Nebenschlussgen. ex. u. Motor)

$$\eta_T = \frac{A_2}{A_1} = \frac{A_1 - \overbrace{A_{k_1} - A_{w_1} - A_{r_1} - J_1^2 W_1 - J_{m_1} \alpha_1}^{\text{Generat.}} - \overbrace{J_e^2 W_e}^{\text{Leit.}} - \overbrace{J_{m_2} \alpha_2 - J_2^2 W_2 - A_{r_2} - A_{k_2} - A_{w_2}}^{\text{Motor}}}{A_1}$$

Wie kann man jetzt den Wirkungsgrad möglichst hoch bringen. Verluste im Gen. u. Motor. ist dem Konstrukteur anheim gestellt. Man kann sie herunterdrücken nach Belieben. Maschinen werden dann teurer. Aus Konkurrenzverh. wird man daher nicht so sehr auf einen hohen Wirkungsgrad sehen. Das einzige Glied mit dem man was machen kann ist $J_e^2 W_e$ die Leitung. Wie kann man helfen?

Nehmen wir also man J_e klein machen indem man die Spannung steigern.

Ebenso wenn man W_e kleinmacht d.h. dicke Leitungen wählt das wird aber nicht ökonomisch sein. Anlagekosten der Leitung sehr gross.

Kleine Verzinsung u. kleine verlorene Energie stehen einander gegenüber.

Betrachtung von Thomson über Fernleitungen

Es bezeichne.

Entfernung des Gener. von Motor sei L in Mtr also
aufnehmende Leitung $2L$.

Zinsfuß z% Amortis. a% Kosten des Leitungsmaterials
pro kg sei k Mark. Preis der Watt an den Klemmen
des Generators seien p M. pro kW Stromesse des Stromes
durchs s mm² f gem. spez. G. s Wider-
standskoeff σ Betriebsdauer t Stunden
im Jahr

Wie viel Strom hat man in der Leitung

$$\underbrace{\left(\underbrace{2L\,10\,\frac{\pi d^2}{4100^2}}_{\text{Gewicht in kg.}}\,s\,k\right)}_{\text{Preis des L. in d. Leit.}}\frac{z+a}{100} = \mathcal{L}.$$

L in den

Verlorene Watt. also Preis der verlorenen Energie

$$\frac{\sigma \cdot 2L}{\pi d^2} J^2 p\, t = A.$$

Gesamte Betriebskosten

$$J + \mathcal{L} = P$$

Es ist alles gegeben nur s ist unbekannt. Wie groß
wird s:

$$\frac{dP}{ds} = 0$$

$$\delta^{mm} = \sqrt[4]{\frac{10^5 \cdot 16\,\sigma \cdot J^2 t p}{\pi^2 \cdot s \cdot R \cdot (2+a)}}$$ l fällt weg.

δ gilt für jede Länge.

$$f^{mm} = 10^2 J \sqrt{\frac{10 \cdot \sigma \cdot t \cdot p}{s R (2+a)}}$$

Der Querschnitt ist proportional dem Strom. Der Querschnitt ist umso größer je länger die Schleife in Zahl bleiben wird. Je größer f. wird umso kleiner je kleiner s in R in (2+a) Querschnitt wird wirtschaftliches Querschn. genau. Hat man diesen so wird.

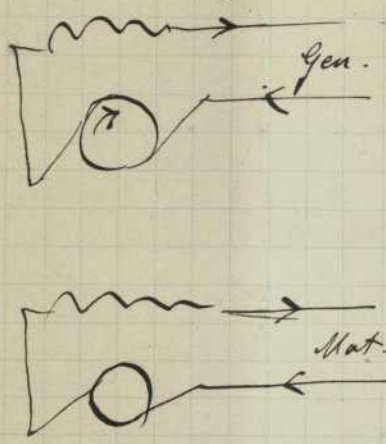
$$J = A = \frac{2 L J}{10^{5/2}} \sqrt{\sigma t p s R (2+a)}$$

Der Preis der abstragenen Pf soll ein Min werden. Darin liegt die Leistung in Maschine. Die Motoren sind bei dicken Kühlen größer. Man nahm dann dasjenige das die billigste Energie liefert.

Matrizen.

Allgemeine Eigenschaften der Motoren.

Serien gen. u. Mot.

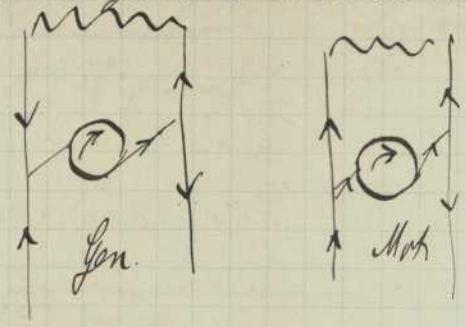


Man wolle einen Serien generator als Motor benützen der

Bewg. ↻

dann

Bewg d. Uh. ↺



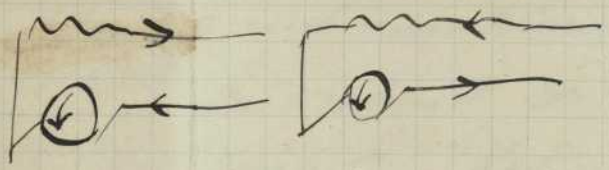
Strom durchlaufe die Maschine in derselben Richtung.

Serienmotor dreht sich gegen seine Bürsten

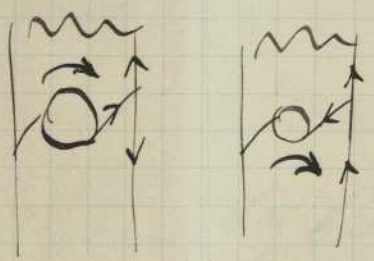
Nebenschluss gen. u. Motor drehen sich gleichsinnig.

Nebenschluss mach. ist daher sowohl als Motor als auch Generator laufen

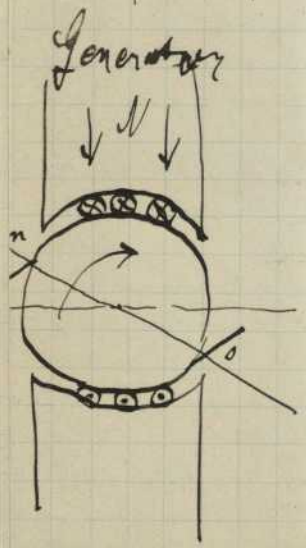
Bei Wechselstrom dreht sich Serien mot. gleichsinnig mit Generator. Wenn wir den anderen Strom wechseln



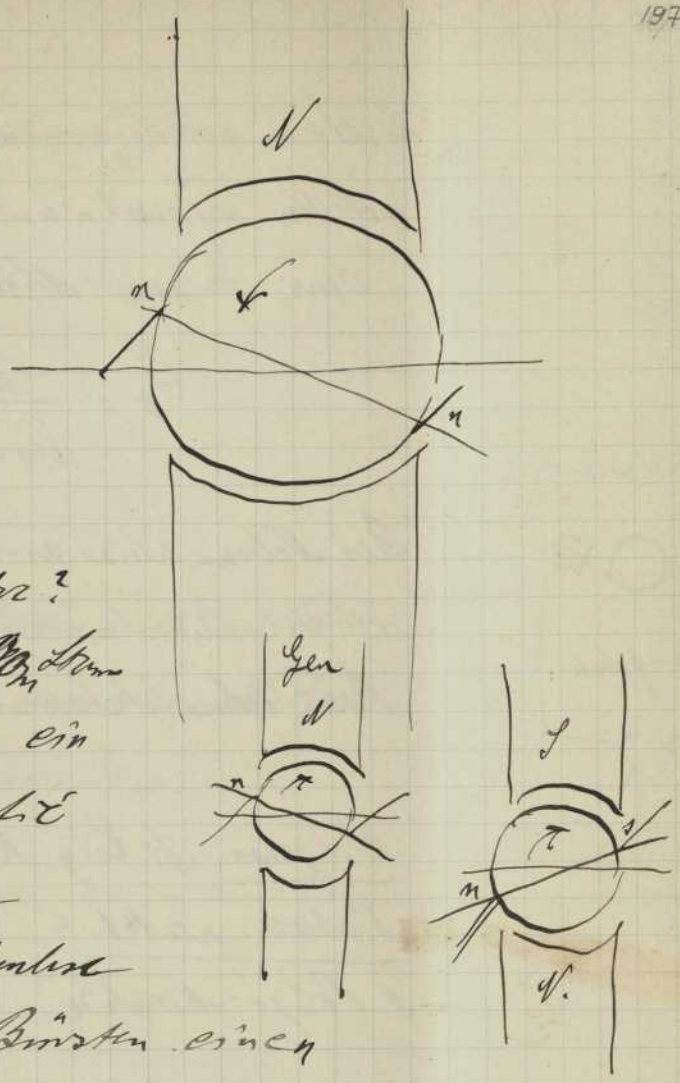
so ändert sich bei Serien u. Nebenschlussmotor die Bewegung nicht. Wenn man Bewg. wechseln will so darf Strom nicht in Anker u. Magneten gewechselt werden sondern nur in einen derselben u. zwar im Anker.



Wie steht mit der Bürstenstellung?



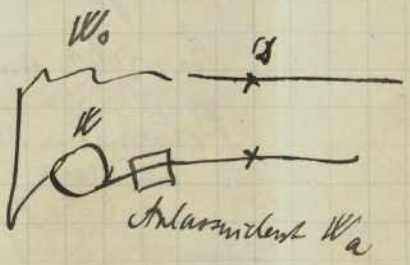
Bürsten müssen in der Drehrichtung vorgestellt werden um Funkenbildung zu vermeiden. Beim Generator müssen die gleichen Pole einander genähert werden. Es werde gleiche Maschine als Motor verwendet. Strom habe gleiche Richtung. Die Magnete wollen sich noch weiter vor. d.h. Strom in gleicher Richtung fliesst.



Die Bürsten werden die Gleiche Stell. haben wie beim Generat. doch Berg. Richtung wird eine andere. Beim Motor haben Bürsten einen Rückstand in Richtung der Drehung.
Wie steht es beim Nebenschlussmotor?
Magnete werden von entgeg. Stromrichtung durchlaufen es entsteht daher oben ein Hufeisen. Neutrale Zone kommt in die andere Lage. Dreht sich aber in der gleich. Richt. Um Funkenlose Einstell. zu erzielen müssen Bürsten einen Rückstand in Richtung der Dreh. erhalten.

Anlauf des Motors.

Wird Strom J_0 hineingeschickt beginnt sich Motor zu drehen. Beim Anlauf erhält Strom eine Gegenkraft so wird Strom kleiner werden bis maximale Tourenzahl erreicht.



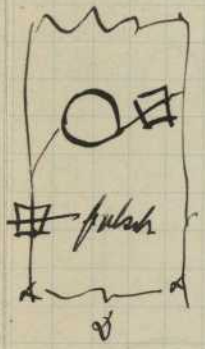
$$J_0 = \frac{S}{W+W_0} \qquad E = 0$$

$$J = \frac{S-E}{W+W_0} \qquad E = \frac{n\,2K}{60\,10^8}$$

Da Bürstenstrom sehr stark ist so einen Motor nach Umst. anlassen

zerstören würde, wenn ein Anker widerstand entgegenwirken würde, wenn der Anker nur vorgestellt wird. Erst dann Blasewirkstrom

$$J_0 = \frac{D}{W_1 W_2 + W_4}$$



Bei Nebenschlussmotor kurz Schlussmiderst. dürfen nur die Bürsten einlegen. Bei kleinen Motoren kann ohne Schlussmiderst arbeiten

<u>Wie gross ist Zug kraft die am Anker eines Motors wirkt?</u>

2 Polige Maschine $\alpha = 90$ $\cos\alpha = 1$

$$df = \Phi\, i\, ds \cos\alpha$$

Feld Φ

Strom in einem Ankerdraht i.

Zahl der Leiter die unter einem Polschuh liegt ist Z

Länge des Polschuh ~~#~~ der Achse ist l

so wirkt auf die Z Querschnitte innerhalb eines Polschuhs die Kraft

$$f = Z l \frac{i}{10} \sin\alpha\, \Phi \quad \text{Dynen}$$

$$1\,\text{Kg} = 9{,}81 \cdot 10^5 \text{ Dynen}$$

somit Umfangskraft an beiden Enden halbiert

$$P = \frac{2 \alpha l \frac{i}{10} \phi}{9{,}81 \cdot 10^5}$$

$$\boxed{P(kg) = \frac{2 \cdot \alpha l i^{cm} \phi}{9{,}81 \cdot 10^6}}$$

Angenommen die Querschnitte verteilen sich auf die Länge λ cm. i sei gleichförmig über den Pol verteilt. dann kommt auf 1 cm Umfang i_0

Gesamtstrom $\Sigma i = \lambda i_0$

hinzes. gibt

$$P = \frac{2 l \lambda i_0 \phi}{10^6 \cdot 9{,}81}$$

$l\lambda$ = Antrittsfläche aus dem Polschuh in den Luftraum ganz Kraftlinienzahl aus einem Polschuh herauskommt.

$$= l \lambda \phi = K$$

somit

$$P = \frac{2 i_0 \cdot K}{10^6 \cdot 9{,}81} \qquad (1)$$

i_0 lässt sich noch in andere Werte ausdrücken. auf den ganzen Umfang = Querschnitt. die Beziehung auf ganzen Strom ist d. Strom in 1 Querschnitt $\frac{J}{2}$ somit Gesamtstrom über ganzen Umfang $\alpha \frac{J}{2}$

$i_0 = \frac{J \cdot \frac{Z}{2}}{\pi D}$ = Ströme aller Stäbe hervorbrt durch Umfang. demnach.

$$P = \frac{2 \cdot \frac{J}{2} \cdot ZK}{\pi D 10^6 \, 9{,}81} = \frac{JZK}{\pi D \, 10^6 \cdot 9{,}81} \text{ kg} \quad (2)$$

Auch diese läßt sich noch abändern: Gleich. gilt allg. ob Anker in Bewg. oder nicht. Man hat die Gl.

$$E = \frac{nZK}{60 \cdot 10^8} \qquad ZK = \frac{60 \cdot 10^8 E}{n}$$

$$P = \frac{J \cdot 60 \cdot 10^8 E}{\pi D \cdot 10^6 \cdot 9{,}81 \cdot n} = \frac{JE \cdot 60 \cdot 10^2}{9{,}81 \cdot \pi D n} \quad (3)$$

Den Druck ermitteln wir häufig nicht sondern das Drehmoment: Es ist. $M = Pr$. (mkg) oder

$$M = \frac{PD\,(cm)}{2 \cdot 100} \text{ somit:}$$

$$M = \frac{60 \cdot 10^2 \cdot EJ}{9{,}81 \cdot \pi \cdot n \cdot 2 \cdot 100} = \frac{30 \cdot JE}{9{,}81 \cdot \pi \cdot n} \quad (3a)$$

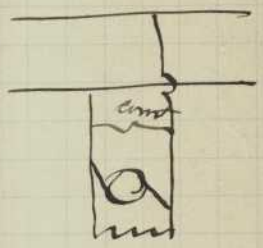
Mit Gleich (2)

$$M = \frac{JZK}{\pi D \cdot 10^6 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 10^2} = \frac{JZK}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10^8 \cdot \pi} \quad (2a)$$

Für ruhenden Anker sehr gut zu benutzen $M = 0{,}0162 \cdot 10^{-8} JZK$. ebenso für Anlaufmoment als wenn Motor in Betrieb ist.

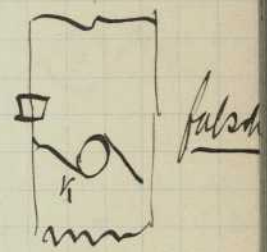
Spezielle Fälle.

Nebenschlussmotor.



Meist mit konst. Spann. betrieben. Dann kann man sagen, wenn man im Nebenschluss nichts regulirt. Mach. hat, wie es gleiche Kraftliniensahl d.h. K const. für Gl. 29 $\mathfrak{J}_2$ kann M proport. dem Strom der im Anker sich befindet.

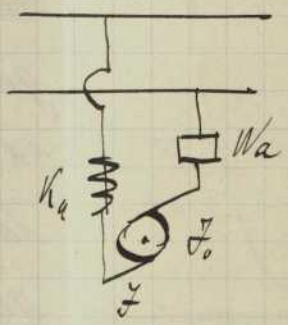
Verhalten beim Anlaufen.



richtig!

Strom dabei bei $\mathfrak{J}_0$ Anlasswiderst. A nicht unmittelbar vor dem Anker. Nebenamt. Regul. wäre unzweckmässig, ist daher falsch da nicht der ganze Strom in die Magnetwickelung gelangt. K wäre klein u. das ganze Anlaufmoment würde schwach werden da man $\mathfrak{J}_0$ klein zu wählen ist. Vorteil des Nebenschlussmot. wäre die fast gänzliche Unabhängig. der Geschw. von den Schwankungen in den Belastungen. Man kann das Anlaufmoment wählen wie man will.

Serienmotor.



Stellung des Anlasswiderst. vor den Motor (Motor) gewöhnlich bei konstanter Spann. gehalten (Strassenbahnen).

Magnete haben nicht mehr const. K sondern entsp. dem Strom J Kraftliniensahl = proport. des Stromes.

Anlaufmoment:

Fröhlichsche Gl.

$$M = \frac{J\,\mathfrak{J}\,f(\mathfrak{J})}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10^8\,\pi} \qquad K = \frac{A\,W = J\,\mathfrak{J}_0}{a + b \cdot J\,\mathfrak{J}_0}$$

Denkt man sich diese Funktion dar.

$$M_2 \frac{Z_0 \cdot Z J^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot \pi \cdot 10^8 (a + b J z_0)}$$

Dadurch für Leiermotor grosser Vorteil. Anfangsstrom J_0 gewählt dann geht er auch durch Magnet hindurch. Im normalen Betrieb J_n. K. Wählt man für Anlass etwa doppelten Strom (schwer Wahl um k_a zu erreichen) dann auch Kraftlinienzahl k_a eine grössere (nicht doppelt so gross)
Bei Leiermotor hat man grösseres Anzugmoment als bei Nebenschlussmotor.

Einrichtung beim Nebenschlussm. dass Anlassmom. grösser wird.
Einschaltung von Leiern. J_0 geht durch ein ganz Leiern hindurch. Wo es sich um möglichst kurz. Tourenzahl handelt wird man an Nebenschl. M. wählen n nahezu konst. Sobald Anlauf vollzogen kann man Leiern kurz schliessen, oder damit sie nicht ganz verloren durch Umschaltung dem Nebenschluss beigeschaltet. Stellt man sich M abhäng. von J graphisch dar. Solange Strom derselbe bleibt bleibt auch Moment dasselbe. Statt Drehungsmoment „Bremsmoment" gesetzt. Und auch solange Bremsmoment dasselbe dann auch Strom derselbe. Dies für Leiermot. von Bedeutung. Wie auch die Klemsp. geändert wird, es ändert sich dadurch nur Tourenzahl aber Strom bleibt derselbe wofern nur das Bremsmom.

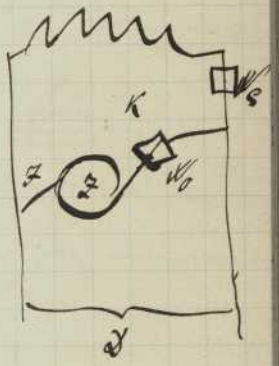
das gleiche bleibt.

Wie ändert sich Geschwindigkeit des Nebenschl. Motors bei variabler Belastung?

$$E = \frac{n Z K}{60 \cdot 10^8} \qquad n = \frac{60 \cdot 10^8 E}{Z K} \qquad (1)$$

$$E = \mathcal{E} - J W. \qquad (2)$$

Elekt. Gegenkraft des Ankers.



Wenn d. Motor stärker belastet wird dann wird JE größer u. dann braucht er mehr Strom. Nach (2) wird bei wachsendem J E kleiner bei abnehm. J steigt E.
Bei 1) Z als Konst. zu betrachten. Ebenfalls wenn $E <$ wird bei wachsender Belast. so kleiner das n wird auch $<$
Wenn $E >$ wird dann n groß. $E >$. Aber bei guten Mash. ist W sehr klein damit JE nicht nähernd bedeutend. E wird also bei guten Mash. wenig schwanken. damit Geschwind. wird zwar etwas veränderlich sein aber sehr wenig.

Größe der Änderung. Max Belast. erfordert J_{max} hier n_{min}.

$$n_{min} = \frac{60 \cdot 10^8 (\mathcal{E} - J_{max} W)}{Z K}$$

Strom o. kann erzeugt nicht werden

$$n_{max} = \frac{60 \cdot 10^8 (\mathcal{E} - J_{min} W)}{Z K}$$

wird aber $J_{min} = 0$ dann:

$$n_{max} = \frac{60 \cdot 10^8 \mathcal{E}}{Z K}.$$

$$\frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{\mathfrak{J} - \mathfrak{J}_{max} W}{\mathfrak{J}} = 1 - \frac{\mathfrak{J}_{max} W}{\mathfrak{J}}.$$

Fügt man Anlasswid. W_a hinzu dann Tourenzahl noch kleiner

<u>Was muss man thun um Touren konstant zu machen.?</u>

Nach (1) K muss $\mathfrak{J}$ prop. gemacht werden. Ang. Mot. werde mehr belastet n < dann müssen K < gem. werden. Um gesunkene Touren zu heben noch mehr W_ς einschalten. Nach 1) K verkleinern.

Bei Entlastung nach 2) $\mathfrak{J}$ < $\mathfrak{J}$ > Um so größer K, um die zu hochgestiegenen Touren n herabzudrücken K zu vergrößern d.h. W_ς kleiner. <u>Desgl. ebenso gut für jeden Motor.</u>

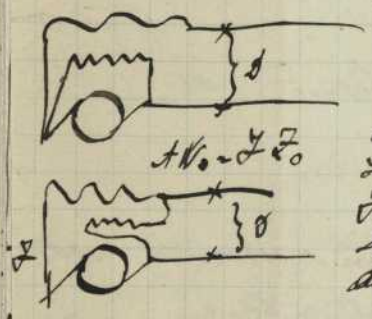
Beiwachs. K. K > zu machen. d.h. die Erreg. der Magn. muss gesteigert werden. <u>Ganz allgemein:</u> Soll n wachsen dann Widerst. in d. Nebenschl. geben. n kleiner werden v

" und " " nehmen. Denkt man sich auf dem Anker 2 ganz getrennte Wickelungen so läßt sich auch $\mathfrak{J}$ ändern und $\mathfrak{J}$ wird $2\mathfrak{J}$ Desgl. auch für d. Serienmotor

<u>Soll Nebenschl. Motor ganz gleiche Tourenzahl liefern</u> dann verwendet man Compoundmotor d.h. Nebenschlussmotoren mit ein Paar entgegengesetzt wirkenden Serienwicklungen.

$$\Delta W = \Delta W_n - \Delta W_s = \Delta W_n + \mathfrak{J} \mathfrak{Z}_0$$

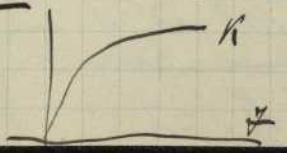
Nebenschl. Serien.



Angen. Motor werde belastet dann sinkt n dieser automatisch um heben. $\mathfrak{J}$ wird > bei stärk. Belastung. ΔW sinkt also durch Hinzufügen der richtigen Serienzahl

$\mathfrak{J}$ wird < bei Entlastung ΔW ist dann gewachsen. Nachende Windung herabdrücken von n. Diese angeführte Serienwicl. sind als kl. Korrektion des Nebenschl. Mot. anzusehen.

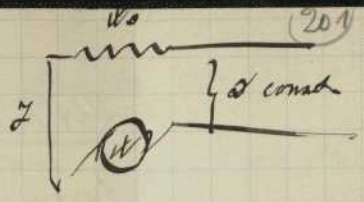
<u>Serienmotor</u> bei Strassenbahnenhauptschl. angewandt. Gleich. graphisch darzustellen

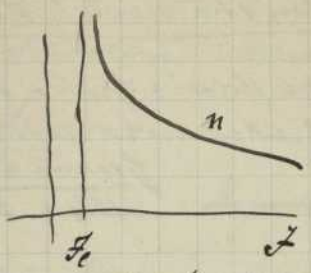


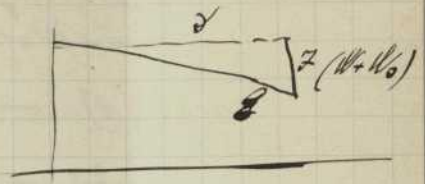
$$K = \frac{\Delta W}{a + b\,\Delta W} = \frac{\mathfrak{Z}_0 \mathfrak{J}}{a + b\,\mathfrak{J}\mathfrak{Z}_0} \qquad (1)$$

(2) $\mathcal{E} = \delta - J(W + W_0)$

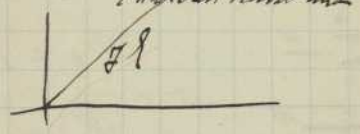
(3) $n = \dfrac{60 \cdot 10^8 \mathcal{E}}{Z K}$





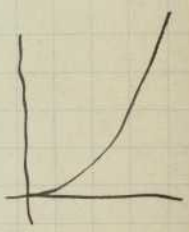


Leerlaufstrom sei J_e. Beim Leerlauf geht der Motor durch. Üble Eigenschaft des Serienmotors. Bei Hebezeuge wird ein Serienmot. wohl kaum durchgehen.



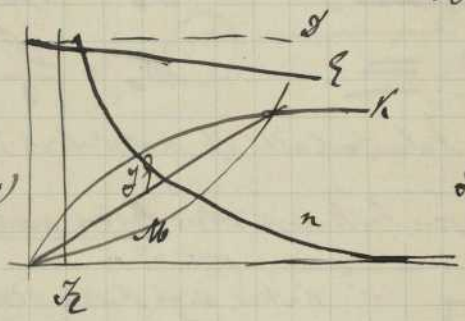
Induzierte Leistung

(4) $J\mathcal{E} = \text{Arbeit}$

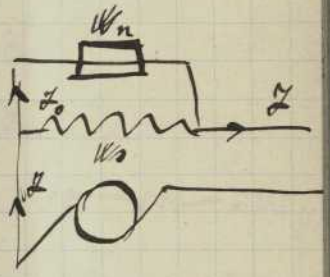


Eckleistung

5) $M = C Z J K$



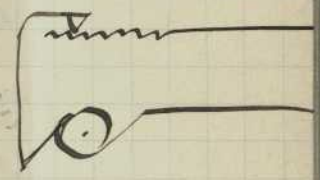
Wie kann man das Durchgehen hindern?



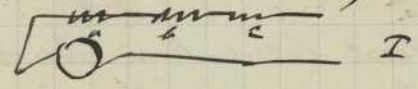
<u>Regulierung des Serien Motors</u> (vorläufig)

Man ändert K ein folg. Wege. Widerst. W_n # geschaltet. Man läßt nicht den ganzen Strom magnetisieren. W_n wird verändert u. dadurch reguliert. In den meisten Fällen Regul. nur halb. Bei Kranen ist bei der Abw. Fall J_0 veränderlich. Wer aber J_0 E_0 geändert werden soll kann es geschehen durch Änderung von E_0. Dies geschieht mit Fg. zeigt. Man kann auch Bolzen Wicklungen abschalten. Auf diese Art pflegt man es aber nicht zu machen. Man teilt Wicklungen in anderer Art. Man benützt alle Wicklungen schaltet sie aber verschieden. (Anwendung Straßenbahn.)

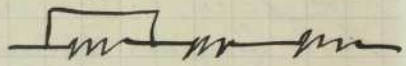
Langsamer schneller Lauf d. Motors



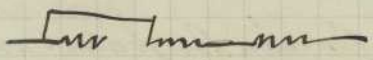
I) Alle 3 Abteil. hintereinander. Ehe man eine Spule regriert muß sie kurz geschlossen werden. Will man aber a bezgl. kurzen dann muß a kurzgeschlossen werden.



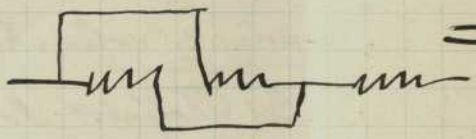
II 2 Spulen hintereinander — — 2 II



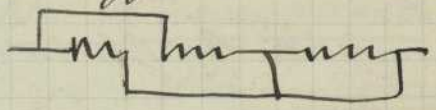
III a ganz weg.



IV a u. b kombiniert 2 # geschl. hintereinander 3. 3te Spule weggenommen zunächst kurzgeschlossen

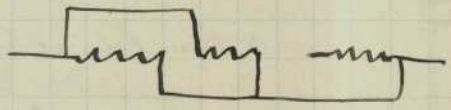


V

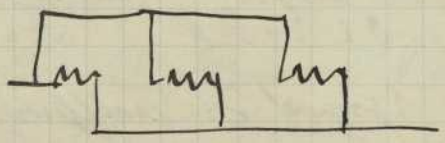


= 4

VI c ganz weg.



VII Alle 3 # geschaltet



= 5

Wie ändern sich damit die AW?

Angen. jede dieser 3 Spulen habe den gleich. Widerst. w u. Windzahl Z. In Wirklichkeit wird dies nicht der Fall sein. J ist ganzen Strom.

	Gesamt Widerst.	AW
1) — — —	$W_0 = 3w$	$AW_0 = 3JZ$
2) — —	$W_0 = 2w$	$AW_0 = 2JZ$
3) $J/2$ $J/2$ w w w	$W_0 = 1{,}5w$	$AW_0 = 2JZ$ AW nicht gemd.
4) $J/2$ $J/2$ w w	$W_0 = 0{,}5w$	$AW_0 = JZ$
5)	$W_0 = \frac{w}{3}$	$AW_0 = JZ$.

Bei Anlaufschalt. ist natürlich I größte Zugkraft. Zu diesen Schaltungen tritt noch eine Bremsschaltung. Ganz von der Leit. abgeschlossen u. nur entweder sich kurz geschlossen. Der Motor läuft dann auf Motor zu sein infolge seines Trägheitsmomentes durch Weiterlaufen wieder Generator. Dies geschieht auf Kosten der Energie. Eine solche Bremswirkung ist auch möglich beim Nebenschluss Motor. Vielfach tritt noch zu ihm Hilfsmittel einer Zusatzwiderstand. W_S der zu gleich als Anlasswiderst. dienen kann. Bei den Strassenbahnen meistens besonderer Anlasswiderst. vorhanden. Bei grossem Wid. W_S geht der Motor langsam. Wünschenswert ist oft die Schaltung mit elekt. Bremsung zu vereinigen. In Bremen Bergbahn darauf eingerichtet. Bei Schaltung Motor Generator wird die Energie an das Netz abgegeben. Bei Seriemotor ist dies unmöglich. Bei Gleichstrom nur bei Nebenschlussmotoren. Wie geschieht dies?

$$E = \xi + JW \qquad J = \frac{E - \xi}{W} \qquad \xi = \frac{nZK}{60 \cdot 10^8}$$

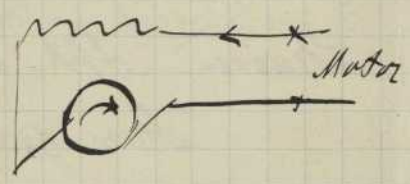
K Konstant ξ proport. n. Schaltung ξ kann $> E$ werden. Wegen Bremsen wird sich dann $E - \xi$ negat. d.h. Strom negativ. dies bis

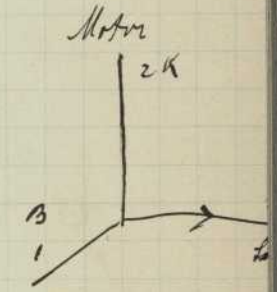
Beharrungszustand

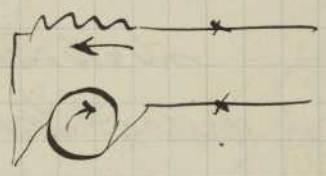
Mech. Bremsen müssen natürl. in Betriebsbereitschaft sein. Nur bei langen Gefällen entbehrl.
Dieselbe in ausgef. Weise bei Wechselstr. u. Drehstrom. (Konstanz - Engelberg Drehstrom)

Bedingungen für elektr. Bremsung eines Motors

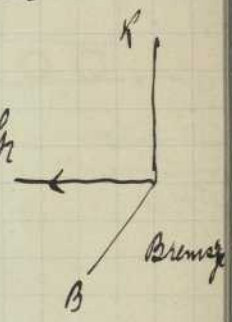
Kraftlinienrichtung durch keine andere wenden. Magnetisierende
Strom muss die gleiche Richtung haben wenn Maschine Brems generator
wird. Beweg. u. Kraftlinienrichtg.
muss gleich sein für Motor u. Gener
wenn Stromrichtung bleibt auch
dies. Nur soll auch Strom nicht
gleich bleiben. Man hat Verbindung
von Anker u. Magnet die wechseln



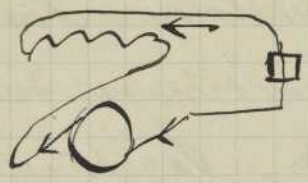


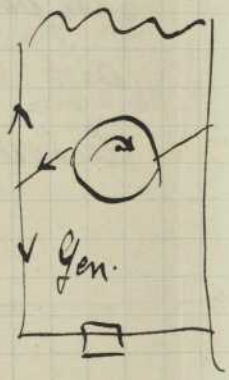


Bremsen



Nebenschlussmotor wenn er
Generator wird
Anker ist auch von entgeg.
Strom im fliessen Magnetisierung
bleibt die gleiche. Man
braucht Verbind. mit Anker
u. Magnet nicht wechseln





Elektr. Strassenbahnen

Betrieb mit Akkumulatoren

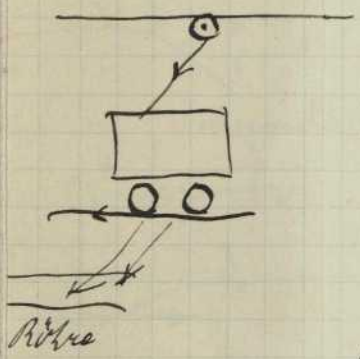
Grösse Zeit. nicht notwendig 3 Betriebsweisen:

1) Oberleitung mit Rolle die Strom vom Draht abnimmt (Trolly)
" " Bügel
(Siemens u. Halske)

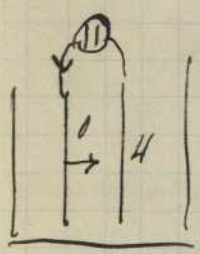
Bei Bügel kann man Weichen leichter konstruieren

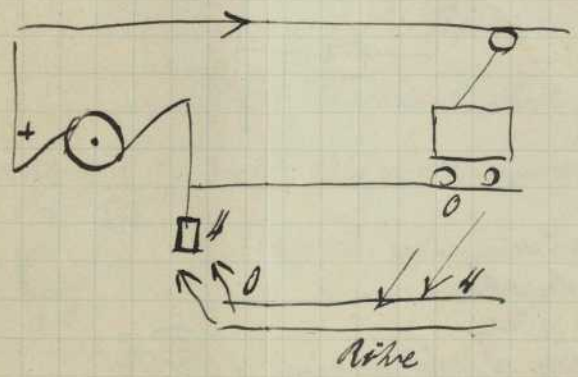
<u>Unterirdische Leitung.</u> (Budapest)

<u>Kombination</u> Unterird. Leitung u. oberirdisch. L. Akkum. mit Oberleitung. (Berlin) Akkum in engen Strassen. Akk. werden v. der Oberleit. geladen



Strom geht durch Räder durch Schienen durch Zuführlage. Schienenstöße müssen überbrückt werden durch gummierten Kupferdraht. Strom geht trotzdem noch massen verloren. Nachteilige Folgen auf Gas u. Wasserleitungsrohren. Strom fließt in den Röhren weiter. <u>Vagabundierende Ströme</u>. Dies lässen sich vermeiden bei 2 Oberleit. An der Schiene und sich O u. an der Röhre H Wasserstoff zeigen nicht der Vorzeichen dass Oberleit. Gegenst. off. Röhre u. Schienen oxydieren.





Strom geht nicht direkt von der Masch. in die Arbeitsleit. Man hat Speiseleitungen notwendig. Man arbeitet mit Hochspan. 500 V. In der Centrale 550 Volt

Lichtmaschinen arbeiten mit 250 V.

Lichtmasch. schaltet man dann hinter einander zu Strassenbahn

Bei starkem Verkehr u. großer Steig. sind 2 Motoren nötig. Bei schwachem Betr. 1 Motor. Übertrg. durch Zahnräder (laufen in Fett). Motor muss drehbar um die Wagenachse angeordnet werden. damit bei den Schwankungen die Zahnräder stets im Eingriff sind.

<u>Berechnung</u>

basiert auf horiz. Bahnstrecke Wagengewicht nötig eine Zugkraft P kg pro t 12–15 kg

Man habe G t in fahre mit einer Steig. p ‰

Gesamte Zugkraft:

$$G(P+p) \text{ kg}$$

Geschw. sei v m pro sec. Zahnraddl pro M. n bei $v = cn$. Man habe mit $v = 3$ m $n = 900$ $c = \frac{v}{n} = \frac{1}{300}$. Es werden dann geleistet:

$$cnG(P+p) \text{ mkg/sec}$$

$$cnG(P+p)\,9{,}81 \text{ Watt}$$

Arbeit welche nötig ist. an der Wagenachse um Wagen fortzubewegen. Die Übersetzung verschlinge q % somit abgegebene Arbeit vom Motor

$$\frac{cnG(P+p)\,9{,}81}{\left(1-\frac{q}{100}\right)}$$

$g = 10-15\%$
$r = 15\%$

Ganze zugeführte Arbeit ZD. Unterscheidet sich vom letzten Ausdruck nur durch 4% Verlust. So muss sein:

$$ZD = \frac{c\,n\,G\,(P+p)\cdot 9{,}81}{\left(1-\frac{g}{100}\right)\left(1-\frac{r}{100}\right)}$$

$$ZD = \frac{c\,n\,G\,(P+p)\,9{,}81}{0{,}85\cdot 0{,}85}$$

<u>Beispiel.</u>

Wie verhält sich ein solcher Wagen auf verschiedener Steigung u. wieviel Strom verbraucht der Wagen

$D = 500\,V.$ $\quad c = \frac{1}{300}$ $\quad G = 7\,t.$ $\quad P = 15\,kg/t.$

$1-\frac{g}{100} = 0{,}85$ $\quad 1-\frac{r}{100} = 0{,}85.$

$Z = 600$ $\quad Z_0 = 1200$ $\quad W_0 = 3{,}6$ $\quad W = 1{,}4$ $\quad W+W_0 = 5{,}0\,Ohm$

$$Z\cdot 500 = \frac{n\cdot 7\,(15+p)\cdot 9{,}81}{300\cdot 0{,}85\cdot 0{,}85} \qquad (1)$$

$$k = \frac{n\,Q\,K}{60\cdot 10^8} = D - Z\,(W+W_0) \qquad (2)$$

$$500\cdot Z\cdot 5 = \frac{n\cdot 600\,K}{60\cdot 10^8} \qquad (2)$$

Es sei folg. Beobachtet.

$Z =$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50 A.
$AW =$	6000	12000	18000							60000
$K =$	$10^6\times 3{,}2$	4,35	4,85	5,10	5,21	5,30	5,35	5,38	5,41	5,44.

Aus Gl 2 ist:

$$n = \frac{(500 - 5{,}07)\,60 \cdot 10^8}{600\,K}$$

$n = 2970 / 2060 / 1755 / 1570 / 1440 / 1320 / 1215 / 1120 / 1020 / 920$

$p = -12{,}3 \quad -7{,}3 \quad -1{,}5 \quad 5{,}1 \quad 12{,}2 \quad 20{,}8 \quad 30{,}4 \quad 41{,}2 \quad 57{,}5 \quad 70{,}8 \ \%$

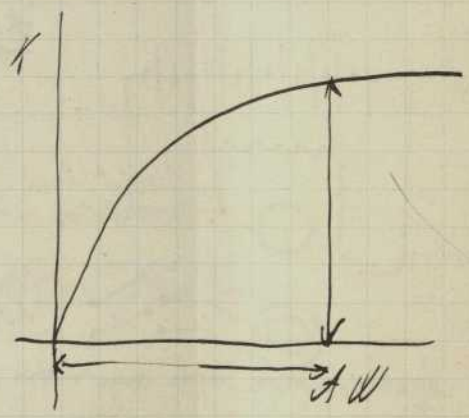
Man zeichnet den Wagen. Man wünscht auf jeder Steig.
dieselbe Geschw. mit ist anzeigen.

1) $$J_2 = \frac{c\,n\,G\,9{,}81}{\delta\left(1-\frac{q}{100}\right)\left(1-\frac{z}{100}\right)}(1+p)$$

n ist etwas gesch. dann wird für jede Steig einbest.
Strom nötig sein.

2) $$\delta - J(W + W_0) = \frac{n\,Z\,K}{60 \cdot 10^8}$$

$$K = \frac{[\delta - J(W + W_0)]\,60 \cdot 10^8}{n\,Z}$$

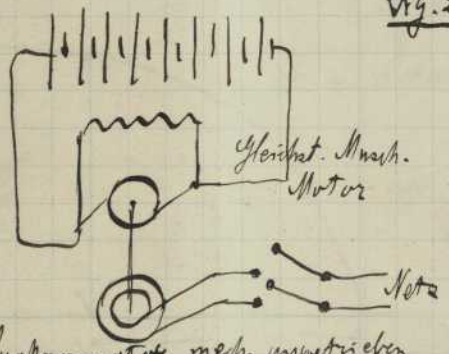


Wechselstromübertragung.

A) Einfachster Fall: Synchrone Arbeitsübertragung

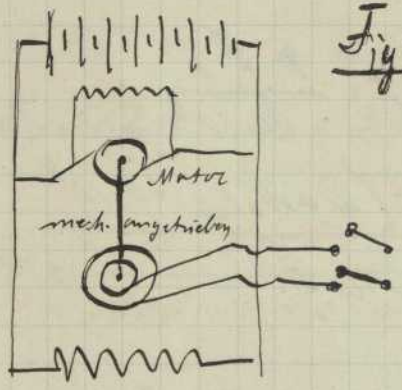
Die Magnete jeder Wechselstrommasch., egal ob sie als Motor oder als Generator fungiert, müssen natürl. mittelst Gleichstrom erregt werden. Hiebei muss jedoch in dem Moment wo Anker u. Magnetspulen sich gegenüber stehen der Strom in den Ankerspulen wechseln, da sonst (s. Schema) eine Bremsung des Ankers stattfinden würde u. die Bewegung des Motors würde aufhören d. h. es muss eine ganz bestimmte

Fig. 1.



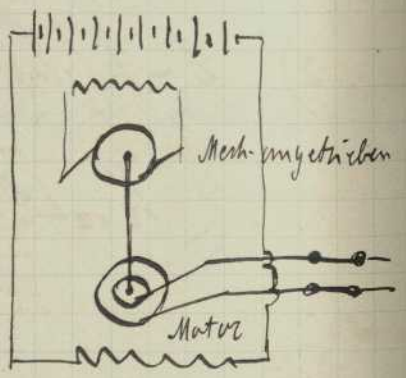
Synchronmotor mech. angetrieben

Fig. 2.



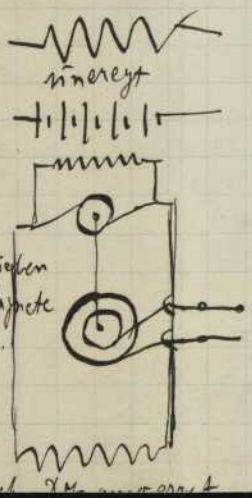
durch Akk. erregt

Fig 3.



durch Akkum. erregt

Fig 4



durch Akkum. erregt

Fig 5.

asynchron

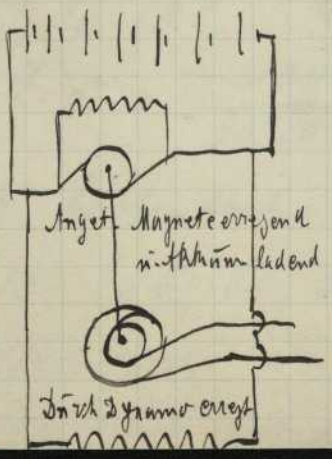
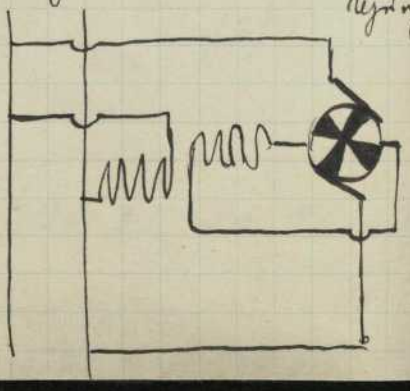


Fig 6. Synchronmotor mit Selbsterregung



$n_1 : n = n_1 : n$
$n_1 : n = n_1 : n$
$n_1 : n = n_1 : n$

Gesch. beziehung bestehen zwischen Generator u. Motor. Bestehen beide aus einer gleichen Anzahl Spulen so wird der Motor genau die Bewegung des Gener. nachahmen, und also eine rein synchrone Übertragung stattfinden. Gleiche Spulenzahl - gleiches n. Beim Anlauf wird kein Synchronismus vorhanden. Tritt erst bei grossem n auf. Wechselstrommotor kann daher nicht belastet anlaufen. Man kann Synkronmotor selbsterregend konstruieren. Dann haben sie die Möglichkeit beinahe allein anzulaufen. Nur in ganz kleinen Exemplaren benützbar. Bei grossen Motoren giebt es sehr starke Funken. Nicht von Bedeut.

Inbetriebsetzung von Synkronmotoren.

Geschieht sehr häufig mittels Akkum. Fig 1 ÷ 5.
Feinere u. komplizierte Art muss aber bei gew. Anlagen in Kauf genommen werden. Für kleine Masch. anderes Hilfsmittel: Hilfsphase.

Eigenschaften der synkronen Übertragung.

Verlichtungsleitung zwischen Gener. u. Motor. Für beide gleiche Pole u. dann gleiche Frequenz N. Eine der Masch. habe elekt. Kraft E_1, die andere E_2. Effekt. Wert e_1 u. e_2. Gesamt Widerstand W. Dann fliesst durch Gener. Leit. u. Motor derselbe Strom J. Dann momentane Grösse der Elekt. Kräfte

der Selbstinduktion. $= -L_1 \frac{di}{dt}$, $-L_2 \frac{di}{dt}$ der beiden Anker.

Effekt. Wert der Selbstinduktion

$$e_{s_1} = 2\pi N L_1 J \; ; \; e_{s_2} = 2\pi N L_2 J$$

$$e_{s_1} + e_{s_2} = e_s = 2\pi N J \underbrace{(L_1 + L_2)}_{L}$$

L = Gesamt Selbstinduktions Koeff.

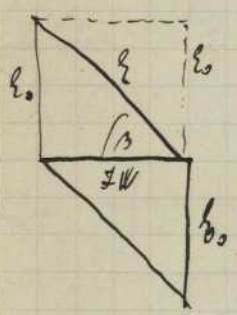
$$e_s = 2\pi N J L$$

Momentanwert e_s

Auf den ganzen Kreis Ohm'sches Gesetz angewandt.

$$e_1 + e_2 + e_s = i W.$$

Umgeändert $e_1 + e_2 = e$ bezeichnet Gleich. sagt aus:



Im Vektor Diag. ist e u. e_s 2 Seit eines ∥ogramms dessen Diagonale JW ist.

Wenn man im Diagr. JW aufzeichnet so läuft e_s um 90° hinter JW drein. oder.

e gesamt elektr. Kraft muss Komponen. JW haben u. Komponen. gleich u. entgeg. der Selbstinduktion.

Nun ist was β betrifft.

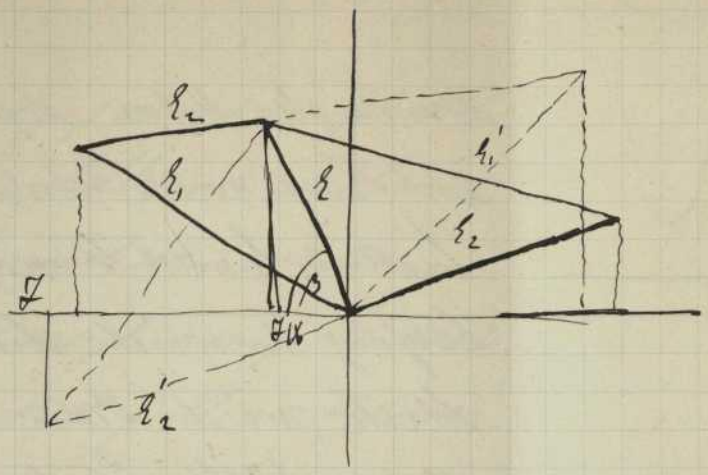
$$tg\,\beta = \frac{e_s}{JW} = \frac{2\pi N L J}{JW} = \frac{2\pi N L}{W}$$

β hängt von J also nicht ab.

e_1 u. e_2 hinzugefügt so sei $e_1 > e_2$, Wid. W. Strom J.

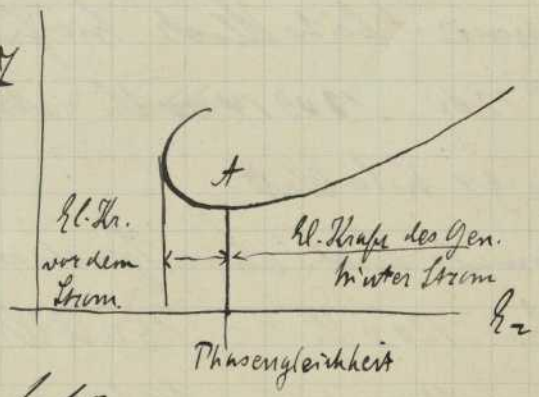
$$e_s = 2\pi N L J.$$

E_1 gehört dem Generator
E_2 " dem Motor $E_1 > E_2$

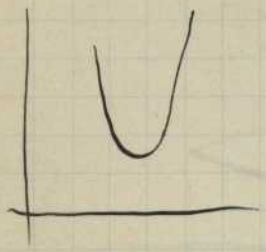


Betrachtet man das Parallelogr.
dann ist E_2 die el. Sp. des Gener.
E_1 diejenige des Motors.
Elekt. Gegenkraft des Motors ist nun > als elekt. Sp. des Gen.
Bei dieser synchronen Arbeitsübertragung kann elekt.
Kraft des Motors < oder > als elekt. Sp. des Gener.
sein. Sie können nicht gleich sein.
Ist elekt. Sp. des Gener. > dann läuft E_1 dem Strom voraus.
" " " " " < " " E_2' hinter dem Strom drein (s. Parallelog.)
Dies für den Betrieb von grosser Wichtigkeit.
Motor in seiner Magneterregung zu regulieren.
Je schwächer Motor erregt um so mehr Zustand des Parall.
Ein Motor sei immer gleich belastet ebenso Generat.
Bleibe immer gleich erregt. Zickelzahl konstant.

E_1 Gener.
E_2 Motor



Erregt man in A stärker
oder schwächer so haben
wir grösseren Betriebs-
strom nötig. Der Motor habe
sehr hohe elek. Kraft. Nun schicke man kleineren



Strom in den Motor. Nachmalige Maschine Kurve stellt Zickzkurve so ein daher V Kurve genannt. Bei bestimmt. Erregung φ möglichst klein. Sobald man die Erregung immer mehr abschwächt so kommt man zu einer Stelle wo die Wirkl. die Kurve berührt d. h. der Motor fällt aus dem Tritt bleibt stehen.

Man arbeitet lieber mit etwas übererregtem Motor anstatt mit Phasengleichheit. Sh. etwas rechts von der Phasengleichheit. Mit der stärkeren Erregung hat der Motor Überlastungsfähigkeit gewonnen. Strom läuft hinter der Spann. drein. Unbequemes Mittel zur Abhilfe:

Stromverbrauchern übererregter Synchronmotor beizufügen der Strom vor der Spann. haben soll, denn kann man es dahin bringen dass Strom u. Spann. phasengleich werden.

<u>Beispiel.</u>

Synchrone Spitzenwert. hierfür sei $E_1 = 1100$ V.

$E_2 = 1200$ 1300 1400 V. Normale Leist. des Motors

$A_n = 93$ Kilowatt.

Maximale Leist. ohne Synchronism zu stören.

bei 1200 V.	150 KW.	Überlastungsfähigk. von 93 auf 220 KW. d. h. 138 %
1300 "	186 "	
1400	220 KW.	

Wechselstromkurzschlüsse nicht so gefährlich wie Gleichst. K.
Gen. Anker erhält eine gewisse Selbstind. im Betrieb
Abschalten des Motors Kurzschlüsse vermeiden
Anker des Motors dagegen soll mögl. wenig Selbstind.
erhalten sonst ist das Anzeitritt fallen möglicher.

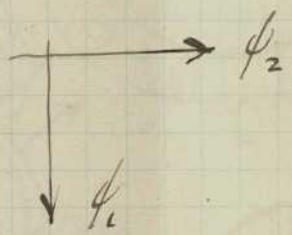
Asynchrone Wechselstrommotoren

Drehfeldmotoren.

Drehfeld entsteht wenn 2 variable Felder zusammengesetzt werden.

$$\phi_2 = a \cos \frac{2\pi t}{T} = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - 90^\circ\right)$$

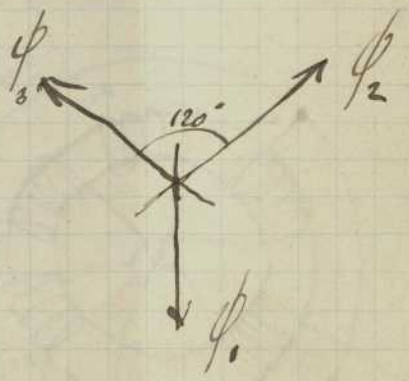
$$\phi_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$



Wenn diese Felder gleichzeitig wirken, so erhält man ein resull. Feld von konst Grösse a das sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit dreht:

$$\sqrt{a^2 \sin^2 \frac{2\pi t}{T} + a^2 \frac{2\pi t}{T}} = a$$

Nimmt man statt 2 Felder 3 Felder



$$\phi_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$\phi_2 = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - 120^\circ\right)$$

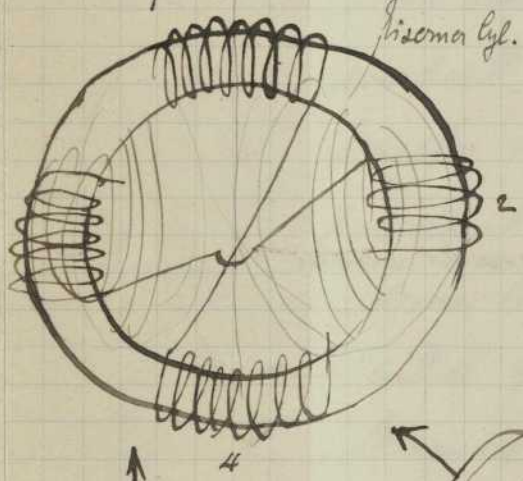
$$\phi_3 = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - 240^\circ\right)$$

Diese ergeben ebenso ein nach Grösse u. 4 Geschw. konst. Feld.
Ebenso bei n Feldern ϕ_n gleiche Phasendifferenz

$$\phi_n = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi}{n}\right)$$

Bei all diesen Anordnungen kommt in erster Linie 3 Felder in 2ter Linie 2 Felder vor.

$i_1 = b \sin \frac{2\pi t}{T}$
$i_2 = b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - 90^\circ\right)$



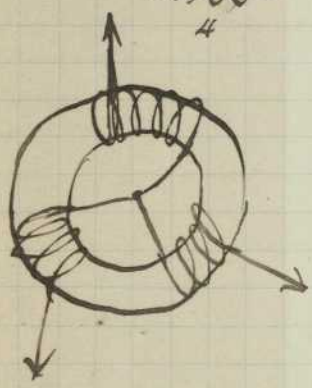
Die 2 erzeugen das Feld:

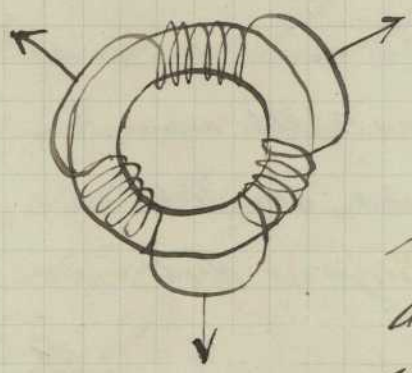
$$\phi_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

Eisenner Cyl. dient zur Führung der Kraftlinien.

Ähnlich wenn man 3 phas. Drehfeld haben wie

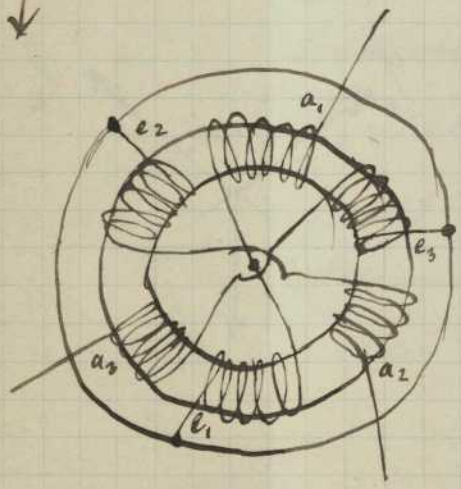
$$i_1 = b \sin \frac{2\pi t}{T}$$
$$i_2 = b \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - 120^\circ\right)$$



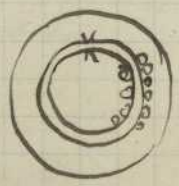


Das Feld mit 2 phas. Strom variert in Grösse u. 4 Geschwindigkeit stärker als das Feld mit 3 phas. Strom.

Über 3 phasige Feld. mit 6 Spulen geht man nicht hinaus.



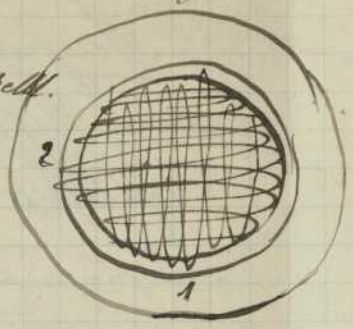
Genügend konstant nach Grösse u. Winkelgeschwindigkeit



Zwischenräume zwischen Ankereisen u. Ringeisen möglichst klein halten, deshalb Drähte durch Löcher

Behrungen Nuten geführt. Auch der Ring trägt Wickelungen.

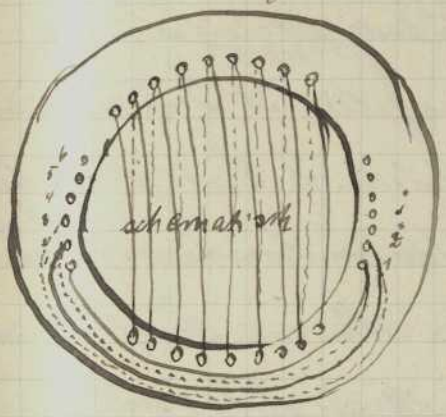
Solche Wickelung als Trommelwickelung hergestellt.



Innen das Feld erzeugen die Sehlüsse

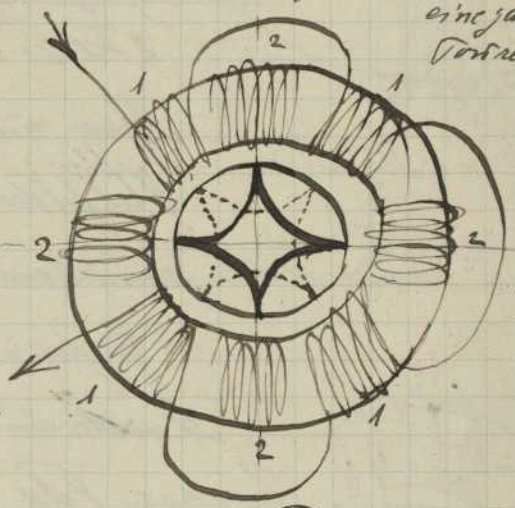
Gegenteil wie vorher. Erste Anordnung wird häufiger gewählt.

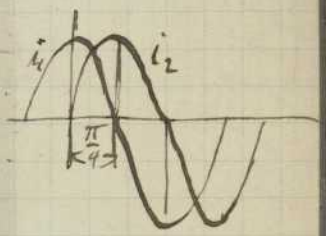
Einziger Vorteil ist doch Trommelwickelung.



Beschränkung der Polzahl, nach 2 Pol. m
eine ganze Drehung erfolgt 2 P.
Polzahl ist nur halb angen

2 Drehfelder geschaffe



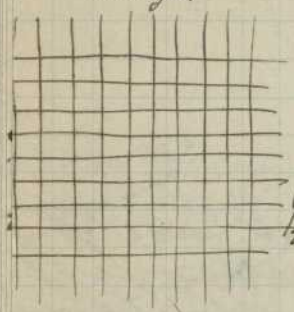


Man kann Trommelkonstr. anwenden welche das Feld erzeugen (s. Fig.) Nachteil ist das bei den 2 pol. Maschinen das Feld sich einmal herumdreht in der Zeit T; dies giebt große Tonzahl nun kann sich helfen indem man mehr Spulen wählt statt 4 Spulen 8 Spulen. Man schafft dadurch 2 Drehfelder.

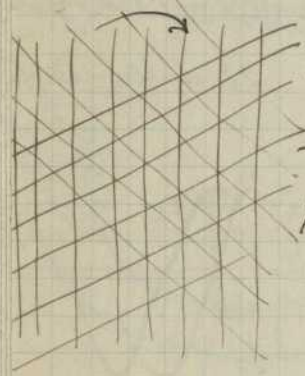
Asynkronmotoren.

$\varphi_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}$

homogen



$\varphi_2 = a \cos \frac{2\pi t}{T}$



$\varphi_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}$

$\varphi_2 = a \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - 120\right)$

$\varphi_3 = a \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - 240\right)$

Synkron: Geschw. des Motors steht in einem ganz bestimmten Verhältnis zur Geschw. des Generators, bei langen Kraftübertragungen angewandt (Marbach)

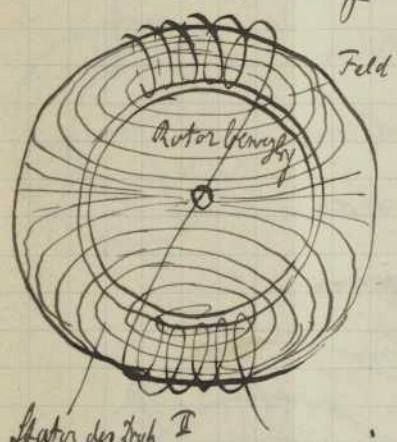
Asynkron: Geschw. variiert, laufen also von selbst an.

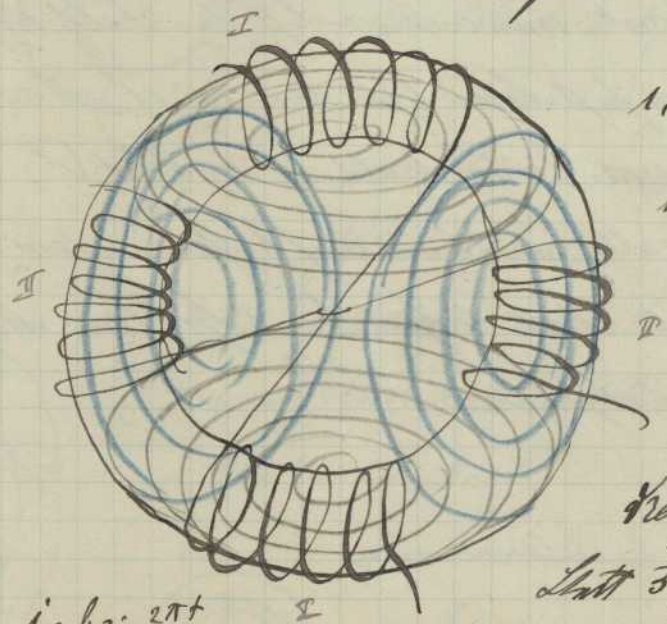
Beschreibung des Feldes. Drehfeld, 3 phas. Drehfeldmotoren

2 Felder ⊥ zu einander stehend u. in der Phase um 90° verschoben. N Drehungen des Drehfeldes in der Sekunde. In Wirklichkeit hat man keine Drehfelder von konstanter Grösse u. Geschwindigkeit. Um ein Drehfeld zu Stande zu bringen ist der Rotor nötig.

Periodisches Feld Wechselfeld.

$I \quad i_1 = b \sin \frac{2\pi t}{T}$

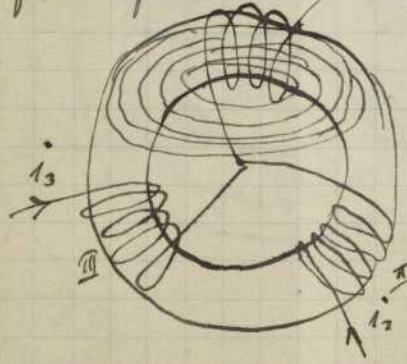




$i_1 = b \sin \frac{2\pi t}{T}$

$i_2 = b \cos \frac{2\pi t}{T}$

Zum Drehfeld 2 Wechselfelder nötig die sich zu einem Drehfeld zusammensetzen.

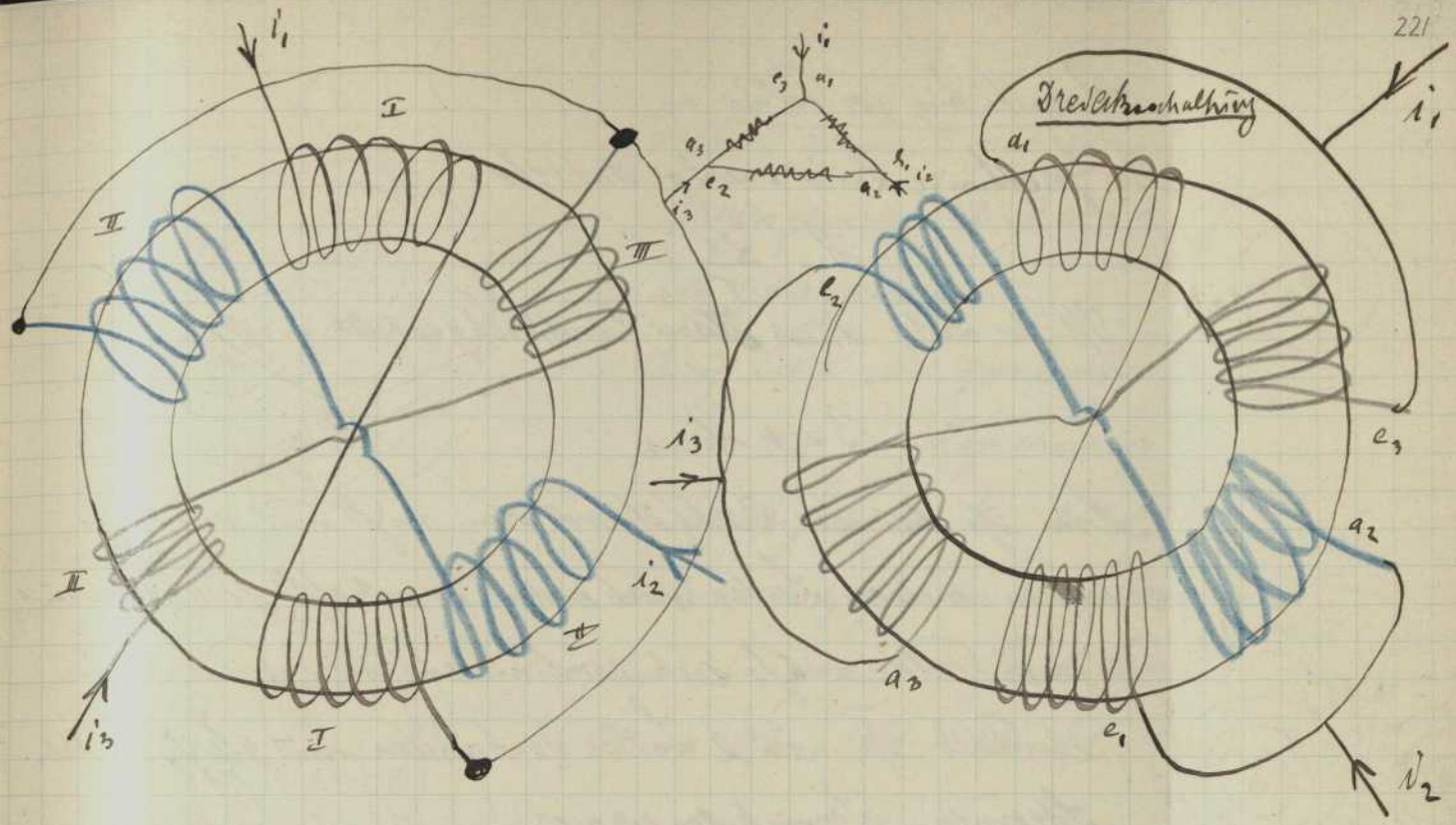


$i_1 = b \sin \frac{2\pi t}{T}$

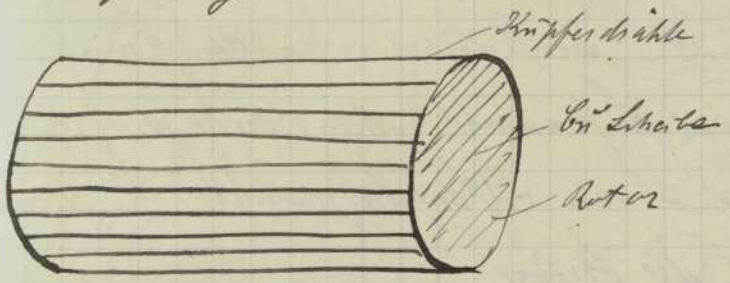
$i_2 = b \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - 120\right)$

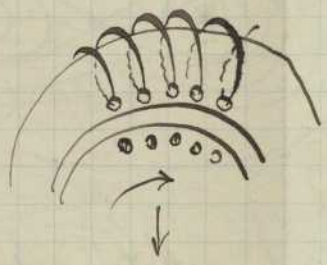
$i_3 = b \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - 240\right)$

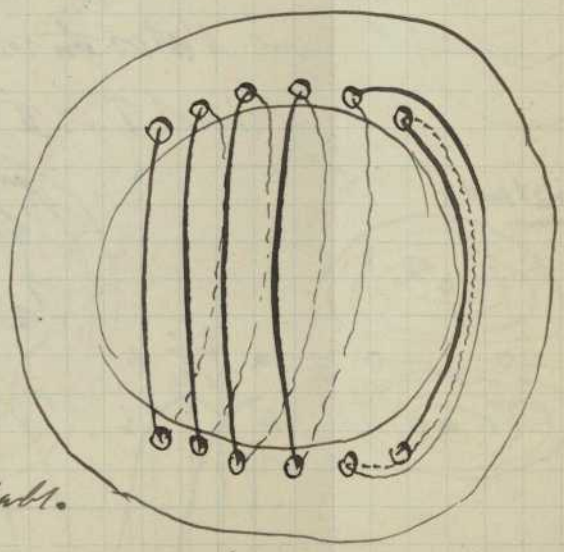
Statt 3 Spulen hat man in Praxis 6 Spulen dadurch homogenes Feld erzielt.



Praktisch haben wir keine Ringwickelungen da der Raum zwischen Rotor u. Stator klein sein soll.
Auch der Rotor hält Wickelungen nicht verlässlich angebracht.

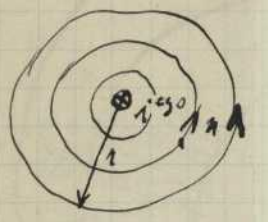






Das Drehfeld induziert in den Kupferstäben starke Ströme. Trotz Wickelung des Feldes angebracht daher Ringwickelung viel Strom gebraucht (Wirbelströme)
Bisjetzt hat man nur Gelenkmotoren gehabt.

Betrachtung der Felder

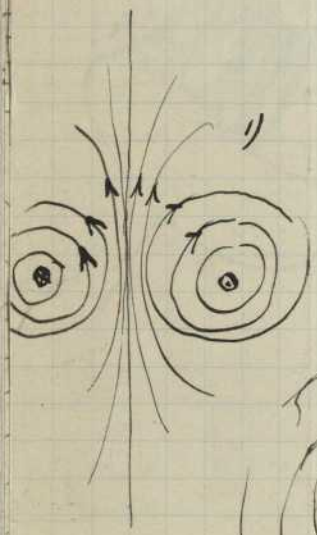


Der Geradlinige Leiter erzeugt das Feld:

$$H = \frac{2i}{r}$$

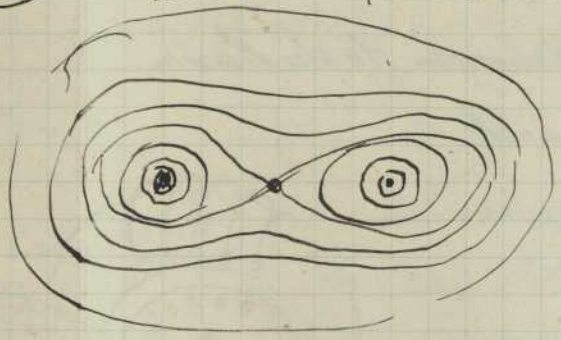
Ist der Leiter durch Eisen hindurchgesteckt erst:

$$B = \mu H.$$



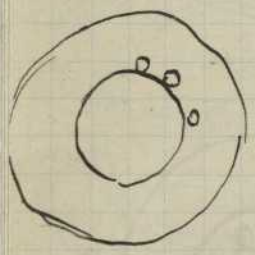
Nun ist bei den Drehfeldmotoren nicht nur ein Leiter sondern mehrere Leiter vorhanden so erhält jeder ein eigenes Feld welche sich combinieren entgegengesetzt gerichtete Ströme

Der Fall ist wenn 2 Leiter vorhanden mit gleichgerichteten Strömen. (Lemniskaten erhalten)



Motor mit 2 Phasen.

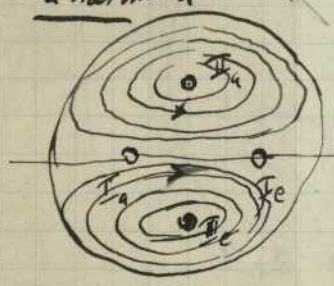
Man habe 4 Windungen. Im Stator sind Löcher vorhanden. Zwischen Stator u. Motor ist eine Luftschicht. Man denke sich jetzt Stator u. Motor durch einen Kreis dargestellt. So fliessen durch I u. II die Ströme:



$$i_1 = \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

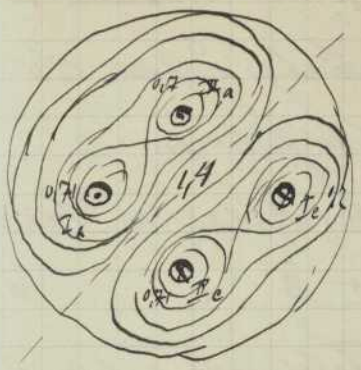
$$i_2 = \cos \frac{2\pi t}{T} \quad \text{(um 90° verzögert)}$$

Zustand a



Man hat jetzt keine endlose Masse mehr. In der Lage b ist Zustand anders geworden. Magnetisierungskurve einer Achse die um 45° verschoben ist

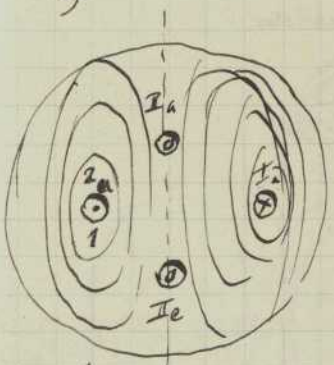
b.)



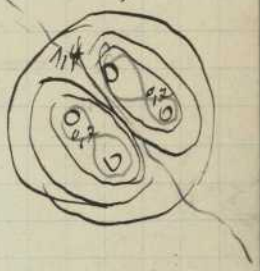
Feld ist der Stärke nach anders
Anders geworden. Es ist von 1
auf 1,4 angewachsen.
I ist bei e Max. geworden
während II a. Magnetisierung
in der Richtung der Axe. Hat
sich wieder gegenüber dem früheren
um 45° gedreht. Bei d beide
Ströme 0,7. Feld wieder 1,4.

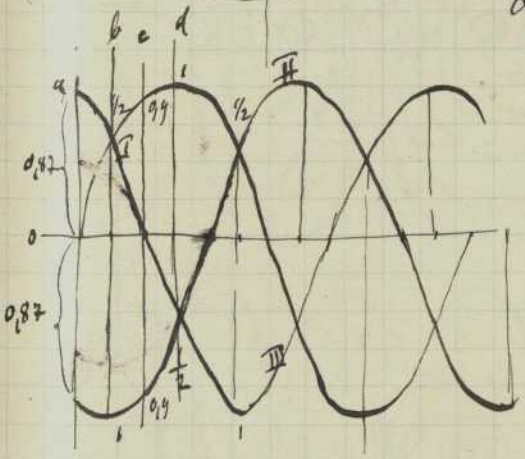
Ganz ähnlich bei 3phasigem
Strom.

c)

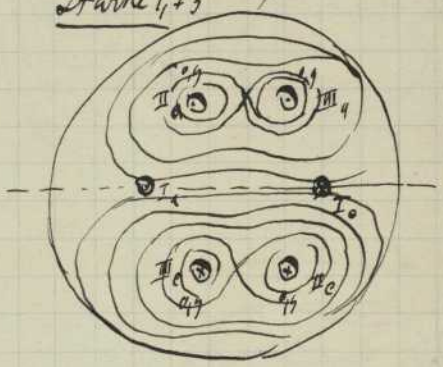


d)

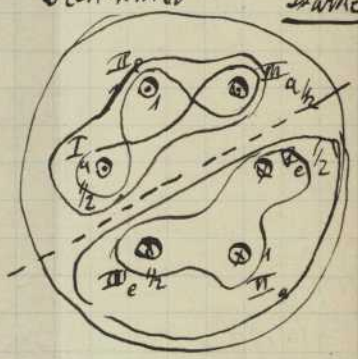




Stärke 1,73 a)

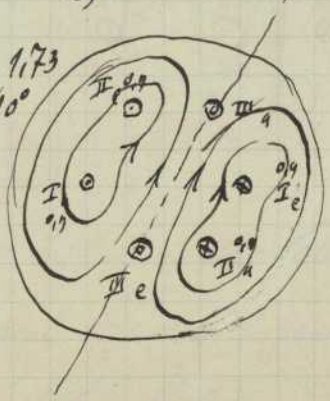


b) Dreh. um 30° Stärke



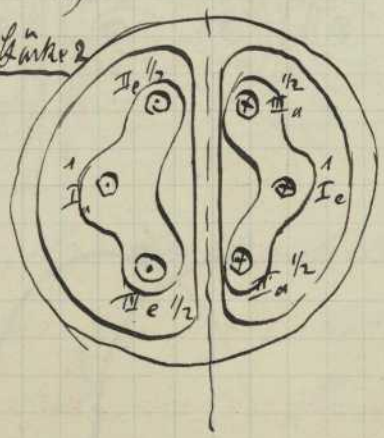
c)

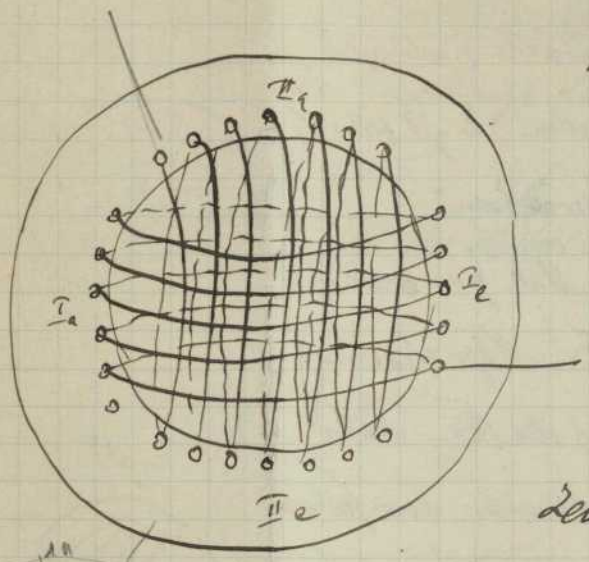
Stärke 1,73
Dreh. um 60°



d)

Stärke 2



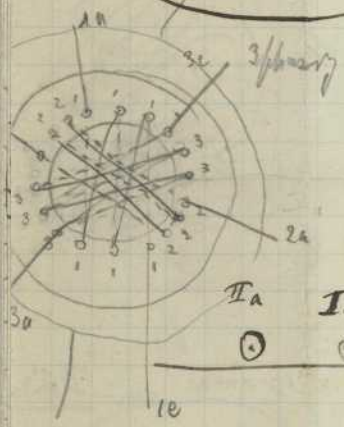


Wir haben nun nicht nur einzelne Stäbe sondern ganze Stabgruppen. Zu einem zyklischen Drehfeld gehören:

4 Stabgruppen bei 2phasigen Feldern

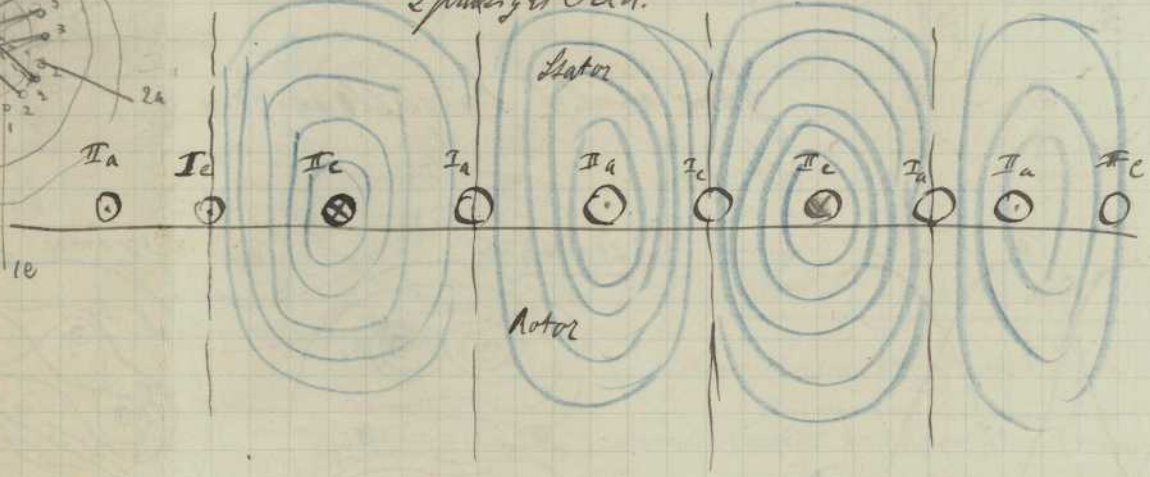
6 " " 3 " 4 "

Ein mehrphasiges Feld setzt sich aus einzelnen zyklischen Feldern.

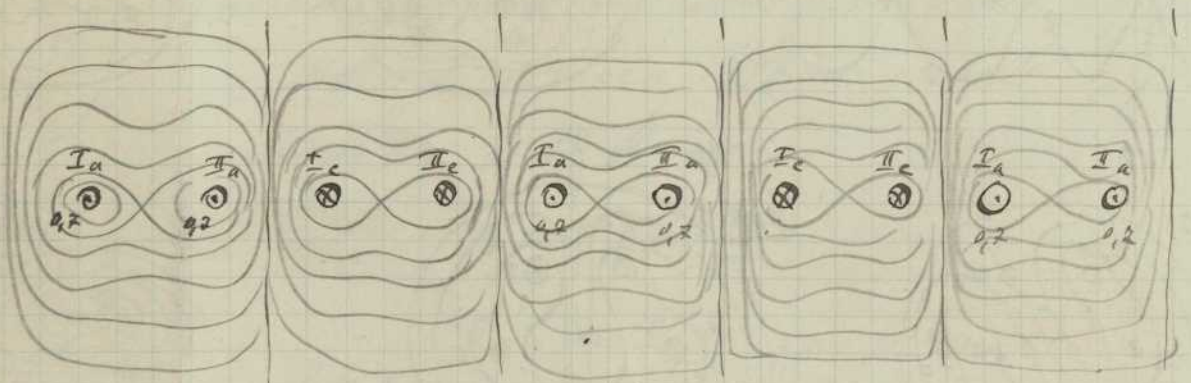


Angenommen ein mehrphasiges Feld.

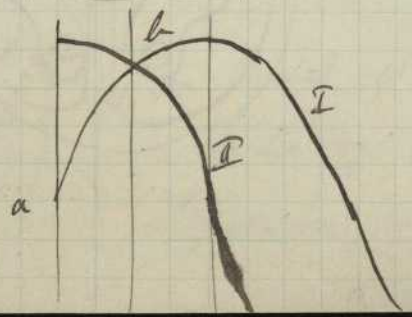
2phasiges Feld.



Stell. a.

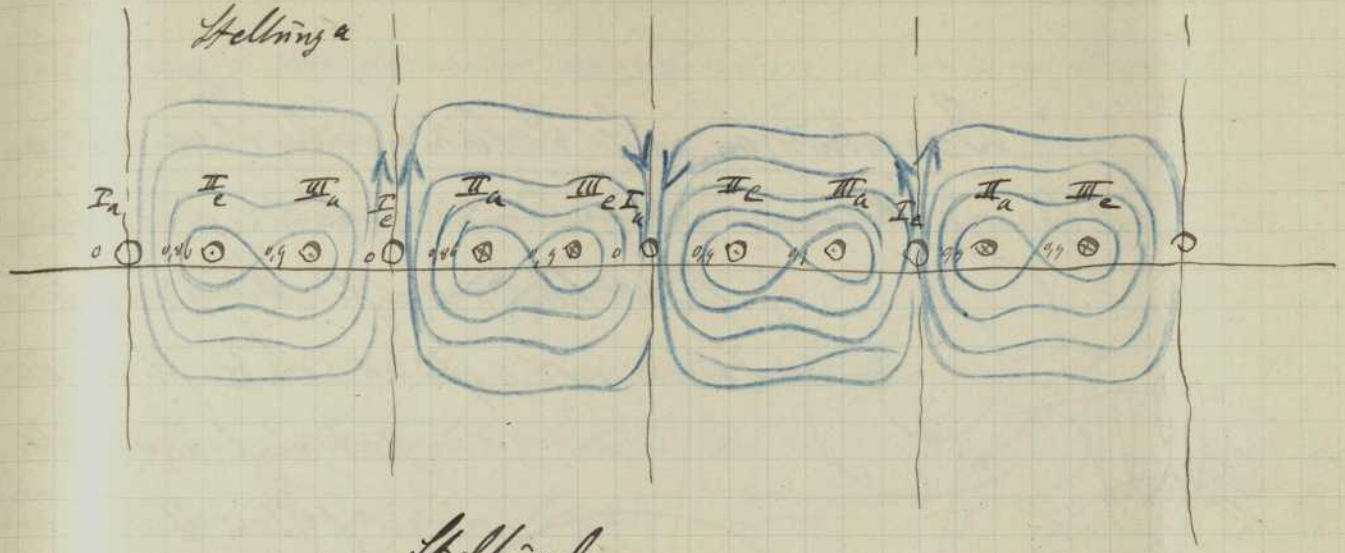


Stellung b.

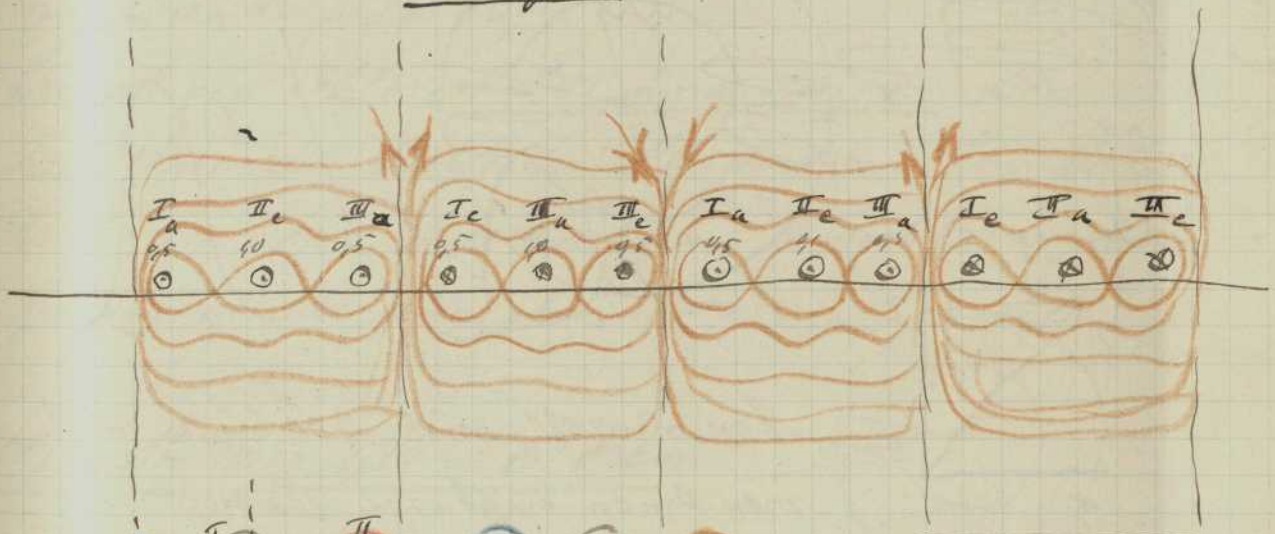


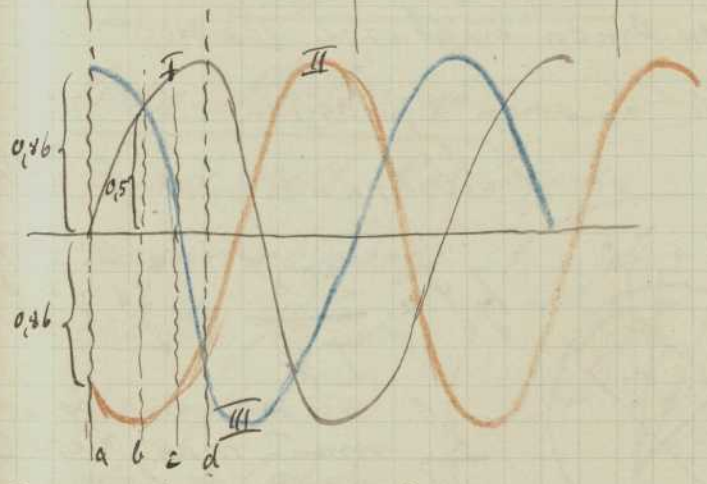
3 phasiges Feld.

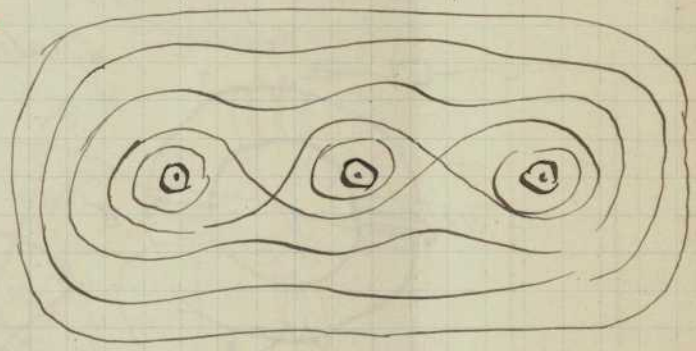
Stellung a



Stellung b.





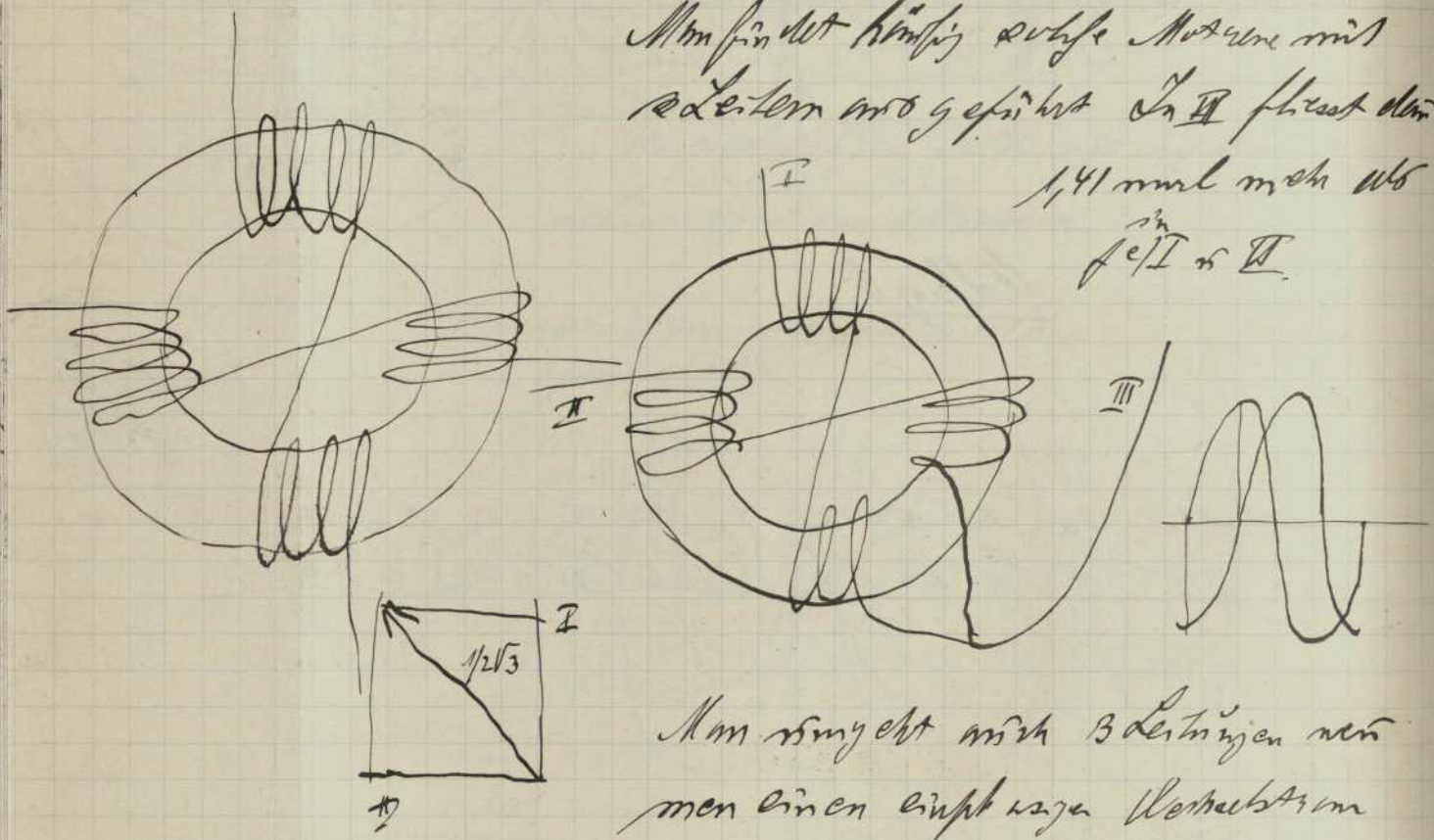


Bei 50 Cykel in der Sekunde, dann dreht sich das Feld 3000 mal bei 2 poligem Motor bei 4 pol. Motor 1500 mal bei 6 pol. Motor 1000 mal. in der Minute

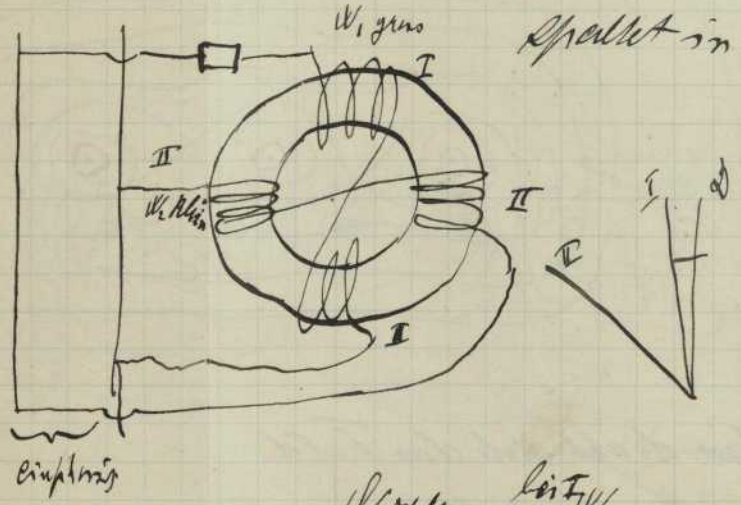
Bemerkungen über Zuleitung bei diesen Motoren

2 Phasige Motoren. Man braucht 4 Leitungen. Vorteilhaft

Man findet häufig solche Motoren mit 2 Leitern ausgeführt. In II fliesst dann 1,41 mal mehr als in I oder III.

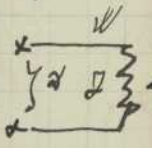


Man verzicht auch 3 Leitungen nehmen einen einphasigen Wechselstrom spaltet in einen 2 phasigen.



L Selbstinduktionskoeff. w Wechselzahl

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi L}{J W}$$



$\frac{L}{W}$ nennt man Leitungsfähigkeit des Wechselstromkreises

Wählt man bei I W_1 gross u. L klein dann $\operatorname{tg}\varphi$ klein.

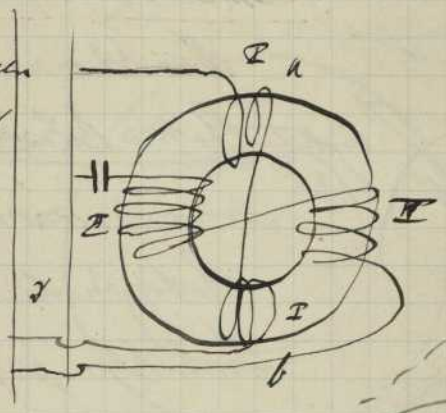
Bei II W_2 klein. Beide Phasen nähern sich an 90°

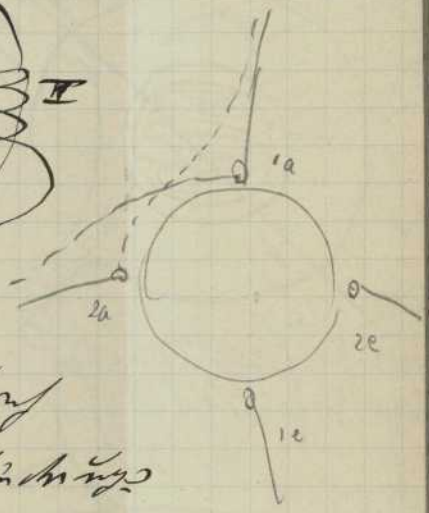
Denselben Zweck erreichen man folgendermaßen von Hutin u. Le Blanc unter Mitwirkung von Professor ausgeführt von Brown u. Brower für vorübergehende Zwecke.

Verwendung von Flüssigkeits Bandmotoren

Strom wird von einem dem Widerstand während Selbstinduktion verzögert

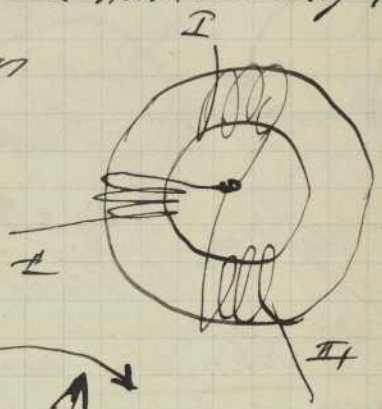
Auch nicht für Dauerbetrieb hier dann Klassen von einphas. Motoren nur um ein Drehfeld zu erregen





Wie ist ein solcher Motor umzusteuern. Durch Umkehrung des Drehfeldes Umschaltung mit Verbindung Leitte von Phase I_a mit II_a vertauschen. a nach b umgekehrt

Genau dasselbe für 3 phas. Motor



Vertauschen von I und II

Konstruktion der Motoren.

Synchron Motoren.

Wir haben nur einph. Mot. besprochen

Es gibt aber auch mehrphasige

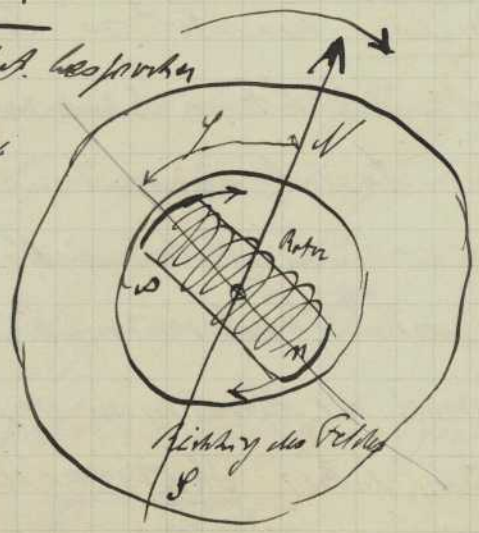
Rotor erhalte Gleichstrom

Strom über irgendeine Str.

Rotor muß erst synchron

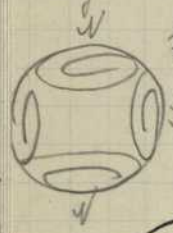
kreisen mit dem

Drehfeld Belastet man



den Motor so bleibt Rotor hinter dem Feld zurück um J oder läuft voran

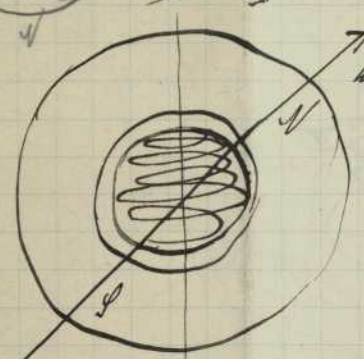
Pol kann mit mehreren Windungen versehen sein



Apolyger Läufer so kann man dem Läufer verschiedene Pole geben

synchron. Bei wachsender Belast. wird J grösser.

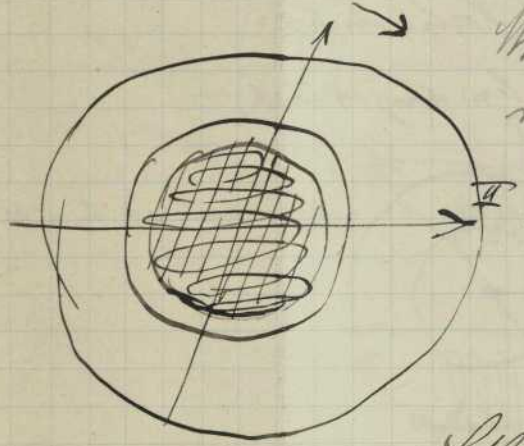
Es liegt nun gar nichts im Weg einen cylindrischen Rotor im Feld zu bewegen. Erzeugt durch Gleichstrom J.



Denkt man sich Gleichstrom weg so schliesst das Wickel. Rotors Kurz. Lässt man Feld sich drehen so sieht man sofort das Feld durchströmt Rotor induziert wird.

Induktion proportional $\frac{dK}{dt}$. Induktion am grössten wenn Ebene der Windungen in die Ebene der Kraftlinien fällt. wenn in II Rotor wird Strom Magneten Rotor wird sich drehen.

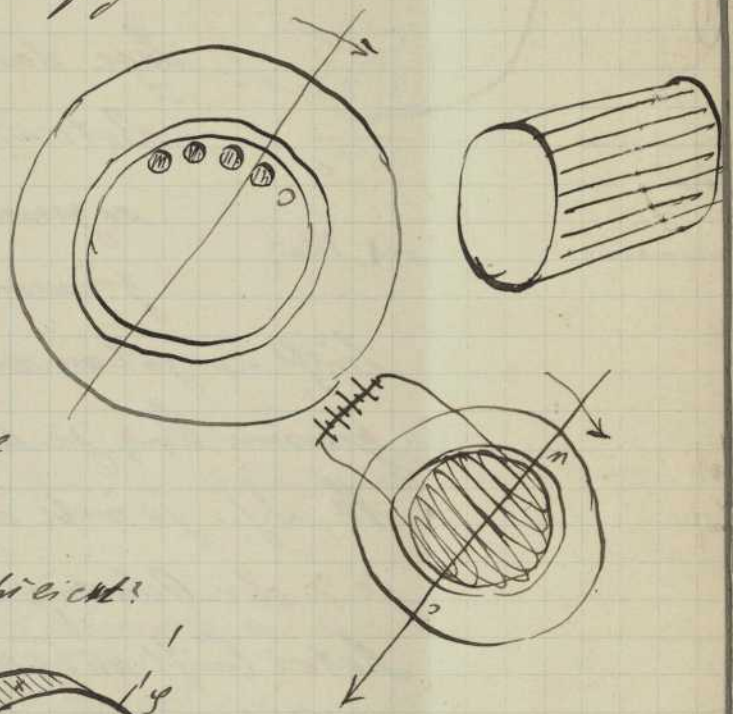
Sobald Rotor sich gerade so dreht wie Drehfeld wird keine Induktion mehr stattfinden Rotor wird wie synchron. Rotor läuft asynchron.



Was wirklich erreicht wird

Er bleibt dauernd zurück. Man nennt dies Schlüpfung des Rotors. Löst man Kurzschluss bei einer gew. Tourenzahl. so lässt Gleichstrom wieder so fällt sofort Rotor aus Asynchronismus in Synchronismus. Man kann also so einen Motor selbst anlaufen lassen. Verzichtet man auf Synchronismus d.h. Rotor bleibt etwas zurück so kommt man auf die einfachste Art von Asynchronmotoren. Man nennt ihn Käfig- oder Kurzschlussanker. Er besteht aus Blechscheiben wie der Stator

Man bringt Wicklung in Löcher. Es gehen durch die Löcher Stäbe u. die Enden dieser Stäbe durch Kurzschlussringe verbunden. Man hat also eine Art Käfig.

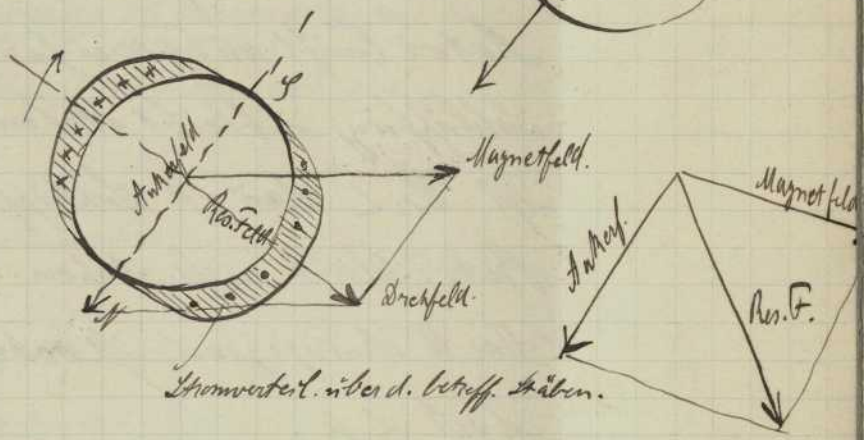


<u>Wie kann man einen asynchronmotor in Betrieb setzen?</u>

Je mehr der Rotor am Gestell gewinnt umso langsamer läuft das Drehfeld durch ihn hindurch d.h. desto schwächer wird der Strom.

In welcher Weise wird der Käfiganker in Wirkung?

Die Ströme erzeugen ein Feld, so dass wir 2 Felder haben, das ursprungl. Drehfeld u. das Feld der Rotorströme, das entsteht sobald sich der Rotor dreht.



Wie ist das Drehungsmoment beschaffen?

bei N_1 = Drehungszahl des ursprungl. Drehfeldes

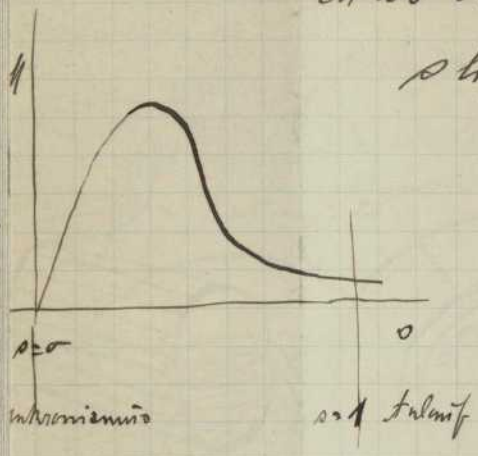
N_2 = " " Rotors (bleibt zurück)

$N_1 - N_2$ = absolute Schlüpfung des Rotors

$\frac{N_1 - N_2}{N_1} = s$ = relative Schlüpfung gew. nur Schlüpfung.

Drehungsmoment: $M = \frac{as}{1+bs^2}$ a u. b Konstante einer Maschine.

M als Ordinate s als Abszisse.



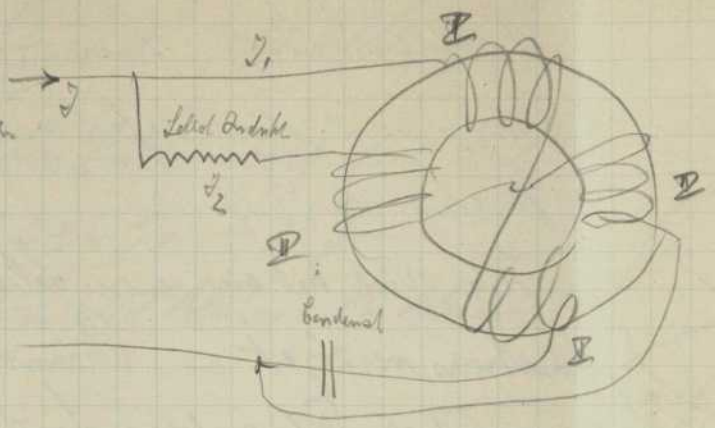
s liegt in den Grenzen s=0 $N_1 = N_2$ d.h. Synchronismus

$s_{max} = 1$; N_2 = Anlaufperiode.

Lage des max der Kurve ist abhängig vom Rotorwiderstand = W_r. Je grösser W_r um so grösser weiter hinaus tritt bei einem grösseren s das max hinaus. Der Motor läuft dann gut an wenn M gross ist d.h. s=1 d.h. bei grossem W_r; je < die Schlüpfung umso mehr sinkt M d.h. je mehr sich der Rotor dem Synchronismus nähert je > die Belastung umso > die Schlüpfung. Ein solcher Motor läuft ausgezeichnet an doch hat er sehr grosse Schlüpfung u bleibt stehen bei sehr grosser Belastung. Ist W_r < dann ist Schlüpf. klein bei voller Bel. u der Rotor bleibt nicht stehen. Doch schlechtes Anlaufen. Der Wirkungsgrad ist nahezu $\eta = 1 - s$ d.h. η > s dort < η.

Kann man die beiden Standpunkte nicht vereinigen? Anlasswiderstände in Rotorstromkreis einschalten. Man baut den Rotor mit kleinem W_r u schaltet beim Anlaufen W_r zu u schaltet sie aus wenn nötige Tourenzahl erreicht.

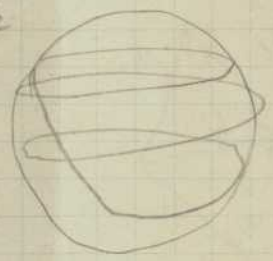
Tesla verwendete 2 phasige Motoren
ö frühere Anlage statt mit 4 Drähten
mit 2 Drähten sondern er eine
Hilfsphase einschaltete. Man hat
Dreiphasenmotoren verlassen doch man
wendet dieses Prinzip beim Anlaufen
des Motors an $L_2 J_2 = \frac{2\pi N 2}{W}$



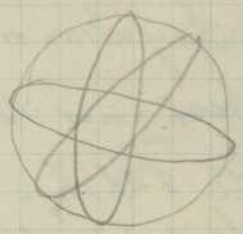
Brown u. Boveri schaltet nach einem Condensator ein dadurch
erhält man ein brauchbares Drehfeld. Kondensator besteht aus einem Gefäß
das mit Tonerde gefüllt ist u. den Metallplatten stehen

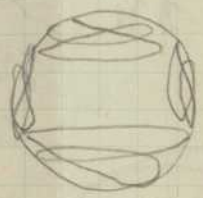
Asynchronmotoren

Läufer hat eine in sich kurz geschlossene Wicklung oder auf eine
Trommel sind sich kurz geschlossene Windungen. Man kann auf viel-
fach wickeln.

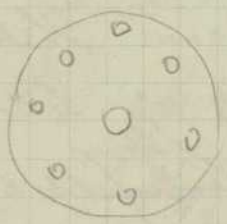


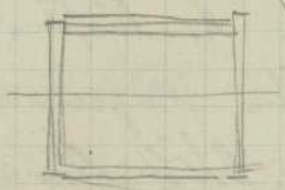
Käfiganker Kupferstäbe hintereinander
oder nicht



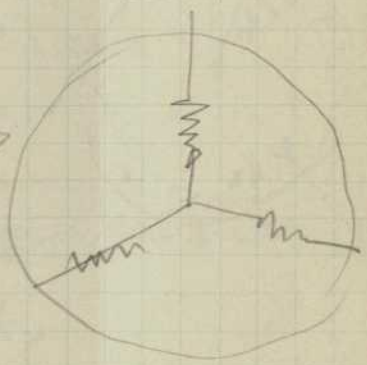


Man kann dem
Läufer auf Phasen-
wicklung geben



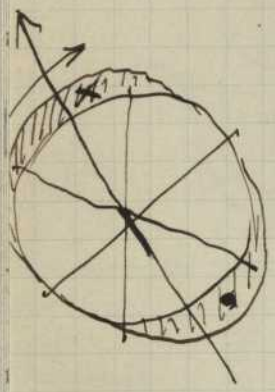


mit verschiedenen vielen Polen. Gewöhnlich 3 phasige Wicklung

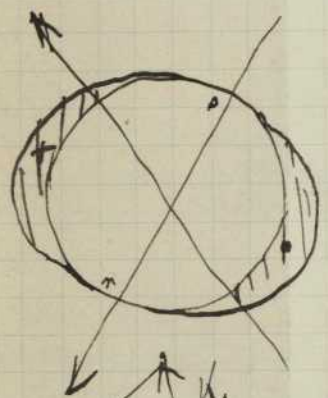


Man geht in dem Läufer von sich
Drehfeld schneiden die Stäbe
" Stehen nun fest im Läufer
wenn gänzlich gedreht so haben
Stäbe in Mitte des Drehfelds größte Induktion
während ⊥ zum Drehfeld keine Induktion

Man hat Ströme die in einem Magnetfeld liegen d.h. der Läufer und dem Drehfeld wirken infolge der elektromagnetischen Wirkung des Drehfeldes



Jede Wicl. hat eine gewisse Selbstinduktion Stärkster Strom tritt dadurch etwas verzögert ein. Phasenverzögerung Durch den Strom wird ein Feld erstehen Läuferfeld. Es ist nicht allein das Ständerfeld das das Läufer induziert sondern auch das Läuferfeld. also Kombinationsfeld



Ständerfeld K_1 Läuferfeld K_2 kombinieren sich zu K

K induziert Läufer erzeugt auf im Ständer eine elektromotorische Gegenfelt.kraft K_1 Läßt man Motor mit konstanter Spann. arbeiten so wird auch K_1 nahezu konstant sein somit auch K konstant

ein Asynkronmotor hat belastet oder unbelastet nahezu immer das gleiche Feld. Induktion des Läufers durch result. Feld K. K_1 läuft voraus. Hinten drein läuft Läuferfeld allein. Was geschieht jetzt. Leiter im Läufer ohne Strom. Das ~~Läuferfeld~~ Ständerfeld dreht sich mit der sekundl. Geschw. N_1 Läufer wird mit dem Drehfeld bewegt. Er wird sich mit wachsender Geschw. bewegen. Geschw. N_2 So wird nur noch $N_1 - N_2$ induzierend wirken

Sobald Synkronismus erreicht wurde so wird $N_1 = N_2$ u. es würde kein Strom mehr induziert werden

Der Synkronismus muß kaum wie erreichen da dann kein dreh. Moment mehr vorhanden wäre

$N_1 - N_2 = N_0 \qquad \frac{N_0}{N_1} = s$ relat. Schlüpfung

Zwischen 0 u. 1 ist die Schlüpfung. Kleinläufer steht dann 0 u. 1

Bei guten Asynchronmotoren $s = 2 \div 4\,\% \div 10\,\%$

Entlastet man Motor dann Schlüpfung noch kleiner. Am kleinsten bei Entlastung.

<u>Schlupfmoment beim belasteten Motor?</u>

Kommt in dem Läufer Strom entwickelt durch elektromot. Kraft. Wir

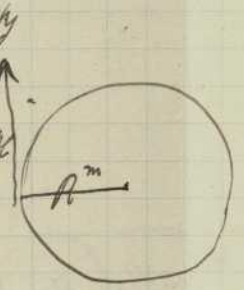
gross Induktion. Elektrom. Kraft sei E_2 $\qquad N_1 = N_2 = N_0$

$$E_2 = C\, \Phi_2 N_0 K 10^{-8}$$

Energie im Läufer $J_2 E_2 \cos\varphi_2 = A_2$

Entsteht Strom $J_2 = \frac{E}{\sqrt{W_2^2 + 4\pi^2 L_2^2 N_0^2}}$ $\quad W_2$ Widerst. des Läufer wickl. $\quad L_2$ Selbstind. Koeff. des Läuferwickl.

Es wird sich um Wechselströme handeln von der Periode N_0



Arbeit die geleistet wird bei einer Drehung.

$$A_2 = 2\pi \overset{M}{R P} N_0 \cdot 9{,}81 = J_2 E_2 \cos\varphi_2$$

Wir gross ist mech. Kraft die der Läufer bekommt wie oft wird der abgezogen

$$A_m = 2\pi R P N_2$$ (hier kurz Tourenzahl des Läufers in Betracht

Elektrische Arbeit im Läufer

$$A_2 = 2\pi R P N_0$$ (Tourenzahl um die der Läufer gegenüber Ständer zurückbleibt)

$$\eta = \frac{A_m}{A_m + A_2} = \frac{N_2}{N_2 + N_0} = \frac{N_1 - N_0}{N_1}$$

$$\underline{\eta = 1 - \frac{N_0}{N_1} = 1 - s}$$

Wirkungsgrad direkt abhängig von der Schlüpfung. Sie muß etwas kleiner sein da Eisenverluste eintreten.

$$k_{22} = c\, Z_2\, N\, K_1\, 10^{-8}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{2\pi N_0 L_2}{W_2}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4\pi^2 N_0^2 L_2^2}{W_2^2}}}$$

$$2\pi M N_0 \cdot 9{,}81 = \frac{k_2 \cdot k_2 \cdot W_2}{\sqrt{W_2^2 + 4\pi^2 L_2^2 N_0^2}\,\sqrt{}}$$

$$= \frac{k_2^2 W_2}{W_2^2 + 4\pi^2 L_2^2 N_0^2} = \frac{c^2 Z_2^2 N_0^2 K^2 \cdot 10^{-16}}{W_2\left(1 + \frac{4\pi^2 L_2^2 N_0^2}{W_2^2}\right)}$$

Gesamtes Drehmoment das im Läufer entsteht.

$$M = \frac{1}{2\pi \cdot 9{,}81} \quad \frac{C \frac{N_0}{W_2}}{1 + C_1 \frac{N_0^2}{W_2^2}}$$

$N_0 = s N_1$ $\quad$ N_1 geg. konst. Größe

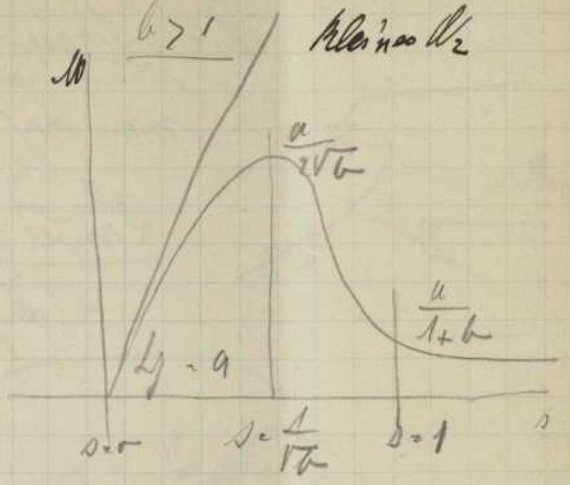
$$M = \frac{a_1 \frac{s}{W_2}}{1 + b_1 \frac{s^2}{W_2^2}}$$

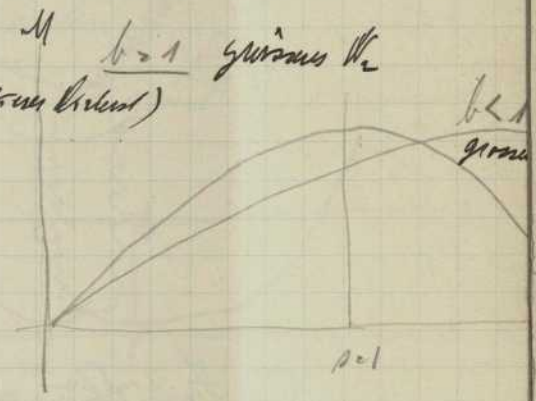
Ist W_2 auch eine konstante Größe dann

$$M = \frac{a\sigma}{1+b\sigma^2}$$

$$a = \frac{a_1}{W_2}$$

$$b = \frac{b_1}{W_2}$$

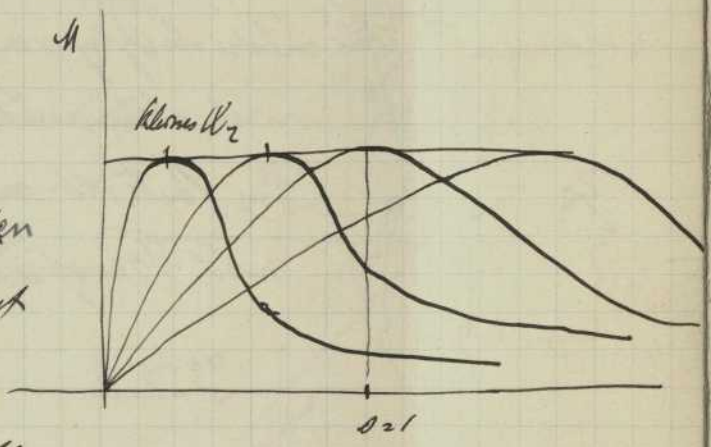




W_2 wird kleiner bei geringer Wickelung (kleinstes Moment)
Bei Schlüpfung bei dem das maximale Moment auftritt ist = 1.

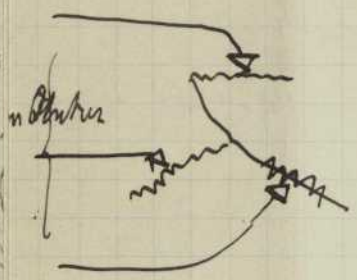
Wie groß ist M_{max}

$$M_{max} = \frac{a_1 W_2}{2 W_2 \sqrt{b_1}}$$



Ein Motor mit kleinem W_2 hat die Eigenschaft daß er eine gute Anfahrt Leerlauf u. Vollbelastung nicht allzu ungünstig Nachteil hat ein sehr geringes Anlaufmoment L_2 soll sich nicht ändern nur W_2 soll größer werden. Größere Schlüpfung wird schlechter Anlaufmoment ist größer läuft besser an. Bei $\sigma = 1$ hat man größtes Moment. Sehr starke Schwankung in der Tourenzahl durch geringeren Wirkungsgrad. Man kann häufiges Anreichen u. Kurzschließen Tourenzahl ziemlich konstant verwirklichen. Man gießt Ringe schließlich auf. Man führt

die 3 Phasen nach 3 Regulierwiderständen: Dies erkennt man durch Anbringen von Schleifringen

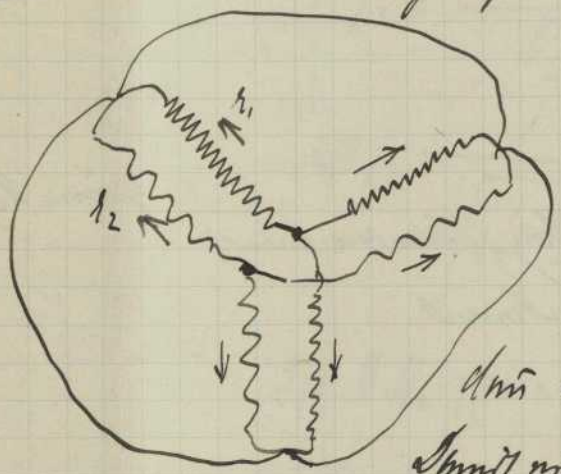


<u>Läufer mit Gegenschaltung</u> versehen von Siemens & Halske

Zugkraft wird vergrössert durch Verkleinern des Stromes, was abhängt vom $\cos\varphi_2$

$$\mathfrak{F}_2 \, \mathfrak{E}_2 \cos\varphi_2$$

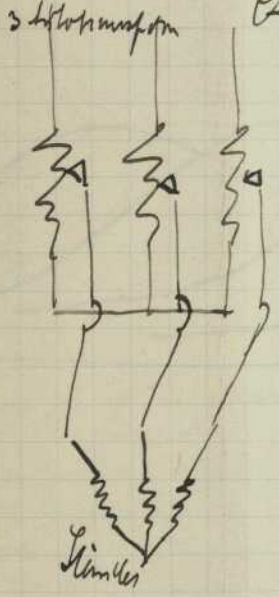
$$\mathfrak{E}_1 - \mathfrak{E}_2$$



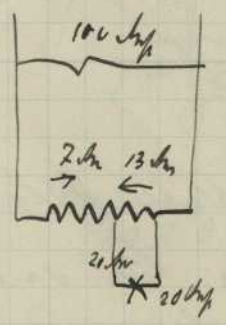
Keine Bürsten notwendig. Läuft Motor durch Herausziehen der Gegenschaltung.

Damit auch der ganze Strom in den Ständer gelangt, verbindet man

<u>Induktionsanlasser von Déri</u> mit Stromwandler.



Zur Inbetriebsetzung von Drehstrommotoren. Wenn Motor angelassen, sind alle Schleifkontakte ganz unten u. kommen im Betrieb nach oben. Stehen Kontakte oben durch Transformator ausgeschaltet. Hilfsmittel von Sprung. Dem gleichzeitigen Bedarf an Spannung aber umso mehr Strom zu erhalten. Steigert man bei Drehstrommotor die Geschw. so wird er asynchron laufen d.h. $s > 0$. Steigert die Geschw. noch mehr durch äusseren Antrieb (elektr. Bahnen bergab) dann $s < 0$ Motor wird dann <u>asynchroner Generator</u> u. liefert Strom in das Netz.



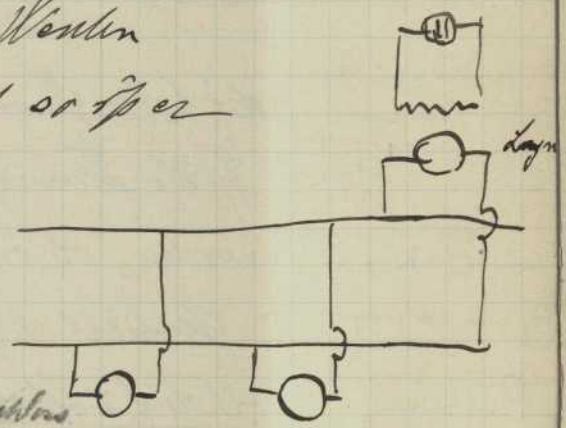
Synkronmotor.

Strom u. Spannung gleichphasig.

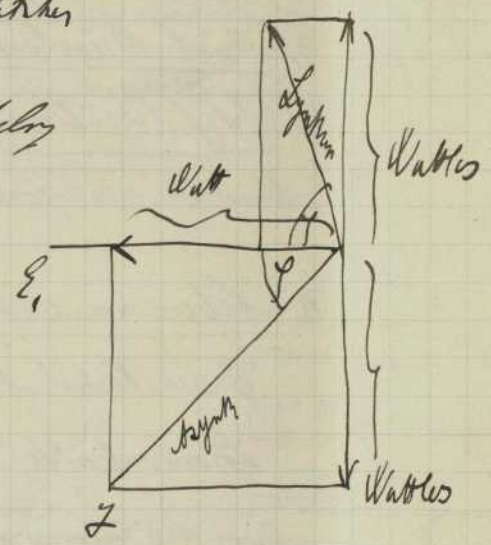
Bei Synkronmotor Phasenverschiebung

$\cos\varphi = 0{,}2 \div 0{,}8 \doteq 0{,}9$

Man hat nicht in der Hand elevellen zu ziehen. Läßt sich machen durch Hinzuschalten von einem Synkronmotor. Wenden Pole desselben von Gleichstrom sehr stark erregt so läßt er im Netz Phasenverschiebung aufheben

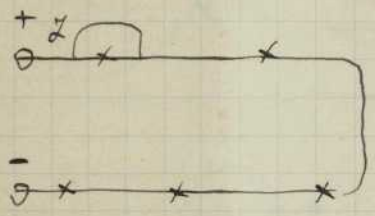


Man hat Leiter von Drehfeldmotoren gesprochen. Es gibt auch einphasige Synkronmotoren. Haben aufgeschnittene Anker. Sie gehen nicht von selbst an (Klemme) Gehäuse müssen mit einer Hilfsphasenwicklung versehen. Doch Drehfeldasynkronmotoren verwandeln Spieler keine Grosse Rolle Leistungsfaktor ohne Klemm.



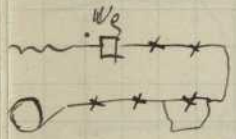
Stromverteilungssysteme.

I) Serien od. Hintereinanderschaltung



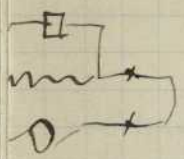
Einfache Schaltung geringer Materialverbrauch.

Nachteil: daß die einzelnen Stromverbraucher von einander abhängig sind; will durch autom. Kurzschluß jedes Verbrauchers vermieden. Ferner sind die hohen Spannungen nachteilig, wenn man nur einigermaßen viele Stromverbraucher hat. Zwischen konstant gehalten werden, ob viel od. wenig Stromverbraucher eingeschaltet sind.



Geschieht durch Regulierwid. was aber unrationell ist.

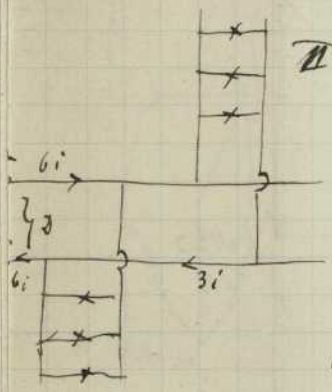
2) durch # Schaltung eines Regulierwiderstandes mit den Magneten



3) durch Bürstenverstellung; geht nur bei Gleichst. wegen Funkenbildung

4) Durch Regulierung der Generatorspannung. Mit zunehmender Belastung wird Umdreh. gesteigert. Handregulierung ist besser wie automatische.

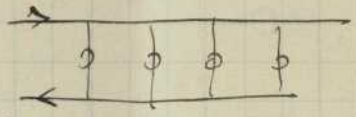
II Nebeneinander od. # Schaltung



Großer Vorteil ist die nahezu vollständige Unabhängigkeit der einzelnen Stromverbraucher sofern nur Spannung konstant gehalten wird. Es wird dann zwar die äußere Spannung etwas schwanken, jenach dem Stromverbrauch aber nur wenig. Ferner hat man niedere Spann. d.

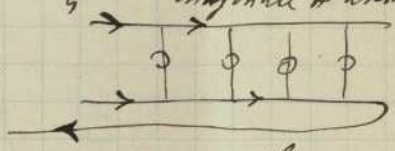
Nachteil Komplizierter Leitung größerer Cu Verbrauch. Strom einer Lampe = i, verschiedene Leitungsstücke haben verschied. Strom. Man hat eine Summation des Stromes

man braucht keine aus Lam. Lichtzeichen alles sondern kann jeden Laternfuß ohne weiteres wegnehmen die andern erhalten dann etwas mehr Strom was bei vielen Gliedern muß in Betracht kommt.

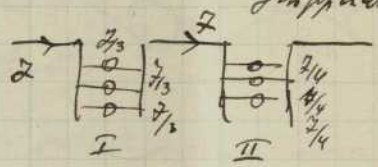


Verschiedene Leitungssysteme & Schaltung.

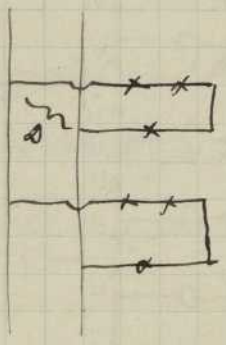
Man könnte hier z. B. auch gleich Glühl. in I u. II verwenden auch kann nicht beliebig eine Lampe weggeschaltet werden, da sonst die andern zu Grunde gehen können.



Gruppenschalt.



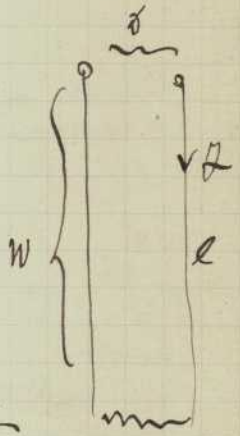
Kommt häufiger vor u. ist ohne Umstand aus Lustrien.



Mehrleiter u. spez. Dreileitersystem.

Man habe 2 Leiter mit δ 110 V.

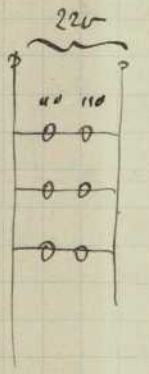
Es ist zweckmäßig δ = 220 V. zu haben um dünnere Leitungen zu erhalten. Δ sei der zulässige Verlust in jeder Leitung die Hälfte

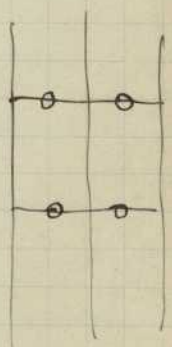


$$\Delta = \delta W = J \frac{\sigma 2 l}{f}$$

$$f = \frac{J \cdot 2 \sigma l}{\Delta}$$

Es verhält sich $p = f\, l = \frac{2 \sigma J l^2}{\Delta}$



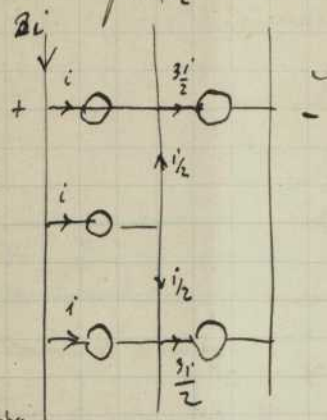


Je kleiner also δ desto kleiner wird q δ muß dabei größer. Bei δ 110 V. sei Δ = 2 V.

δ = 220 V. " Δ = 4 V.

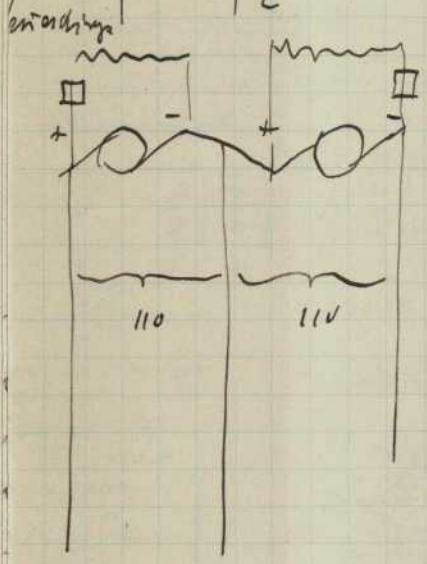
So wird also bei doppelter Spann. nur $\frac{1}{4}$ Kupfer gemäß. So gab aber nur Glühlampen mit 110 V. deshalb schaltet man 2 Lampen hintereinander. Um die Unabhängigkeit der Lampen legt man noch einen Mittelleiter

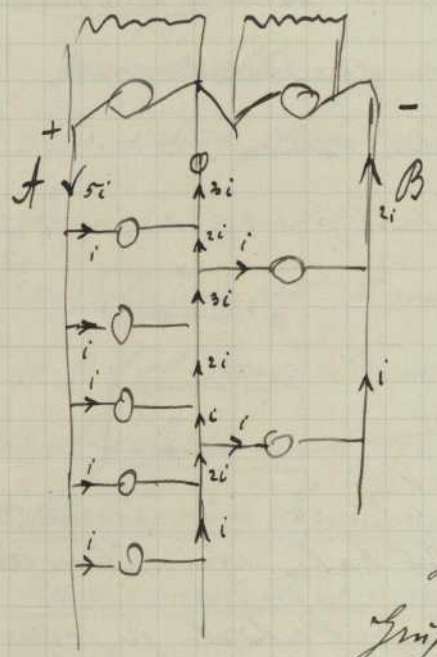
früher



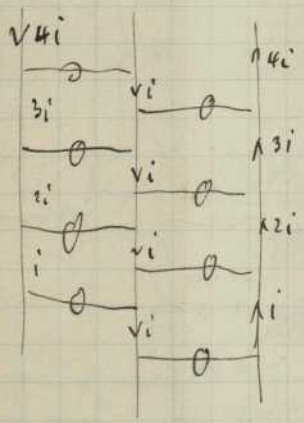
Lampe der einen Gruppe ausgeschaltet.

Zwischen den beiden Gruppen soll gleiche Spann. sein.
Man hat 2 getrennte Stromerzeuger. Jede Gruppe hat einen eigenen Generator. Man kann die Spann. der beiden Gruppen je auf 110 V. konstant halten. Jedes Glied liefert 2a i.e. richtigen Strom.





Die Lampen der beiden Gruppen können nicht von selbst durch den Mittelleiter abwerfen.
Hat man nur einigermassen gleichviel Lampen in den beiden Gruppen so wird in keinem Teil des Mittelleiters ein starker Strom herrschen. Er kann also ganz dünn sein.



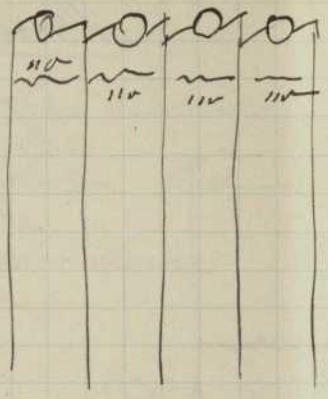
<u>Der Mittelleiter führt die Differenz der Belastung d. beiden Drahtenden.</u>

30 ÷ 40 % Ersparnis wenn man vom 2 Leiter zu dem 3 Leitersystem übergeht. Mittelleiter wird immer nackt gewählt.

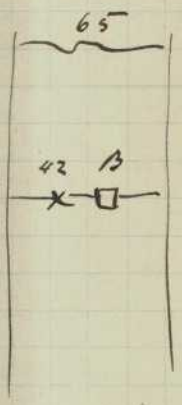
Der Mittelleiter wird nackt in die Erde gelegt, auch in den Häusern nackt.

Anwend. dieses Prinzips in ausgedehnterem Maße.

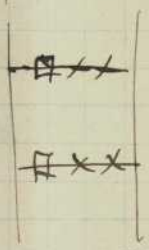
<u>5 Leiter System</u> Hat sich nicht eingebürgert
zu kompliziert. Man kommt allerd. aus
mit dem 3 Leitersystem. Man hat 4 fache
Spann. Man braucht $\frac{1}{16}$ des Kupfers das
man beim Zweileitersystem brauchen würde



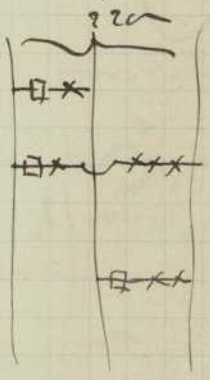
Zweckmäßiger als 5 Leiter System ist Hintergehen mit der Spann.
Neuerdings 220 Volt Lampen. Bringen allerdings mehr Arbeit
Doch die Normallampe wird für 220 Volt ein gerichtet Kreuzung
und der Mittelleiter dann überflüssig.



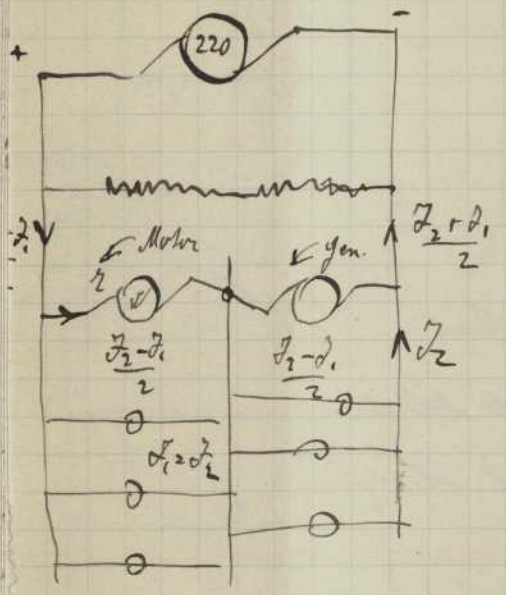
Bogenlampe braucht mit dem Beruhigungswiderstand 65 Volt
Spannung abgekommen. Hintereinander schalten der Bogenlampen
dann kommt man aus mit 110 Volt. Geht die eine
aus so dann die andere doch weiter brennen
wegen eines automatischen Kurzschlusses in der
Lampe Hat man nun 220 Volt so kann man
wie bei Glühlampen schalten od. 4 hintereinander
mit Benützung eines kleinen Beruhigungswiderstandes



Neuerdings hat man Bogenlampen mit Lichtbogen im
luftleeren Raum (Tantalum Lampe) wodurch Kohle sehr lang
anhält Lichtbogen viel größer Spannungsabfall nämlich
110 ÷ 220 Volt eine Lampe.



Maschinenschaltung für Mehrleiter



Ausgleichsmaschinen od. Akkumulatoren

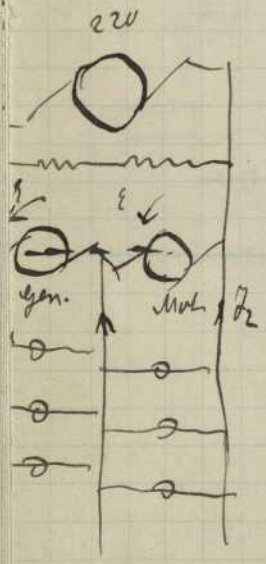
Die beiden Ausgleichsmaschinen brauchen nicht in der Hauptleitung zu stehen sondern irgend wo in der Leitung

1) Die beiden Netzhälften seien gleich belastet. Der Mittelleiter ist dann stromlos. Die beiden Nebenschlussmasch. verhalten sich dann wie 2 hintereinander geschaltete leerlaufende Motoren.

Die el. Motorische Kraft ist abhängig von der Tourenzahl u. der Erregung. Die elektrom. Gegenkraft E ist bei den Maschinen gleich.

Wenn nun $J_1 < J_2$ der Mittelleiter muss die Differenz der Ströme führen. Die eine Masch. wird dann Motor die andere Generator.

$$J_1 = J + J_1 U \qquad J_2 = E - J_2 U_1$$



Bei sehr kleinem U ist $J_1 = J_2$

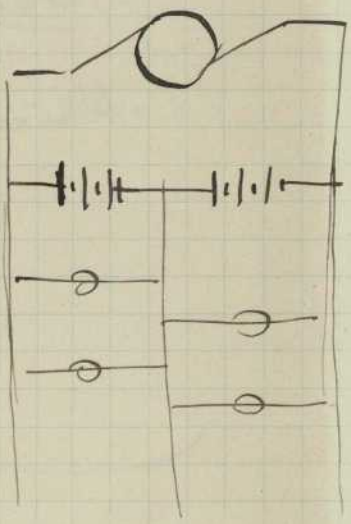
2) Es sei $J_2 < J_1$

So wird dann die Maschine der weniger belasteten Hälfte angehört Motor. Für Inbetriebsetzung

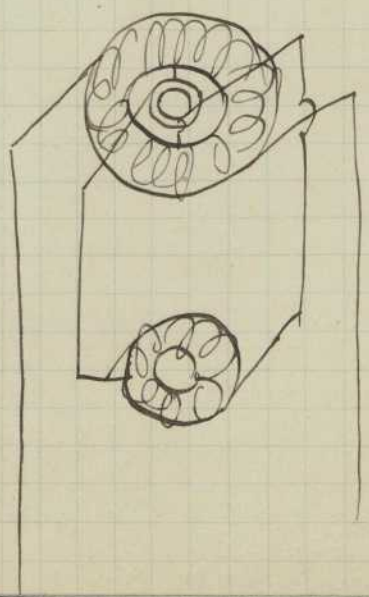
Ist ein Unterschied vor den Andern nötig.
Die beiden Maschinen kann man auch zu einer vereinigen wobei die beiden Wickelungen getrennt sind. Eine Wickelung ist für den Generator die andere für den Motor. Der 2 A W auf dem Anker ist 0 man braucht also keine Bürstenverstellung.

<u>Akkumulatoren als Ausgleicher (Spannungsteiler)</u>

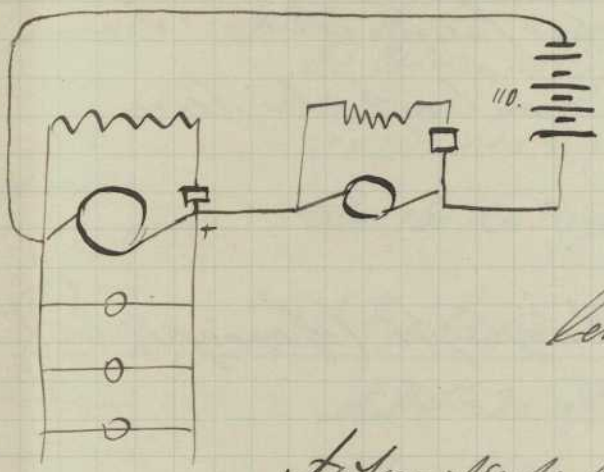
120 Zellen bei 220 Volt
Der Mittelleiter wird durch
Mitte der Akkumulatoren angestellt.
In Wirklichkeit sind die beiden
Batterien mittelst Zellenschalter
auf die betreff. Spannung einzustellen



<u>Spannungsteiler der A.E.G.</u>
Mittelst Wechselstrom



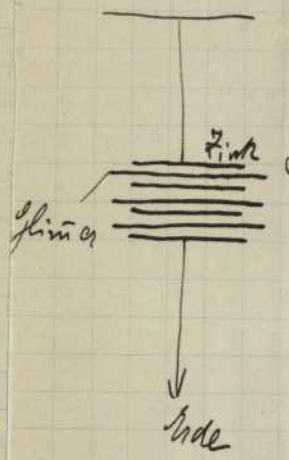
Um bei Centralen während des Ladens der Akkumulatoren den Stromverbrauch Strom liefern zu können muss man mit Zusatzmaschinen arbeiten



Man kann eine solche Zusatzmaschine auf Leitung als Zusatzmach. benützen

<u>Automatischer Regulator von Thury</u>

(f. Akkumulatoren)

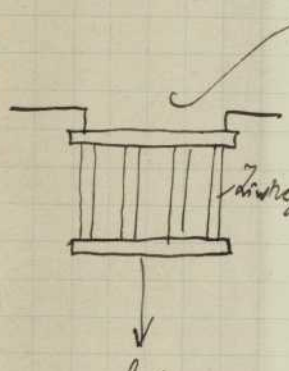


Blitzableitungen

Müssen sich in einem geschlossenen Kasten befinden. Das Zinkgas das sich bildet lässt Lichtbogen aus. Verzögerung nicht leitend. Ein Blitz hat 10 ÷ 20000 Amp.

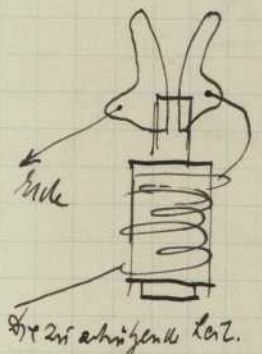
$\frac{di}{dt}$ = Selbstinduktion ist daher sehr hoch.

Vorrichtung von Wirts



Thomson.

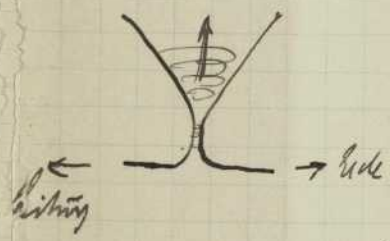
Elektromagnete in Blechröhre eingegossen. Erzeugt ein Feld. Beiden Straßenbahnen. Feld verhindert Funkenbildung. (Stark Funken)



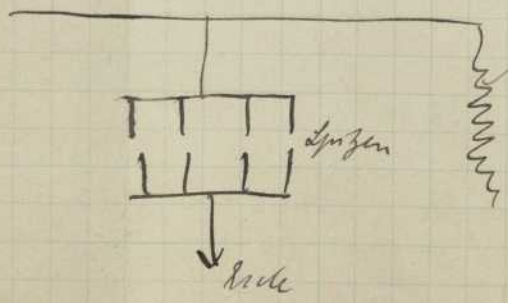
Thury

Hochspannungsableiter von Siemens & Halske.

Licht von einem magnetischen Stahlmasse vorrichtet ab. Auf 2 Hörner. Infolge der elektrodynamischen Wirkung. der Hörner. die entstehende Wärmebildung treiben den Bogen hinauf. Nachbar. Hörnerlänge kann sich einregen. geht gar Kurzschluss



Spitzenblitzableiter



Hohe Impedanz wenn Blitz einschlägt deshalb geht er lieber über Spitzen

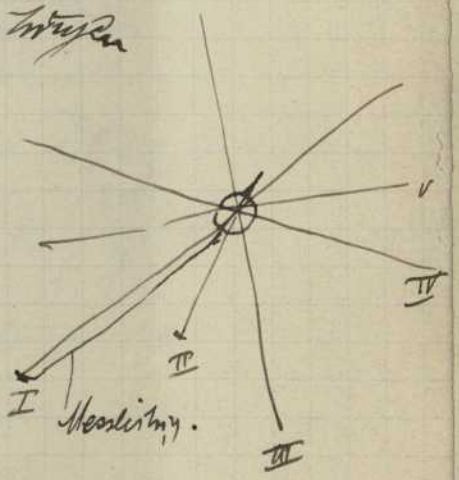
Stromverteilung bei einer größeren Centrale

Von den Schalttafeln aus gehen Schaltleitungen u. Speiseleitung. aus ohne Verzweigung u. gehen zu Speisepunkten. Hier beginnen die Verteilungsleitungen. Diese Speiseleit. haben den ganzen Strom für den Bezirk zu liefern. Man mit einen ziemlich großen Spannungsverlust zulassen. Man kann Leitung dadurch verkleinern. Man gestattet 10 f. 15 % Spannungsabfall in der Speiseleitung

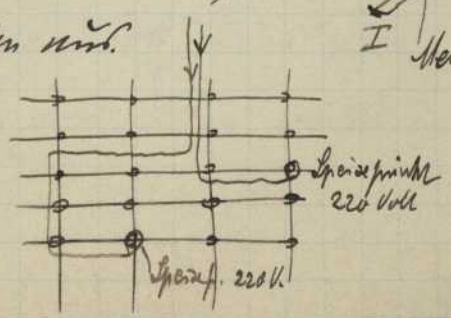
$$\frac{2\sigma J l^2}{\Delta}$$ l im Kundt

An den Enden der Speiseleit. bestehen am sich Normalwert Spann. zu erhalten. In der Centrale selbst veränderliche Spannung. Es muss ein Mittel geben in der Centrale die Spann. der Speisepunkte zu messen. Man hat in der Centrale Spannungsmesser die mittelst Messleitungen mit den Speisepunkt verbunden sind.

Wird nur ein Voltmeter benützt so muss jedesmal umgeschaltet werden



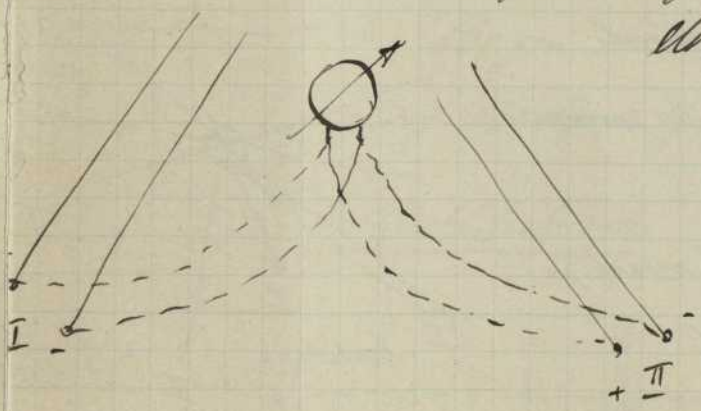
Verteilungsleitungen bilden ein vielmaschiges Netz. gehen von den Speisepunkten aus. Von diesem Netzwerk aus dann Hausleitungen.



Jeder einzelne Punkt erhält von 2 Leitern aus Strom. Um konstante Spann. zu erhalten verbindet man die Spann. mit Ausgleichleitungen von denen nicht abgezweigt wird. Netz wird so berechnet dass von Speisepunkten aus nicht mehr als 2 ÷ 3 % Spannungsabfall eintritt bei Vollbelastung. Elektrizitätswerk wird ebenfalls von Speiseleitungen (Punkten aus gespeist da Centrale höhere Spann. hat.

Wie macht man es dass an den Speisepunkten gleiche Spann. hat?

Hauptsache dass Netz so berechnet ist dass es sich selbst regulirt. Angenommen man habe schon Netz dann müsste die Reguliernng eines Speisepunktes genügen. Hat dieser Punkt konstante Spann. dann wegen des einen gut berechneten Netz die andern Spann. als wenig ab. Hält man allen Verbrauchern den gleichen Widerstand so wird das Voltmeter das arithmetische Mittel aus all den Speisepunkt-Spannungen.

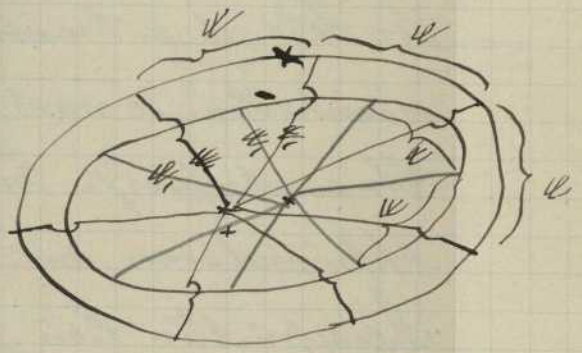


$$\frac{\frac{S_I \quad S_{II} \quad S_{III}}{S_I + S_{II} + S_{III} + \ldots}}{n}$$

Beispiel eines selbstregulierenden Netzes. Anwendung mit Blockstationen.

Ringleitungssystem von Frankfurt

Durch den ganzen Bezirk gehen 2 ringförmige Leiter. Stromerzeugungsstelle in der Mitte des Ringes. Netz von gleichem Querschnitt. Alle pos. u. negativen Speiseleit. haben den Widerstand, sehr kompliziertes Verhältnis, aber gleichmäßig über die ganze Fläche verteilt.



Alle Speisepunkte sollen gleiche Spann. haben

Centrale 225 V. Speisepunkte 210 V. Es müssen in allen Speiseleit. gleiche Spann. verlust eintreten. Speiseleit. ob Bus oder Lampen haben gleichen Widerstand haben verschiedene Dimensionierung der Drähte

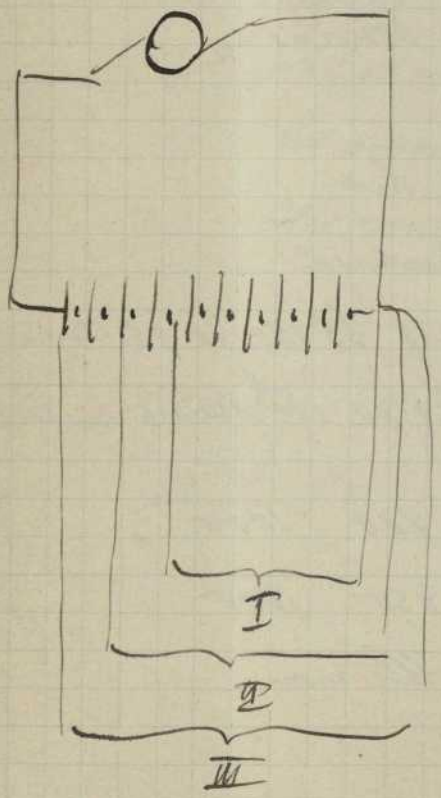
Feuersicherheit der Drähte. Verband d. Elektr. hat Normen aufgestellt. Stärke der Drähte Querschnitt

mm²	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
Ampère	3	4	6	10	15	20	30	40	60	80	100	130	165	200	230

185	240 mm	310	400	500	625	800	1000
225	330	400	500	600	700	850	1000

Unter diese Querschnitte bezw. über diesen Strom sollte man nicht gehen.

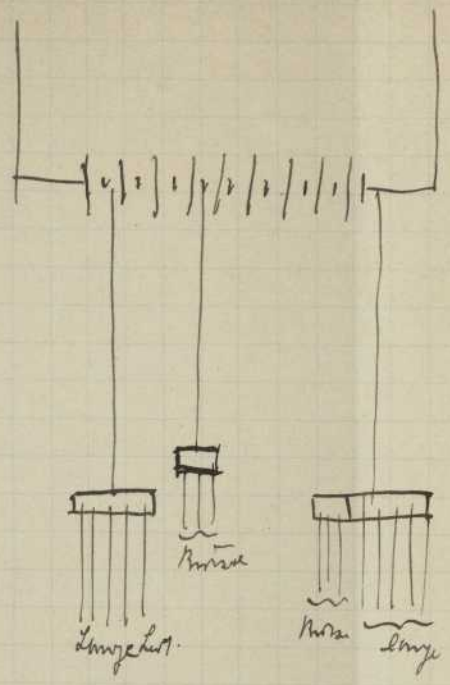
Für kurze Leitungen feste Widerstände eingeschaltet. Entsteht durch gleiches Spann. abfall wir in den langen Versuchen nicht rationell. Man könnte auch für jede Speiseleitung einen veränderbaren Widerstand einschalten. Hauptstrom Spannungsregulator. Nimmt daher das ganze Strom durch W. Widerstand mrs. Von Hand od. automatisch. Man muss mehr Widerstand einschalten je nach Konsum. Apparat ist teuer. Unwirtschaftlich. Energieverschleuderung. Sobald Akkumulatoren zur Verwendung kommen Spannung an den Speisepunkten konstant erhalten werden. In den Centrale können Speiseleitungen ganz verschiedene Spannungen haben. Jede Speiseleitung hat Zellenschalter.



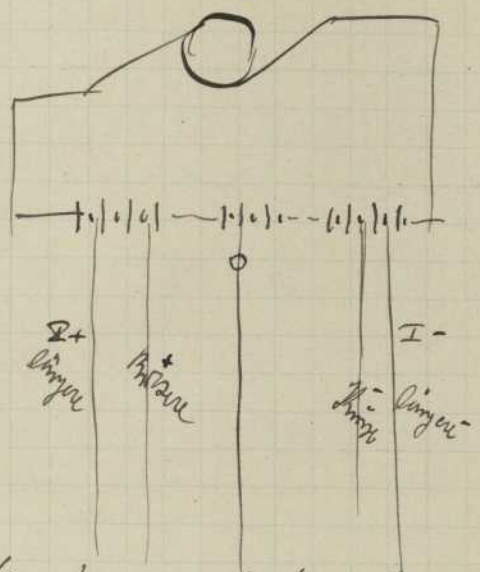
Hat man an kleine Spann. am Speisepunkt dann können Zellen eingeschaltet werden. Vielheit der Zellenschaltung hier deutlich. Schaltung zeigt dass es gar nicht nötig ist jeder Zeit einen Zellenschalter zu geben. Man geht den langen Leitungen einen Z. Schalter u. den kurzen Speiseleitungen einen Z. Sch. Man regulirt auf einen mittlere Spann. für kurze u. lange Leitungen ein. Den Tag über fressen man lange u. kurze Leitungen da Consum konstant u. regulirt auf eine mittl. Spann. Abends

Kann der Zellenmot. zur Verwendt.

<u>Wie gestaltet auf dasselbe bei 3 Leiterschaltung?</u>



Regul. Vollst. dieselbe. Hat auf gar Können Anlass Anzahlersmasch. anzuwenden



Es kann sein dass in einer od. der andern Leit. ein aber grosser Lastsprung eintreten kann. (Volkspeed) Anwendt. einer Anzahlmaschine (Spannungsabhängigmaschine) kann Lerchenmaschine sein.

Elektrotech. Messkunde I.

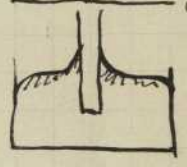
Allgem. Regeln.

Stromverbind. müssen gut leitend sein. Anwend. kurzer Drähte. Ende der Drähte gut reinigen. Verbind. nicht durch Zusammenwickeln sondern durch Klemmschrauben

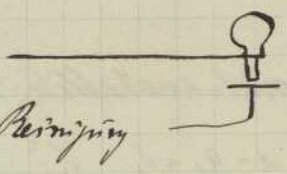
Verbind. muss übersichtlich angeordnet werden.

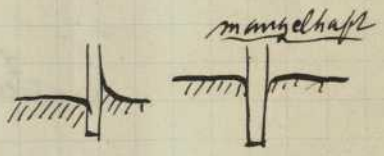
Stöpselverbindung.

Verbindung durch Quecksilbernäpfe.



Platinverbindung

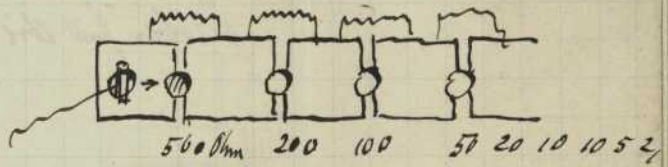


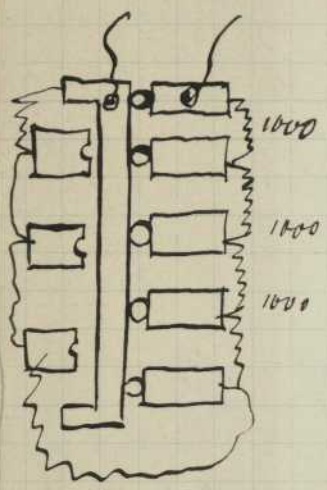


Platin oxydiert sich nicht. Reinigung durch Schmirgelpapier.

Verbindungsstellen von Drähten müssen durch Hartgummiplatten isoliert werden namentlich bei hohen Spann. Stromdurchflossene Drähte wirken stets ablenkend auf die Messinstrumente. Zuleitungsdrähte müssen so geführt dass sie nicht ablenkend auf Instrumente wirken; geschieht durch Zusammenlegen der Drähte.

Bei vielen Messungen braucht man sog. Resistanzen (Widerstände) Zahlen bedeuten die Grösse des Widerstandes. Unangenehm sind die vielen Stöpsel. Giebt einen genauen Übergangswiderst. Man hat sich dadurch geholfen indem





man Dekaden Widerstände gebaut hat. Geschieht durch einen Stöpsel. Widerstände dürfen nach außen hin nicht ablenkend wirken man wird bifilare Wickelung in Anwend. bringen d.h. man faltet den Draht u. dreht die beiden Hälften zusammen u. wickelt dann auf die Spule. Drähte sind dann stets beisammen.

Sodann bei hoher Spann. muß nach aus gesch altet werden da Selbstinduktion entsteht. Der Strom muß entweder langsam unterbrochen werden oder vorher abgeschwächt werden.

Jede Beobacht. 10 mal anstellen Man habe gefunden:

a_1	Fehler	$a - a_1 = \delta_1$	δ_1^2
a_2		$a - a_2 = \delta_2$	δ_2^2
a_3		$a - a_3 = \delta_3$	
⋮		⋮	
a_n		$a - a_n = \delta_n$	δ_n^2

$$\frac{a_1 + a_2 + \cdots a_n}{n} = a$$

Mittlerer Fehler einer Beobachtung

$$\pm \sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{n-1}}$$

Mittlerer Fehler des Resultats $= \pm \sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{n(n-1)}}$

Probe für die Güte der Beobachtung

Widerstandsmessung. mit unbekanntem Stab

W. eines Drahtes: $W^{Ohm} = \frac{\sigma l^{m}}{f^{mm^2}}$ gewöhnl. W. Koeff. $\sigma = \frac{1}{55} - \frac{1}{60}$

1 Ohm = dem Widerst. einer Quecksilbersäule von 1,06 m Höhe. 1 qmm Querschnitt (Pariser Elektrotechnischer Kongress)

$$1 = \frac{\sigma_{Quecksilber}\, 1{,}06}{1^{mm^2}}$$

$$\sigma_{Hg} = \frac{1}{1{,}06} = 0{,}9434.$$

Nun hat sich aber bestätigt dass die Quecksilbersäule 1,063 m lang ist.

$$\sigma = \frac{1}{1{,}063} = 0{,}9408.$$

Man spricht daher von zwei Ohm

legales Ohm = 1,06 internationales Ohm = 1,063

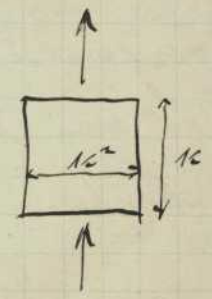
Drückt man Querschnitt in qcm u. Länge in cm aus. so hat man:

$$W^{Ohm} = \frac{\sigma' l^{c}}{f^{c^2}}$$

$$\sigma' = \frac{f^{c^2}}{l^{c}} W^{Ohm}$$

$$= \frac{c^2\, Ohm}{c}$$

$$\sigma' = Ohm \times cm$$



Widerstand in Mikrohm ausgedrückt:

$$W^{M.\,Ohm} = \frac{\sigma_1 l^c}{c^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{f^{c^2}}{l^c} W \text{ Mikrohm}$$

$$\sigma_1 = \frac{c^2}{c} \text{ M. Kreuz} = \underline{\text{Mikrohmcentimeter}}$$

Man hat die Gleichgehalt.

$$W^{Ohm} = \frac{\sigma l^m}{f^{mm^2}} \qquad (1)$$

$$\frac{W^{Mikrohm}}{10^6} = \frac{\sigma l^c/100}{100 f^{c^2}} \qquad (2)$$

Da (2) sind völlig identisch.

$$W^{Mikrohm} = \frac{\sigma_1 l^c}{f^{c^2}} \qquad (3)$$

Aus (2)

$$W^{Mikrohm} = \frac{10^2 \sigma l^c}{f^{c^2}} = \frac{\sigma_1 l^c}{f^{c^2}}$$

$$10^2 \sigma = \sigma_1$$

D. f. den Widerst. Coeff. in Mikrohm erhält man indem man den gewöhnl. Widerst. Coeff. mit 100 multipl. Widerstand ist abhäng. von Temp. Er wächst mit Zunehmen Temperatur. Zwischen bei 2½° Temp. Unterschied hat man 1% grösser werden des Widerstandes.

Man hat

$$W_{t_1} = W_t \left(1 + \alpha(t_1 - t)\right) \qquad \alpha \text{ Temp. Coeff.}$$

Das gleiche gilt natürlich auch für den Widerst. Coeff.

$$\sigma_{t_1} = \sigma_t\left(1+\alpha(t_1-t)\right) \qquad \alpha \text{ für Cu} = \frac{4}{1000}$$

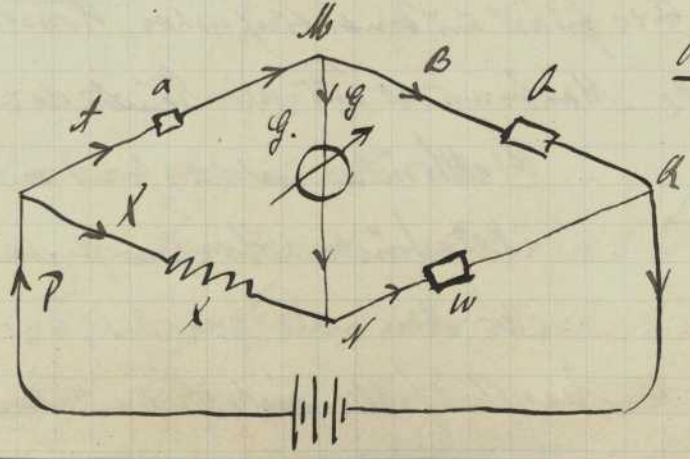
Die reinen Metalle haben ungefähr alle das gleiche $\alpha = \frac{1}{273}$
Legierungen z. B. Neusilber α kleiner $= \frac{4}{10000}$
daraus folgt für Rheostaten wird man kein Cu
sondern Neusilber verwenden. Neuerdings wird eine
andere Legierung 4 Ni 12 Mangan 84 Cu Manganin.
Zu Rheostaten verwendet man einen sehr geringen
Temperaturkoeff. u. einen hohen Widerst. koeff hat.
Ebenso wird verwendet 40 Ni 60 Cu Konstantan.
Für Manganin

$$\sigma_1 = 47\left(1-0{,}00000053(t-16)^2\right)$$

Man braucht ungefähr den 23 Teil der Länge des Drahtes
Konstantan $\sigma_1 = 50$ Mikrohmcentimeter

Widerstandsmessung erfolgt mit der Wheatstone'schen
Brücke. Man habe einen Widerst. von der Größe x
zu messen. Man habe ferner 3 bekannte Widerstände a b w.
Man stellt nun folgende Drahtverbindung her:

Man nennt
G die Brücke



Regel. Man ändert w
oder auch a u. b.
solange bis durch
das Galvanometer kein
Strom mehr geht d. h. das
Galvanometer keinen Ausschlag

mehr geht also bis die Brücke stromlos ist.

Soll Galvanometer stromlos sein so muss $J = 0$ sein

$$J = B \quad X = W.$$

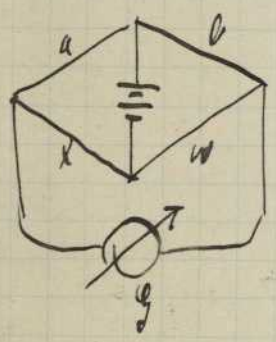
Anwend. des 2ten Kirchhoffschen Gesetzes auf ΔPMN:

$$\Sigma E = 0 = Ja - xX \qquad (1)$$

$$\Delta MQN \quad \Sigma E = 0 = Bb - Ww \qquad (2)$$

Aus Glei. 2) wird $\quad 0 = Jb - Xw \qquad (2a)$

Aus 1 u. 2a $\quad \boxed{\frac{a}{b} = \frac{x}{w}}$

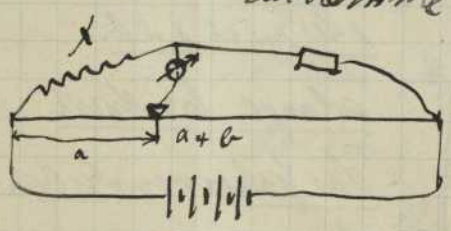


In diesem Ausdruck kommt weder vom Galvanometer noch Batteriewiderst. u. elektr. Druck der Batterie vor. Die Glei. bleibt dieselbe wenn Galvanometer u. Batterie vertauscht werden.

Aus der Glei.

$$\frac{x}{w} = \frac{a}{b} \qquad x = w\frac{a}{b}$$

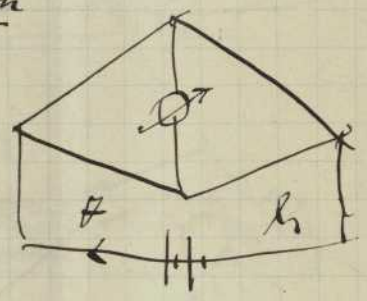
erreicht man dies mit das Verhältn. $\frac{a}{b}$ bekannt zu sein braucht. Dies führt zu einer einfachen Konstruktion der Brücke Membranwiderst. mit w. So ist dies eine sog.



Drahtbrücke ist $a + b = 1$ m dann Meterbrücke. Hier genügt ein bestimmtes W Mm mit $w = 0{,}1 ; 1 ; 10 ; 100$

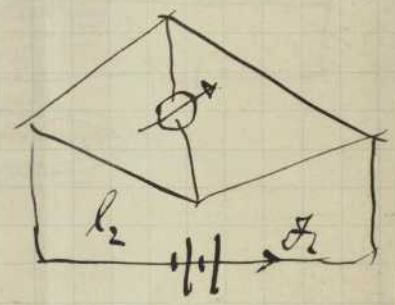
Der geringste Resultatfehler entsteht wenn $a = b$ ist

Man soll bei Messungen im mittleren Drittel des Drahtes bleiben. Kommt man über diese Grenzen hinaus so können grosse Resultatfehler entstehen. Man nennt W den Vergleichswiderst. und b die Zweigwiderstände. So zeigt sich man dass thermoelect. Kräfte infolge Temperat.diff. in den Drähten entstehen. Man kann dennoch das richtige Result. erhalten wenn man folgendermassen verfährt: Man wechselt den Strom u führt die Messung wieder durch.



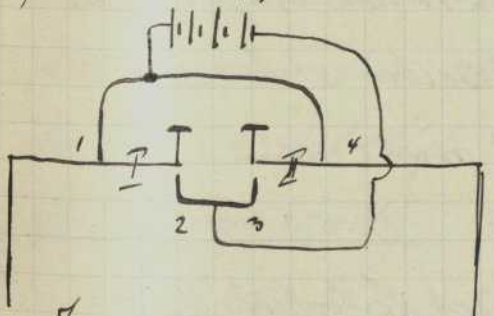
Findet man im ersten Fall x_1 im zweiten Falle x_2 so ist

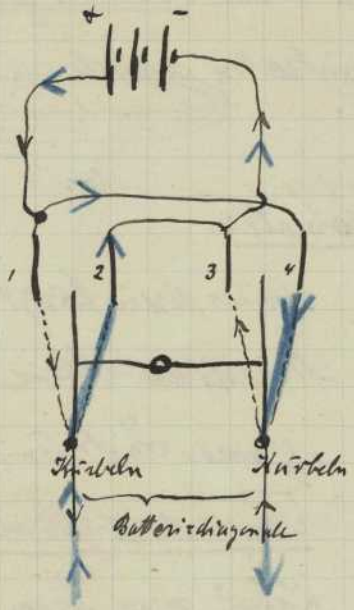
$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$



Stromwechsler.

Hartgummidoppeltaster.

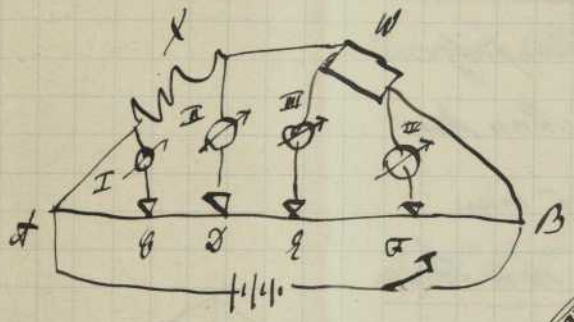




Je nachdem man I oder II drückt wird Strom gewechselt.

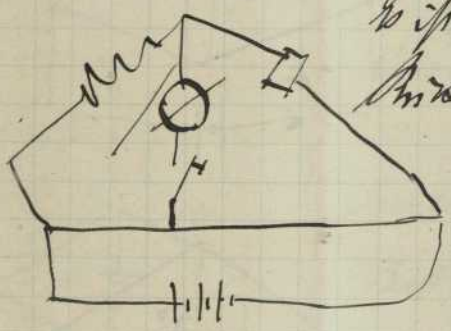
Nun hat man in dem Viereck nicht nur a b W u x sondern auch noch Leitungsdrähte. Sind Drähte kurz u dick dann kommt Widerst. nicht in Betracht. Sind x u W von gleichen

Widerst. wie die Zuleitungsdrähte so daß dieselbe nicht vernachlässigt werden. Anwendung der <u>Projektionsmethode.</u> Man projiziert zuerst den Anfang v dem Ende auf den ausgespannten Draht Ferner auch Ende u. Anfang von W.



$$\frac{X}{W} = \frac{bd}{fh}$$

Bei Dynamoankern kann es vorkommen daß Galvanometer trotz Verschiebung des Klotzes ausschlägt. Selbstinduktion. Es ist zweckmäßig das Galvanometer solange Weg zu schließen bis Selbstinduktion verhindert. Da sonst Schädigung des Galvanometers eintreten würde.

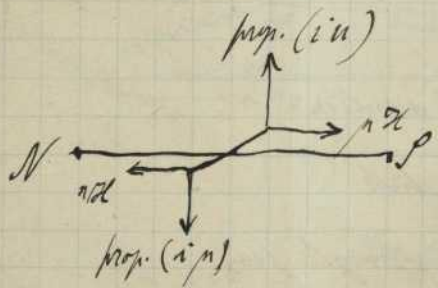


Galvanometer.

Letzterer kann man in den magnet. Meridian Ebene desselben stehe ⊥

Jenes Instrument nennt man <u>Tangentenbussole</u>

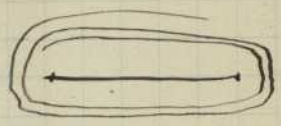
Läßt man Strom durch Leiterkreis durch so wird Magnetnadel abgelenkt



Die Kräfte ⊥ dem Stromleiter und proportional dem Strom u. magnetischen Feld n

Ablenkung hängt nicht ab vom Magnetismus.

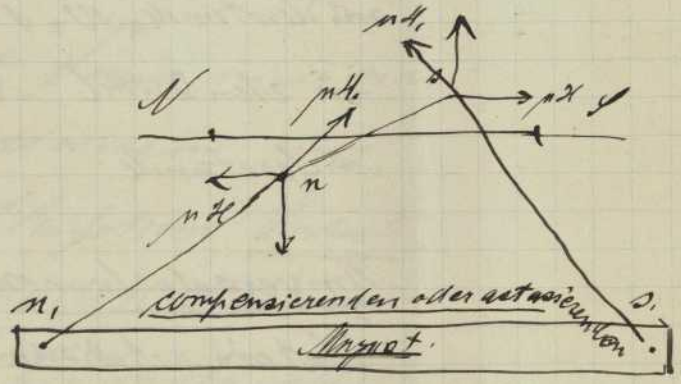
Galvanometer müssen sehr empfindlich sein. Dies läßt sich machen, indem man Nadel mit möglichst vielem Draht umgiebt. Man kann Empfindlichkeit stärken indem man den magnetischen Meridian 2f. die zurückführende Kraft der Nadel schwächt. <u>Astasierung</u>



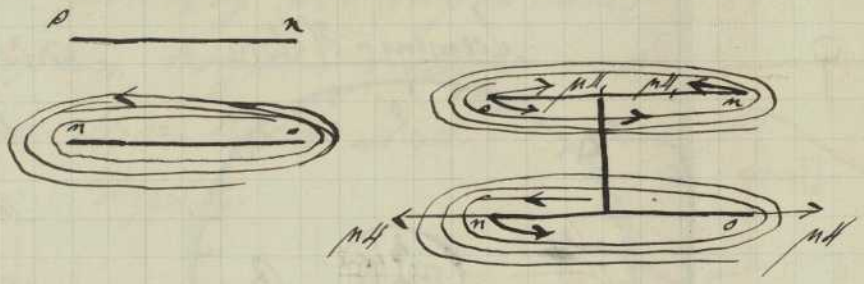
Man bringt in die Nähe des Galvanometers einen grossen Magnetstab ∥ dem Meridian

Gleiche Pole stossen sich ab

Ferner Empfindl. vergrössert durch <u>astatisches Nadelpaar</u>



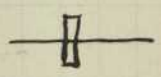
$H(n-n_1)$



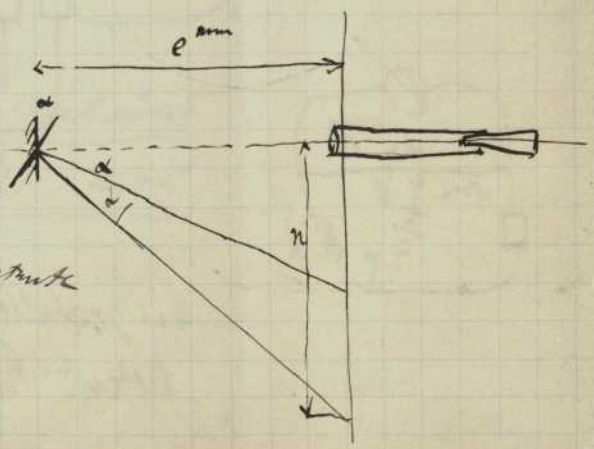
Nebenanst. Fig. giebt die gleiche Wirkung mit nur 2 Spulen.

Diese oben genannten Instrumente sind für uns von wenig Bedeutung da dieselben zu wenig empfindlich

<u>Spiegelgalvanometer</u> Auf der Nadel ist ein Spiegel



$tg\,2\alpha = \frac{e}{n}$



Strom proportional dem Ausschlag α

$J = C\alpha = Cn$ C Galvanometerkonstante

Genauere Gleichung ist $J = C\,tg\,\alpha$

$$f\alpha = \frac{1}{2e}\left(n - \frac{1}{4}\frac{n^3}{e^2}\right)$$

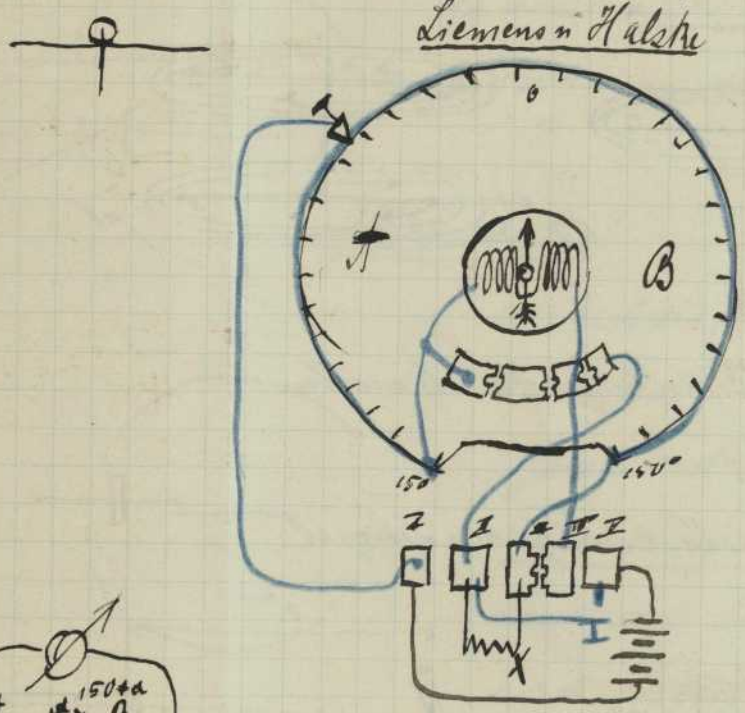
Korrektionsgröße $n - \frac{1}{4}\frac{n^3}{e^2}$

Messinstrumente sind ferner zum Widerstande zu messen.

<u>Walzenbrücke</u> Man ist hier beschränkt in den Vergleichswiderständen W = 1 10 100 1000. Bleibt man im ersten Drittel so genügen die Vergleichswiderstände.

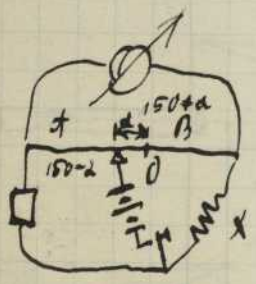
<u>Universalgalvanometer</u> Gleichzeitig ist ein Röhrchen Hat ein astatisches Galvanometer. Kleinster Vergleichswiderstand 10 w mir 3

<u>Siemens u. Halske</u>



Welches W wird gewählt? Man wählt 6 W 8 mindestens von gleichen Größen. Wenn ist X = 1300 so wählt man W = 100 Ω.

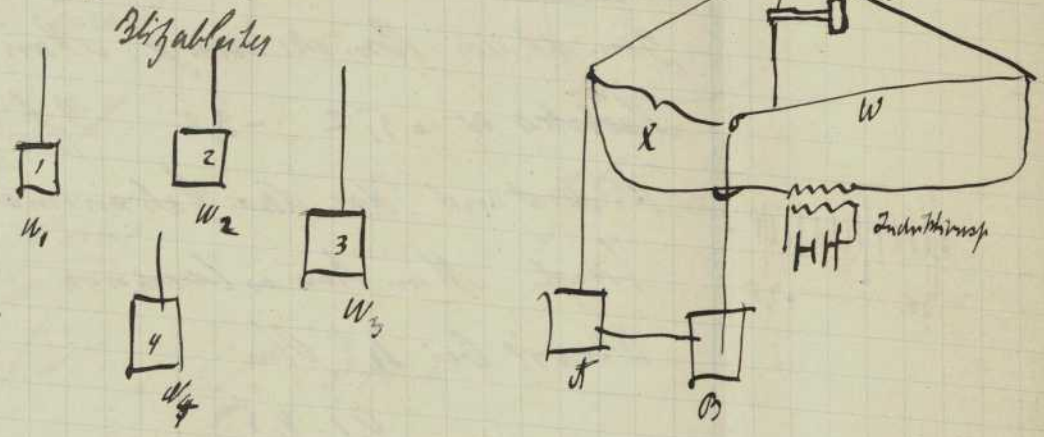
Man nimmt eine Brücke dabei Draht einen möglichst großen Widerstand entgegenstellt



$$\frac{X}{W} = \frac{150+\alpha}{150-\alpha}$$

Wie gestaltet es sich mit großen termoelektr. Ströme auftreten? Es gilt auch hier der Brückenschaltung mit

im Galvanometer sich der gleiche Strom zeigt, gleichgültig ob Induktionsapparat geschlossen oder offen ist.
Wenn das Galv. den Ausschlag giebt gleichgültig ob sich der Strom ändert so gilt der Brückenatz.
Setzt man an Stelle des Galvanometers ein Telephon so wird im Telephon nichts hörbar sein wenn man einen <u>konst. Strom</u> hat. Ferner nützt man wenn es sich um die Widerstandsmessung einer Flüssigkeit handelt, statt Gleichstrom <u>Wechselstrom</u> (Induktionsapparat). Man verschiebt solange den Gleitkontakt bis nichts mehr hörbar ist im Telephon. trotzdem vielleicht noch elektrom. Kräfte im Stromkreis sind.



Man misst zuerst

W_{12} W_{23}

W_{34} W_{41}

$W_1 + W_2 = W_{12}$

$W_2 + W_3 = W_{23}$

$W_3 + W_4 = W_{34}$

$W_4 + W_1 = W_{41}$

<u>Brücken deren Widerstände fest mit geichte Drähte sind</u>

(s. nächste Seite.)

$a = 0{,}1$	1	10	100
$b = 0{,}1$	1	10	100

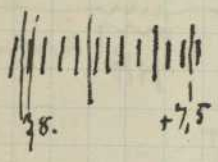
Nimmt man $a = 0{,}1$ u. $b = 100$ so kann man messen einen Widerstand $x = \frac{1}{10000}$ $w = 0{,}1$

$a = 100$ $b = 0{,}1$ $w = 10000$ $x = \frac{10000 \cdot 100}{0{,}1}$

$= 10000000$

Man hat den Messbereich der Brücke wesentlich erhöht. Nun gilt aber nicht für die Brücken in Spulenform die Regel dass man eben Zweig Geben soll. Man thut gut daran nur Ablesung anzuwenden wo notwendig da sonst grosse Resultatfehler entstehen.

<u>Beispiel.</u> Es sei bei $w = 5{,}1$ nahezu das Gleichgewicht der Brücke erreicht. Man kann bis auf 17,5 Skalenteile $w = 5{,}2$ $-3{,}8$ Sk. man hat ganz kleinen Widerstand der das Galvanometer zur Ruhe bringt. Man kann es berechnen $0{,}1$ Ohm $= 11{,}3$ Teile



Wieviel bei 7,5 Ohm

$$\frac{0{,}1 \cdot 7{,}5}{11{,}3} = 0{,}07$$

Bei kleinen Widerständen überschlägt man nicht eher rechnet man nach obiger Methode. Bei grossen Widerständen überschlägt man.

Beispiel $15^\circ C$ norm $W_{15} = 100$

22°

α bei Nickelin $0{,}00032$

$$x = W \frac{a}{b}$$

$$W_{22} = W_{15}(1 + 7 \cdot 0{,}00032)$$

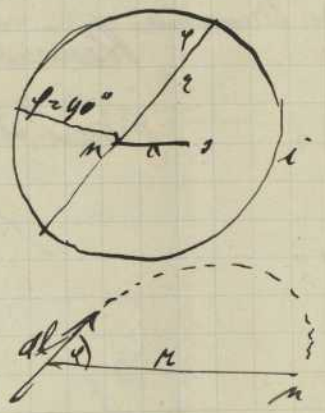
$$= 100(1 + 0{,}0224)$$

$$= 100{,}224$$

Strommessung.

Stromkreis wirke auf einen Magneten.

Gesetz von Biot u. Savart.



$$df = \frac{i\mu\, dl \sin\varphi}{r^2}$$

$$f = \int \frac{i\mu\, dl \sin\varphi}{r^2}$$

$$= \frac{i\mu}{r^2} \int dl = \frac{i\mu}{r} \cdot 2\pi n$$

Kraft des Stromes i. $f = \frac{2 i \mu \pi n}{r}$

Kraft steht ⊥ auf der Kreisebenen Nadel wird durch das Kräftepaar abgelenkt. Welchen Kräften unterliegt die Nadel? Den Wirkungen des magnetischen Erdes

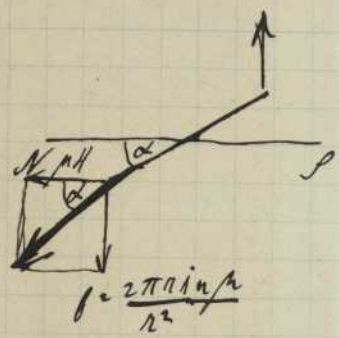
$$f = \mu J$$

H beinah = 0,2

Max Kraft auf Nadel

$$f = \mu H.$$

$$tg\alpha = \frac{f}{\mu H}$$



Ablenkung unabhäng. von der der Stärke der Magnetisierung.

$$tg\alpha = \frac{2\pi \mu i n}{r}$$

$$i^{ego} = \left(\frac{rH}{2n\pi}\right) tg\alpha = \underline{C\, tg\alpha.}$$

Strom prop. der Tangente der Ablenkung.

Stromkonstante C läßt sich durch eine Hose Messung bestimmen. Man ist in der Lage einen Strommesser zu <u>eichen</u>.

Schematischer Stromwechsler

$r = 20\,cm \quad H = 0{,}20 \quad n = 1.$

$$i^{ego} = \frac{20 \cdot 0{,}20}{2\pi}\, tg\alpha$$ (Centim. Gram Sek. System)

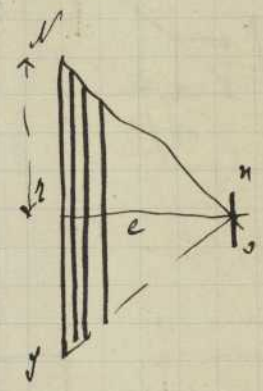
$$i_{Amp} = 10 \cdot \frac{20 \cdot 0{,}20}{2\pi}\, tg\alpha$$

$$\underline{i_{Amp.} = 6{,}3\, tg\alpha.}$$

Mit welchen Ausschlägen muss man rechnen damit Resultat ohne ein Minimum wird. Man muss Ausschlag = 45° wählen.

$\alpha = 45 \quad tg\alpha = 1 \quad i = 6$

Beobachtet man zwischen 20 - 70° so bleibt Beobachtungsfehler innerhalb des Minimums. Tangentengesetz ist als Annäherungsgesetz aufzufassen. Also ist das ganze Ergebnis auch ein Näherungsergebnis. Gaugain u. nach ihm Helmholtz haben nachgewiesen dass man Ergebnis genau erhalten kann wenn man Nadel nicht in die Ebene des Leiterkreises bringt. Man darf man Nadel etwas größer nehmen als wohin verschwindend klein gegenüber dem Leiterkreis.

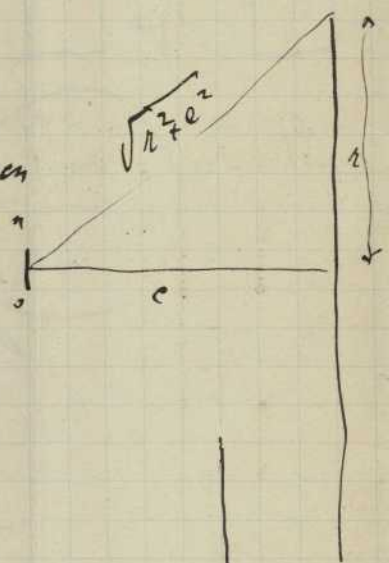


Man nimmt $e = \frac{r}{2}$

Nadellänge $1/8 \div \frac{1}{4} r$ Fehler von 1%

Man hat folgende Formel:

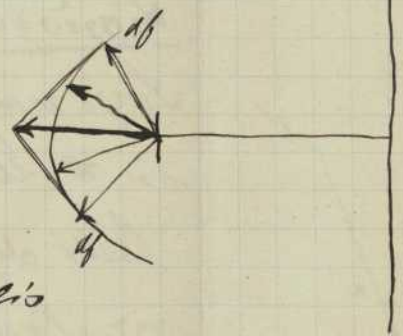
Wenn mehrere Windungen dann mittelst nach Kegelmantel dann z. stets $e = \frac{r}{2}$ ist.



$$i^{\text{tang.}} = 10 \frac{(r^2+e^2)^{3/2} H}{2\pi r^2 n} \operatorname{tg} \alpha$$

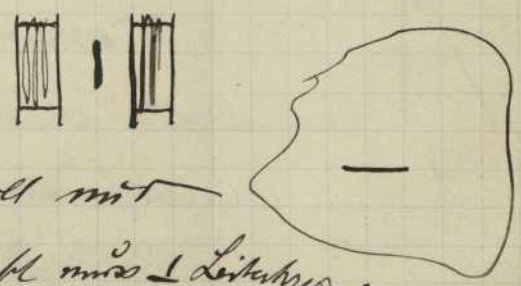
Mit $e = \frac{r}{2}$ nach Gaugain

$$i^{\text{cgs}} = 0{,}22242\, r H \operatorname{tg} \alpha.$$

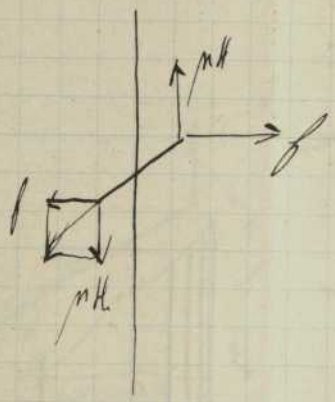


Häufig findet man besonders bei Spiegelgalvanometer statt einem Leiterkreis 2 Leiterkreise.

<u>Andere Anordnung wo Tangentengesetz mit gilt:</u>



1) Leiterkreis muß beschaffen sein wie er will mit muss er eben sein wie Nadel klein sein. Kraft muss ⊥ Leiterkreis sein



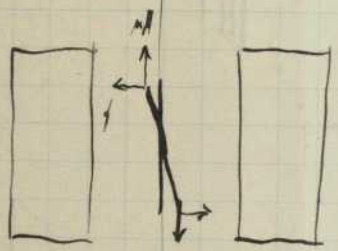
Gilt auch für lange Nadeln wenn nur Ablenkungen sehr klein sind. denn es läßt sich nachweisen das Kraftwirkung innen nach + steht zum Leiterkreis (magnet. Meridian)

Spiegelgalvanometer.

$$i = C \operatorname{tg} \alpha$$

$$i = C \alpha$$

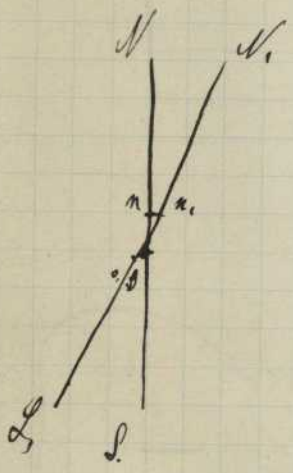
$$i = C n$$



Multipl. man C mit $\left(n - \frac{1}{4}\frac{n^3}{e^2}\right)$ so erhält man die Stromstärke des Galvanometers

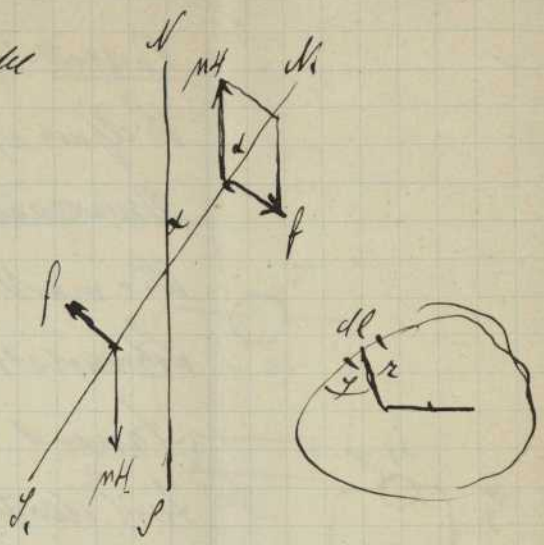
Tangentengalvanometer ist historisch wichtig es hat dazu gedient unsere Einheiten zu gründen. Praktisch ist es nicht zu verwenden wegen Magnetismus besonders in der Nähe von grossen Maschinen

<u>Linsgalvanometer.</u>



Sorgt man dafür dass Nadel u. Leiterkreis immer in # Ebenen liegen so steht f immer ⊥. Man läßt Leiterkreis in derselben Richtung drehen wie Nadel. Man gleicht ganz die Nadel nicht zu erreichen. Dadurch dass man Nadel in der Leiterebene hat so steht Kraft stets ⊥ d. Kreis nH und setzen sich wieder zu einer Resultanten zusammen die die Richtung der Nadel einnimmt.

Nach Biot Savart Kraftwirkung auf die Nadel



$$df = \frac{i\mu \sin\gamma\, dl}{r^2}$$

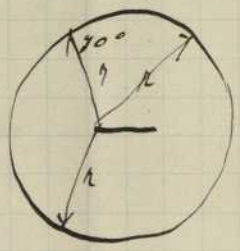
$$f = i\mu \int \frac{\sin\gamma}{r^2}\, dl$$

Nun ist $\sin\alpha = \frac{f}{\mu H}$

$$\sin\alpha = \frac{i\mu \int \frac{\sin\gamma}{r^2}\, dl}{\mu H}$$

$$i = \frac{H}{\int \frac{\sin\gamma}{r^2}\, dl} \sin\alpha.$$

Wählt man statt beliebigen Leiterkreis einen Kreis so hat man:



$$\int \frac{\sin\gamma}{r^2}\, dl = \frac{1}{r^2} \int dl = \frac{1}{r^2}\, 2\pi r = \frac{2\pi r}{r}$$

$$i = \underbrace{\frac{rH}{2\pi r}}_{C} \sin\alpha$$

$$i = C \sin\alpha \qquad \text{Sinusgesetz.}$$

In Übereinstim. mit dem Tangentengesetz.

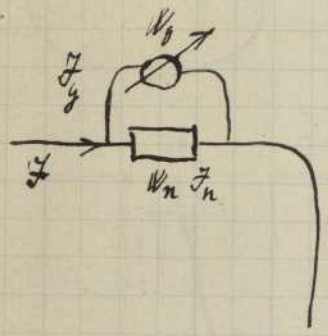
$$i = C \operatorname{tg}\alpha.$$

$$i_{max} = \frac{rH}{2\pi r}$$

Das Sinusgesetz ~~legt~~ gilt für <u>jeden</u> Leiterkreis dem oder gehörig solange wir der Nadel mit den Leiterkreis nachgefahren wird bis dieselben ihre alte relative Lage haben.

Nachteil: Man kann keine sehr große Ströme messen. Vielfach ist verwendet worden als Empfänger das Universalgalvanometer.

Wie macht man es wenn starke Ströme mit einem Schwachstrominstrument gemessen werden sollen? Anwend. von Nebenschlüsse. Man führt nur einen Teil des Stromes durch das Instrument. Legt das Instrument im Nebenschluss zu dem ganzen Instrument. Man hat:



$$J = J_g + J_n \qquad (1)$$

$$0 = J_g W_g - J_n W_n \qquad (2)$$

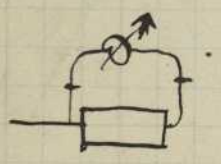
$$J_g W_g = J_n W_n \qquad J_n = J_g \frac{W_g}{W_n}$$

$$J = J_g + J_g \frac{W_g}{W_n} = J_g \left(1 + \frac{W_g}{W_n}\right)$$

Man nennt die Klammer die Verstärkungszahl des Nebenschlusses. Man nimmt gewöhnlich

$$\frac{W_g}{W_n} = 9 \quad 49 \quad 99 \quad 499$$

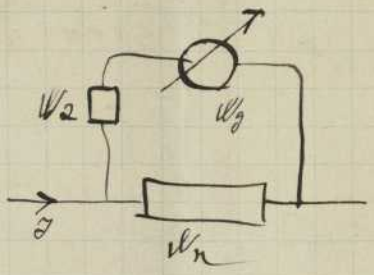
$$1 + \frac{W_g}{W_n} = 10 \quad 50 \quad 100 \quad 500$$



Nebenschlüsse müssen geteilt werden durch Wasser Petroleum u. Paraffin. Man darf den Widerstand der Ableitungsdrähte nicht vernachlässigen. Man hat dann:

$$J = J_g\left(1 + \frac{w_g + w_e}{w_n}\right)$$

Schlägt Galvanometernadel zu stark aus, schaltet man einen Zusatz W_2 in die Leitung ein



$$J = J_g\left(1 + \frac{w_g + w_2}{w_n}\right)$$

Widerstände sind mindestens temperatur veränderlich. Galvanomet. sind innen mit Kupfer drähten gewickelt. $\alpha = \frac{4}{1000}$ Man wird also gut daran thun an das Galv. ein Thermometer zu hängen u. den Widerstand zu reduzieren.

Gesamtwiderstand von Galv. u. Nebenschluß

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_g} + \frac{1}{W_n}$$

$$W = \frac{W_g \cdot W_n}{W_g + W_n} = \frac{W_g}{1 + \frac{W_n}{W_g}}$$

<u>Beispiel.</u> Es habe ein Linrogalv. den Reduktionsfaktor 0,00100 also $i = 0{,}00100$ ein d. Ausschlag 70° Widerst. $W_g = 100$ Ohm. Welchen Nebenschluß hat man anzuwenden um einen Strom von 10 Amp. messen zu können.

$$J = 10 = 0{,}00100 \sin 70 \left(1 + \frac{100}{W_n}\right)$$

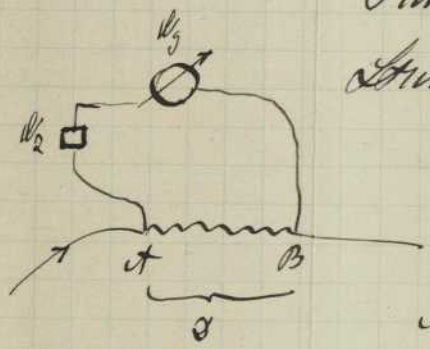
$$W_n = 0{,}00940 \text{ Ohm.}$$

Man hat nun keinen passenden Nebenschluß. Nur $W_n = 0{,}02$ Ohm. Viel zu groß. Es würde mehr Strom durchs Galvanometer gehen. Ausschlag wird größer sein als W^0. Anwend. von Zusatzwiderstand:

$$J = 10 \text{ Amp} = 0{,}00100 \sin 70 \left(1 + \frac{100 + W_2}{0{,}02}\right)$$

$$W_2 = 112{,}8 \text{ Ohm}.$$

Torsionsgalvanometer.

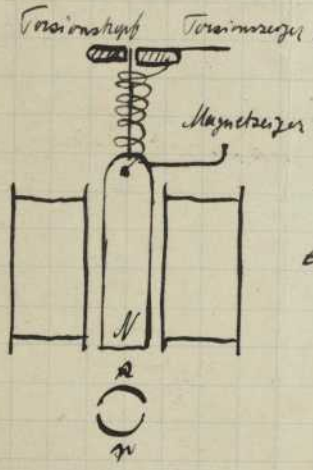


Kann man mit diesem Ganz. noch auch die Spann. des Stromes finden? Man legt die Enden des Galvanometers an die Enden A u. B. an deren die Spann. differenz gemessen werden soll. Vermeid. von Zusatzwiderst.

Man hat nach dem Ohm'schen Gesetz

$$(W_2 + W_g) \cdot J_g = \delta.$$

Bei den Tors. galv. ist Erdmagnetismus ausgeschlossen.



Man verwendet hier das Torsionsmoment einer Feder. Stromleiter haben rechteckige Form u. sind mit viel Draht umwickelt. Zwischen den Spulen hängt ein Glockenmagnet. Am Torsionskopf ist ein Zeiger. Man bringt Magneten wieder in die alte relative Lage der Nadel. Man erhält zwischen Magnet u. Nadel keinen Ausschlag.

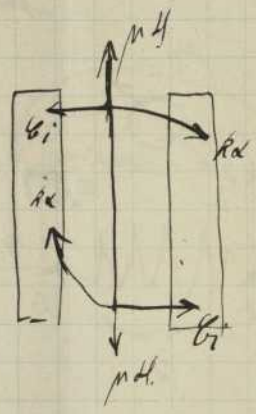
Moment das der Strom auf den Magnet ausübt:

Ci. α Torsionswinkel.

$K\alpha = Ci$ K Torsionskoeffizient

$i = \frac{K}{C}\alpha$

$i = K\alpha$



Magnete müssen ihre Kraft beibehalten. Koeffizient K steigt mit der Zeit 10-20% Kraftverlust überhaupt bleibt das Inst. von Kraftmessung ausschließen. Man muss Inst. von Zeit zu Zeit eichen. Temperat. kann kompensiert werden solange das statt dem Erdmagnetismus eine elastische Kraft verwendet wird ändert sich die Kraft der Magneten. Erdmag. hat dagegen den Nachteil wieder dass er in der Nähe von Elekt. Maschinen geschwächt wird. Heute Torsionsgalv. in Praxis nicht mehr verwendet wegen:

1) Glockenmagnete verlieren nach Magnetisierung ein charakteristische Konstante in es größer

2) Lokale Richtung des Erdmagnet. eine andere wird müsste man Instrument neu aufstellen (in der Nähe von Maschinen)

I 2 Typen von Siemens & Halske. II

Widerst. 10 km aufgd. Spulen bis 100° Torsion Widerst. 100 Ohm

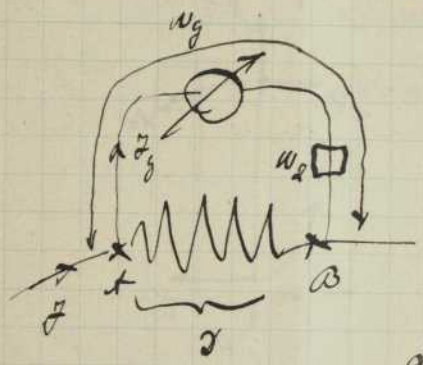
Koeff. $K = 0{,}001$ $1^0 = \frac{1}{1000}$ Ampere $K = 0{,}0001$ $1^0 = \frac{1}{10000}$ Amp.

$i_{max} = 0{,}17$ Ampere $i_{max} = 0{,}0120$

Mit diesem Instrument kann man direkt keine Ströme messen außer man verwendet Nebenschluss an.

$$J = J_g\left(1 + \frac{W_g}{W_n}\right)$$

Wie kann man Instrument verwenden zur Spannungsmessung?
Mittelst ~~Spann~~ Strommessung.



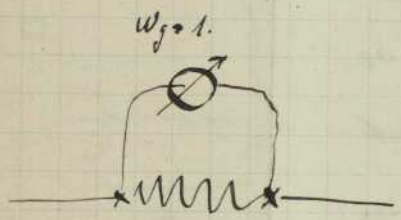
$$\vartheta = J_g w_g$$

Nun wird es manchmal nothwendig sein in der Abzweigung einen Zusatzwiderstand w_2 einzuschalten dann ist Spann. zwischen A u. B

$$\vartheta = J_g (w_g + w_2) = K\alpha (w_g + w_2)$$

Was für Spannungen sind messbar?

1 Ohmiges Instrument. $w_g = 1$ Ohm $K = 0{,}001$.



Instrument hat eine Torsion von 170° somit.

$$i_{max} = 170 \cdot 0{,}001 = 0{,}170 \text{ Amp.}$$

$$\underline{\vartheta_{max}} = 0{,}170 \text{ A} \times 1 \text{ Ohm} = \underline{0{,}170 \text{ Volt.}}$$

100 Ohmiges Instrument.

$$w_g = 100 \quad K = \frac{1}{10000}$$

$$i_{max} = 170 \cdot \frac{1}{10000} = 0{,}0170$$

$$\vartheta_{max} = 0{,}0170 \times 100 = 1{,}70 \text{ Volt}$$

Man sieht dass man damit nicht weit kommt. Anwendung von Zusatzwiderständen

so zu $W_2 = 9$ Ohm

$W_g + W_2 = 10$ Ohm.

$J_{max} = 0{,}170 \cdot 10 = 1{,}70$ V.

Man hat den Messbereich des Instrumentes erweitert um 10 fache

$W_2 = 99$ Ohm $W_g + W_2 = 100$

$J_{max} = 0{,}170 \cdot 100 = 17$ Volt. etc. etc.

Man hat es ohne weiteres in der Hand verschiedene Spannungen zu messen.

Wie steht es mit dem 100 Ohm Inst. wenn $W_2 = 900$

$W_g + W_2 = 1000$

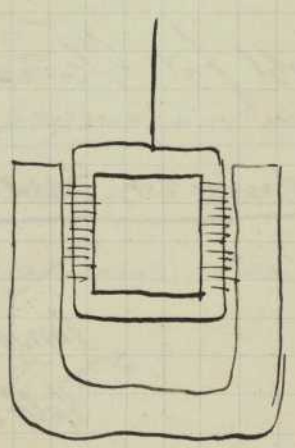
$J_{max} = 0{,}0170 \cdot 1000 = 17$ Volt

$W_2 = 9900$ $J_{max} = 170$ Volt

Diesen Instrumenten sind Vorschaltwiderstände beigegeben.

<u>Neuere Instrumente</u>

<u>Deprez Galvanometer.</u>

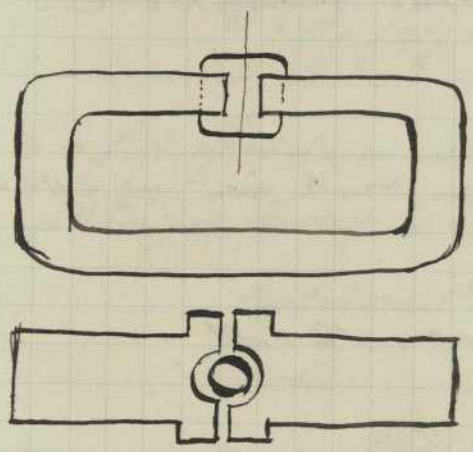


Frei vom Erdmagnetismus. Anwend. von einer federnden Kraft.

Besitzt ein <u>starkes</u> Magnetfeld. Hat den Vorteil dass erst Feld wenig ändert. Das schwache Feld des Erdmagnetismus

das die Stärke 1,2 hat, hat daher keinen Einfluss.
Man braucht Instrument nicht in den magnet. Meridian
stellen. Drehung des Drahtrahmens proportional
der Stromstärke. Form. Drehung einer Dynamo-
Maschine hat keinen Einfluss auf Instrument.
Einzig dieses Galvanometer verwendet im

Galvanometer von Weston. Gegenkraft durch Spiral-
federn.

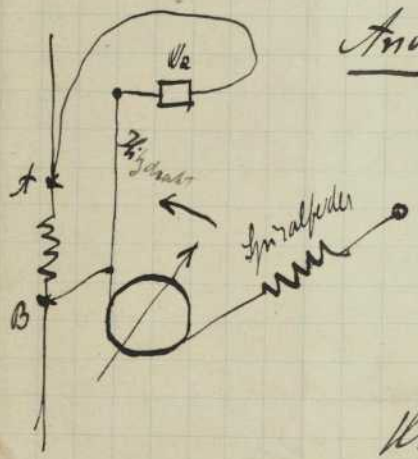


Alles was wir seither
betrachtet haben gilt nur
für Gleichstrom.

Hitzdraht Instrument

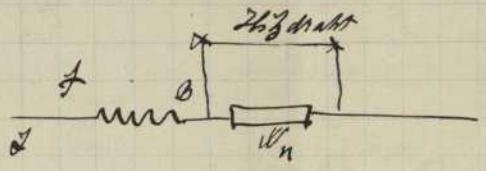
Sowohl für Gleich- als auch für Wechselstrom

Anordnung von Cardew. Beruht auf Ausdehnung einer
Spiralfeder.



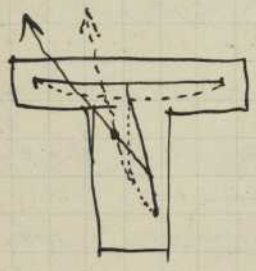
Verwend. von Platindraht im Cardew
Voltmeter d = $\frac{1}{15}$ mm
Strom durch Instrument von $\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$ Amp.
Widerstand eines Instruments so gross wie möglich

-machen. Cart. Instr. absorbieren viel Strom. Vorteil. Man kann Instr. in jedes magnetische Feld bringen ohne Einfluß. Erregen auch keine Selbstinduktion.



Instrumente von Hartmann u. Braun.

Mit diesen Cardan Instr. kann man keine starke Ströme messen. Man hat auch Vorschaltwiderstände. Diese Widerstände aus dem gleichen Material wie der Heizdraht



Beispiel. Pro Sekunde wird frei die Wärmemenge / Energie $J^2 W$

$$J^2 W = \frac{J^2 \sigma l^2}{q^2}$$

q Querschnitt des Drahtes

h Koeffizient.

Sekundlich abgeführte Energie.

$$t l u h$$

In einem gewissen Zustand sind Energien gleich also:

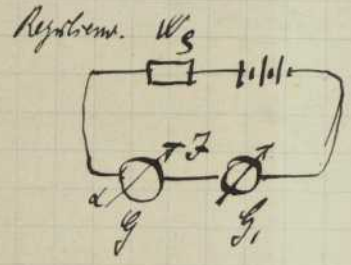
$$\frac{J^2 \sigma l}{q} = t l u h ; \quad t = \frac{J^2 \sigma}{q u h}$$

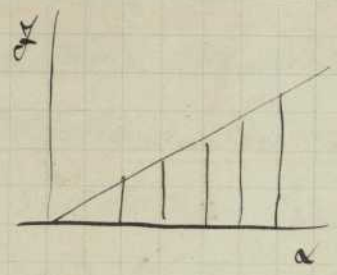
Temp. die der Draht erlangt ist proportional dem Quadrat der Stromstärke. Instrumente werden empirisch geeicht. Ist Draht kreisförmig. dann.

$$q u = \frac{\pi^2}{4} d^3 \qquad q = \frac{\pi d^2}{4}$$

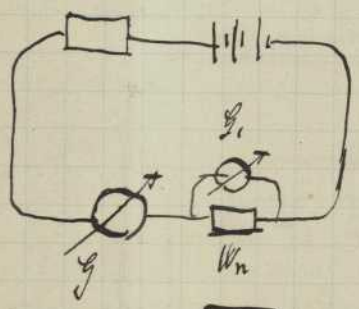
$$u = \pi d$$

Empirische Eichung. Verwend. eines Normalgalvanometers





α = 0° J_2
= 10°
= 15°

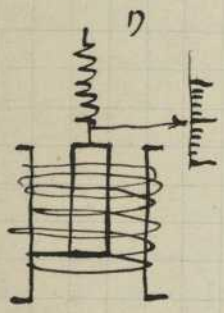


Gewöhnlich Voltametrische Eichung für den Physiker am genauesten Silbervoltameter.

Technische Strom- u. Spannungsmesser.

Gewöhnlich keine große Genauigkeit. Geht eine große Anzahl solcher billiger Instrumente

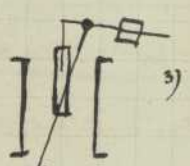
1) Amperemeter von Kohlrausch. (Solenoid)



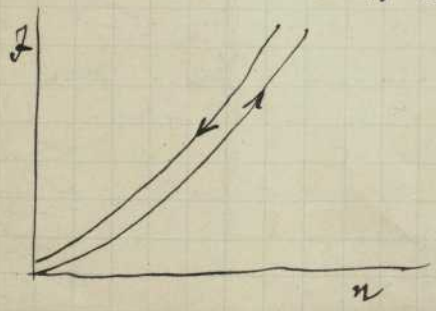
2) Amp. von Schuckert direkt von Drahtspule

Dieht hängt ein mit Reiger mit a ist gleichmäßig magnetisiert wird abgestoßen

3) Siemens u. Halske



Alle Instrumente werden empirisch geeicht.



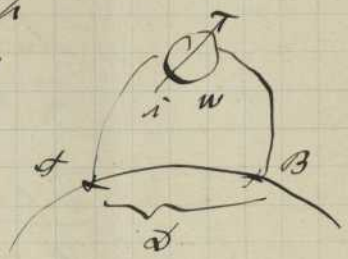
graphisch dargestellt

n Ausschläge des zu prüfenden Geb.

J Strom des Normalinstruments.

Man erhält eine 2te abfallende Eichungskurve infolge des remanenten Magnetismus. Man muß daher allmählich den Strom steigern u. nachher erniedrigen.

<u>Spannungsmesser</u> beruhen auf dem gleichen Prinzip wie Ampermeter. Sie haben dieselben aber viel dicken dünnen Draht.



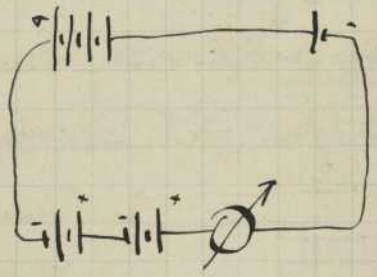
$$\delta z = i w$$

Kommt Temperatur in Betracht. Je größer Temp. desto größer w desto kleiner i. Instrumente können daher anfangs 100 Volt u. nachher nach längerem Anlegen d. h. nach Warmwerden nur noch 98 Volt anzeigen. Es muß daher auf jedem Instrument eingegeben sein ob dasselbe nur auf kurze Zeit oder auf Dauer gebraucht werden kann. Man kann durch Rechnung den Fehler berichtigen. Bei Dauermessern muß man natürlich warten bis Instrument warm geworden ist.

$$\delta z = i w_n (1 + \alpha (t - t_n)) \qquad \alpha = \frac{4}{100}$$

Man kennt aber doch nicht die Temp. im Innern der Spule. Es ist nicht gleichgültig ob Span. richtig ist oder falsch.

Wie kann man der Stromquelle verschiedene Spannungen geben?



Bei Akkumulatoren Batterien durch Einschalten von Zusatzbatterien, umgekehrt kann man Span. schalten wie man will.

Man kann mit diesen Instrumenten auch <u>Wechselströme</u> messen was bei Instrumenten mit permanenten Magneten (Zeigerausschlag) nicht möglich ist

Genau ist allerdings die Messung nicht. Man muss das Instrument für jede Cyklzahl eichen.

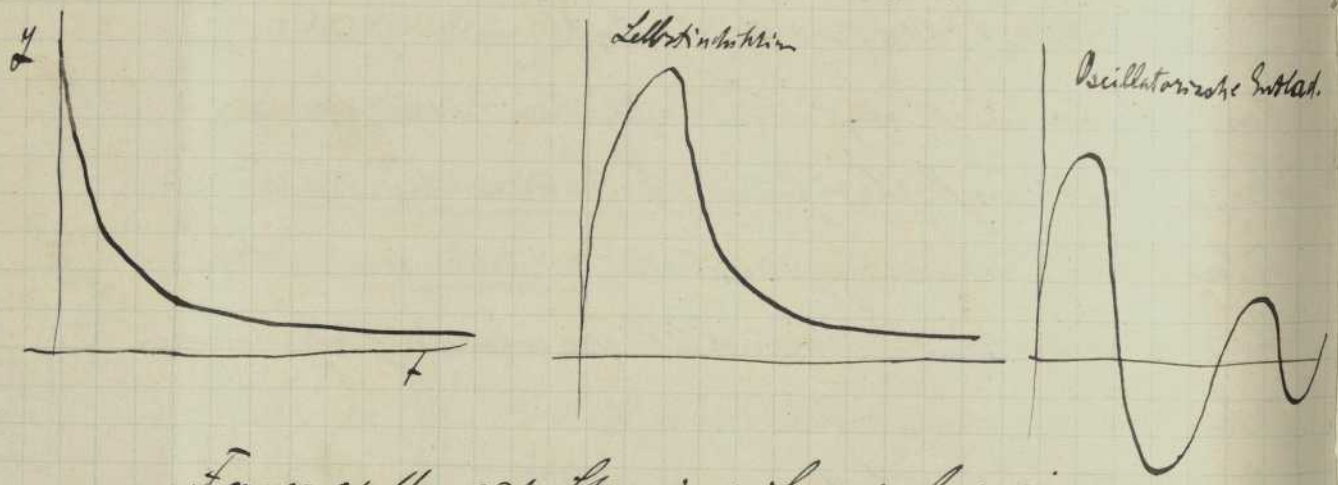
Wie misst man Kapazität?

Kondensator wenn man einen Kondensator ladet oder entladet (Unterseeische Telegraphie) Kondens. vergrössert Kapazität wenn man Platten durch Glimmer isoliert.

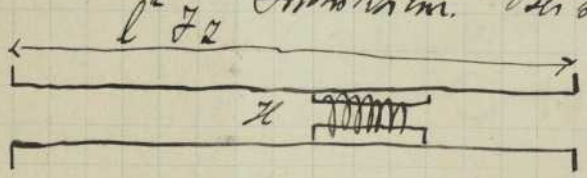
$$Q^{\text{Microcoulomb}} = J^{\text{Volt}}\, C^{\text{Microfarad}}$$

Coulomb Stromenge die in 1 Sek. geliefert wird

Entladung für uns am wichtigsten. Entladungskurve weist keine Selbstinduktion statt findet.



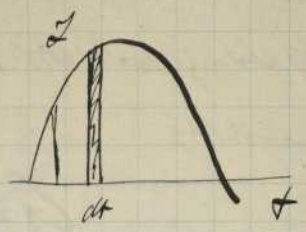
Ferner stellen sich Stromspulen ein bei jeder Induktion. Bei sehr langer Spule bildet sich in der Mitte ein homogenes Feld von der Stärke



$$H = \frac{4\pi}{10}\,\frac{Jz}{l}$$

Schiebt man eine Eisenspule ein so wird dieselbe induziert so wird das ganze Feld durch die Spule hindurch gehen.

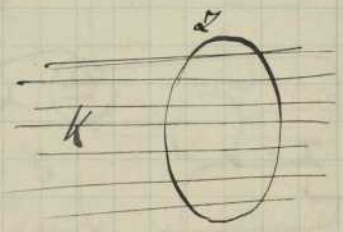
Bezieht einen Induktionsstoß.



$$J\,dt = dQ$$

$$\int J\,dt = Q.$$

Man kann Kraftlinienzahl bestimmen aus sehr kleinen Impulsen.



z Windungen

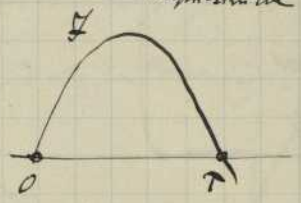
$$e = \frac{z\,dK}{dt}\,10^{-8}\ \text{Volt}$$

$$e\,dt = z\,dK\,10^{-8}$$

$$e = i\,w.$$

$$i\,w\,dt = z\,dK\,10^{-8}$$

Impulsdauer



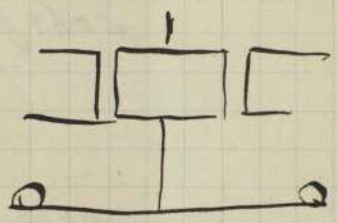
$$w \underbrace{\int_0^\tau i\,dt}_{Q} = z\,K\Big|_0^\tau 10^{-8}$$

$$\boxed{(K_\tau - K_0) = \frac{w\,Q}{z\,10^{-8}}}$$

Solche Impulse werden gemessen durch <u>Spiegelgalvanometer</u> von sehr <u>langer Schwingungsdauer</u> so genügt eine Schwingungsdauer von 10-12"

Hartmann & Braun

<u>Ballistisches oder Schwingungsgalvanometer.</u>



Man muss den größten Ausschlag beobachten

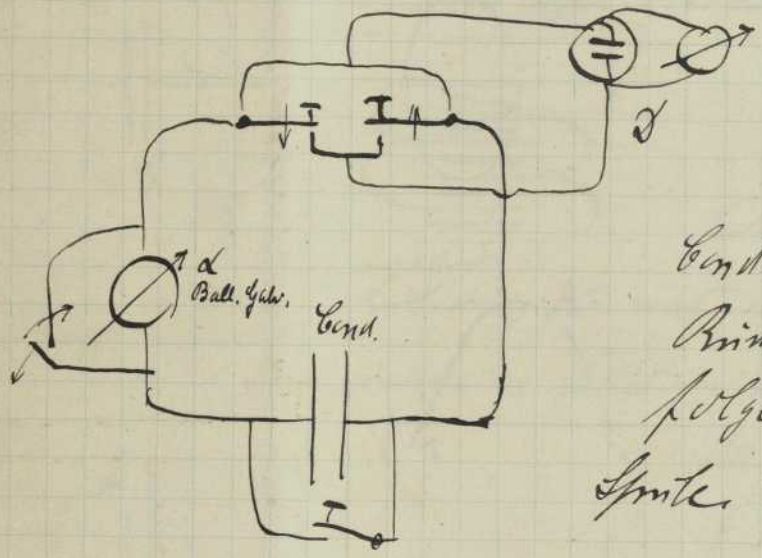
Elektrizitätsmenge die durch den Impuls in das

Galv. geschickt werden ist ist proportional dem Ausschlag.

$$Q = c\alpha$$

$$Q = c \sin\frac{\alpha}{2}$$

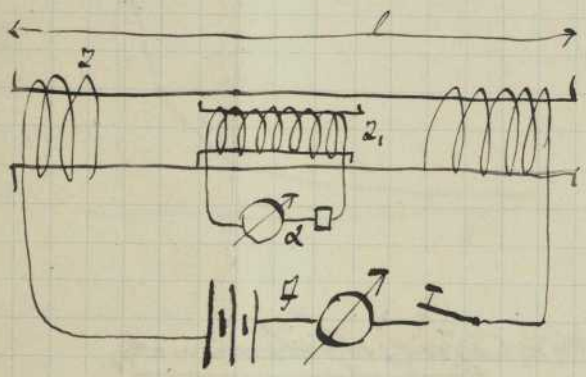
<u>Eichung eines ballistischen Galvanometers auf Coulomb.</u>



$$Q^{\text{Mitt.}} = C\,J^{\text{Volt}}$$

$$Q = \alpha c.$$

Condensatoren behalten gewöhnlich einen Rückstand. Man benutzt daher folgende Methode. Man benutzt eine lange Spule.



$$H = \frac{4\pi}{10}\frac{Jz}{l}$$

$$k = F H z_1$$

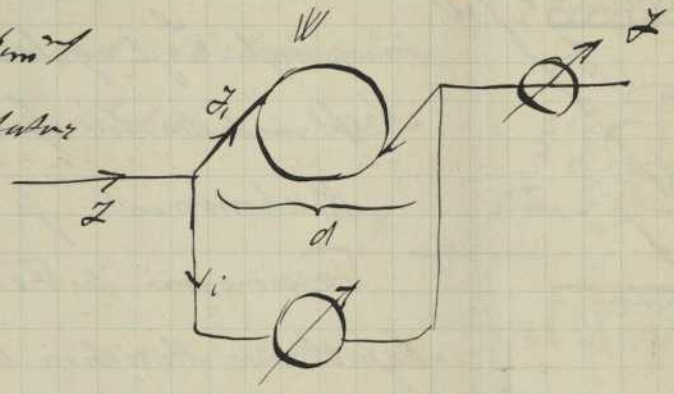
$$Q \Sigma w = 10^{-8}(k_t - k_0)$$

$$Q = \frac{10^{-8} F H z_1}{\Sigma w}$$

sehr genaue Bestimmung

Messung sehr kleiner Widerstände.

Mit der Messbrücke kann man dieselben nicht messen
Einfachste Methode ist folgende:
Widerst. eines Ankers dazu kommt
noch Widerst. und durch Commutator
u. Bürsten. Nun ist:

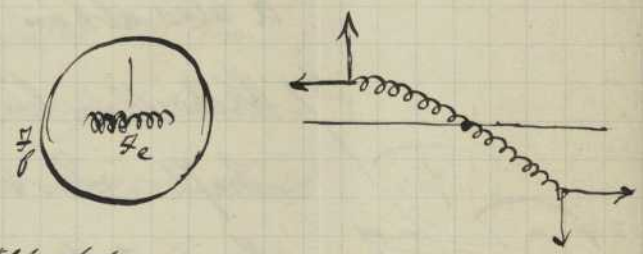


$$J_2 \frac{d}{W} \quad W_2 \frac{J}{d}$$

i gegenüber J sehr klein so dass $J_1 = J$ gesetzt werden kann
Nun durfte man annehmen dass Bürsten nicht ganz
aufliegen man wird daher Anker bei jeder Messung
von 60 zu 60° dreht.

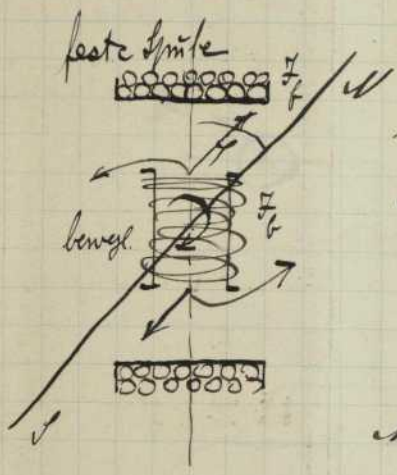
Elektrodynamometer.

von Wilhelm Weber ist eine Art Galvanom. nur dass Magnetnadel
eine Drahtspule ist. Man hat 2 Ströme
kreuzen Ströme auf Ströme. Man
muss auch hier den Erdmagnetismus
zu vertreiben suchen. Bewegliche Spule erhält daher
nur eine Windung. Einfluss des Erdmagnetismus sehr
gering auf eine Windung. Instrument v. Siemens u.
Halske. Wechselstrom dass Strom durch Quecksilbernäpfe fliessen muss



α_1
α_2
α

$\frac{J}{2}\, \mathfrak{E} \sqrt{\alpha}$



Durch eine Torsionsfeder wird bewegl. Spule stets in ihre ursprüngl. Lage gebracht.

Kopf mit der drei Spulen auf einem der einwirkenden

Drehmoment $p\, J_f\, J_b$ — p konst. Grösse

Torsionsmom. der Feder $c\,\alpha_1$ — α abh. von der Elast. d. Feder, α_1 Torsionswinkel

Magnetischer Meridian bildet mit dem Amb. den $\angle\varphi$

So kann dann noch ein vom Erdmagnet. herrührendes Moment in Betracht

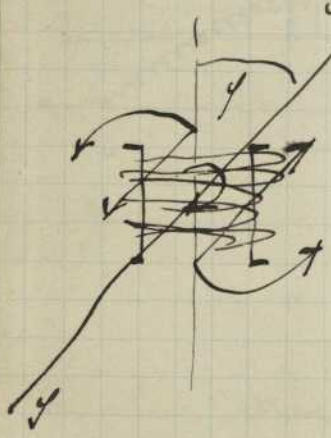
$$g\, J_b \sin\varphi$$

Im Gleichgewicht erstarrt ist.

$$0 = p\, J_f \cdot J_b - c\alpha - g\, J_b \sin\varphi$$

Torsionswinkel $\alpha_1 = \dfrac{p\, J_f\, J_b - g\, J_b \sin\varphi}{c}$

α also abhäng. vom Erdmagnetismus.



Wechselt in beiden Spulen der Strom so wirken folg. Kräfte. Jeder Wirkung wird nicht geändert. nur Moment des Erdmagnet. hat sich umgekehrt.

$$0 = p\, J_f\, J_b - c\alpha_2 + g\, b \sin\varphi$$

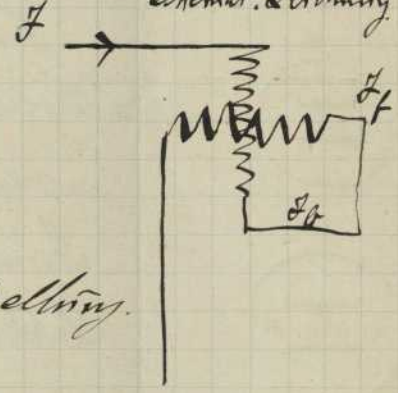
$$\alpha_2 = \frac{p\, J_f\, J_b + g\, J_b \sin\varphi}{c}$$

α_1 u. α_2 unterscheiden sich nur durch μJ_f eine dieses Glied kann vernachlässigt werden indem man nr. der bewegl. Rolle eine Wind. giebt u. in den Meridian einstellt $\mu = 0$. Dieses Glied wird auch eliminiert indem man aus beiden das arithmetische Mittel nimmt:

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{\mu J_f J_b}{c}$$

$$\alpha = \frac{\mu J_f \cdot J_b}{c}$$

Schemat. Zeichnung



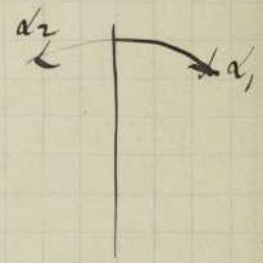
α unabh. vom Erdmagnet. u. von der Aufstellung.

Gewöhnlich ist $J_f = J_b = J$

$$\alpha = \frac{\mu}{c} J^2$$

$$J = \sqrt{\frac{c}{\mu}} \sqrt{\alpha} = C \sqrt{\alpha}$$

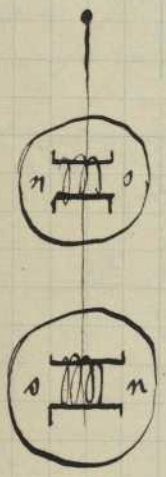
Strom proport. der Wurzel aus der Ablenkung. Kann es nicht genau auf die Messung an so kann man sich auch mit einer Ablenk. α_1 begnügen besonders wenn Spule aus einer Wind. u. Inst. im magn. Merid. steht. Wollen wir uns frei machen von den Nullpunktsfehlern so hat man nur in einer Spule den Strom zu rechnen sei es in der festen oder in der bewegl. Spule. Richtiger Winkel dann $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$



Man müsste also bei ganz genauen Messung & Messungen machen um Nullpunktsfehler u. Erdmagnetismus zu eliminieren

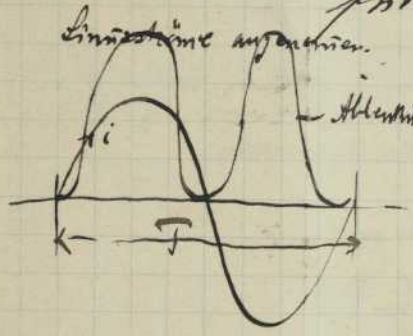
Ist. Z_f Windungszahl äusserer festen Spule
Z_b " " bewegl "

Empfindlichkeit $Z_b \cdot Z_f$ Ist. Z_f = 1000 mal so Z_b immer grösser sein.



Rollen sind artaziert gewickelt ordnas Pole verschieden werden. Anwend. dieser Instr. nur für sehr schwache Ströme.

Elektrodynamometer eignet sich auch für Wechselströme wie für Gleichströme. Wenn ein solches Instrument auf Gleichstrom geaicht ist wie ist dann Verh. für Wechselströme?



$$i = b \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$= b \sin 2\pi N t$$

Hat man 50 Cykle in der Sek. so wird Spule muss 50 mal hin herspenteln da Masse zu gross wäre sondern nur auf ganz bestimmt abweichen. Man hat proj. Ablenkungsmoment $T = \frac{1}{50}$

$$k\, b^2 (\sin 2\pi N t)^2$$

Das Torsionsmoment $c\alpha$ ist = dem mittl. Ablenk. mom. aller Ablenkungsmoment.

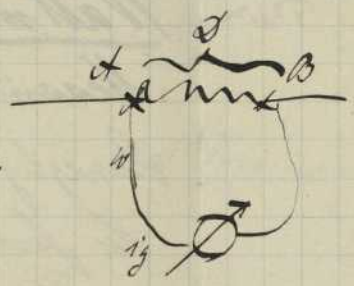
$$\frac{\int_0^T p\, b^2 \sin^2 2\pi \nu t}{\frac{T}{dt}} = \frac{1}{T}\int_0^T p\, b^2 \underbrace{\sin^2 2\pi \nu t}_{i^2}\, dt = p\,\frac{\overset{\mathfrak{J}^2}{\sim}}{2}$$

$$L\alpha = p\,\mathfrak{J}^2$$

$$\mathfrak{J} = \sqrt{\frac{L}{p}}\,\sqrt{\alpha} = \underline{C\sqrt{\alpha}}$$

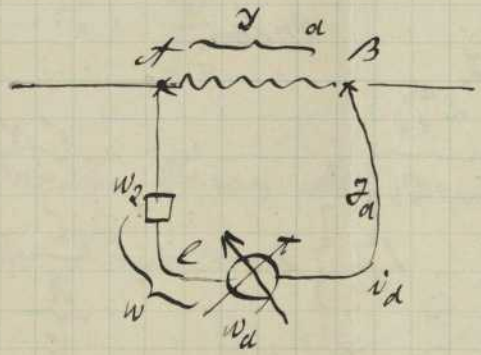
Effektivstrom ist gleich zu berechnen wie bei Gleichstrom. Ist auch prop. dem Ausschlag α. Instrumente geben sofort den <u>Effektivwert des Stromes</u> an. Spulen müssen genau senkrecht übereinander stehen sonst induzieren sie sich. Ferner sind alle Metallteile in der Nähe des Instrum. zu vermeiden u. fernzuhalten

<u>Wie kann man mit einem astatischen Elektrodynamometer die Spannung messen?</u>



$$d = i_d\, w.$$

Selbstinduktionskoeff. einer Nebenleitung sei l. Spannung ein:

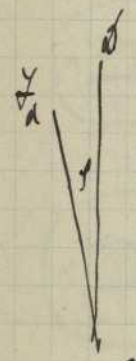


$$d = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$\mathfrak{J}_d = \frac{\mathfrak{D}}{\sqrt{w^2 + \frac{4\pi^2 l^2}{T^2}}}$$

$\sqrt{w^2 + \frac{4\pi^2 l^2}{T^2}}$ Impedanz $\qquad \mathfrak{D} = J_d\, w \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 l^2}{T^2 w^2}}$

$\sqrt{\ }$ darf um so weniger vernachlässigt werden je grösser Cyklenzahl T u. je kleiner w. Man wird also einen sehr grossen Zusatzwiderst. einschalten dessen Wirkung noch nur bifilar sondern noch geteilt ist.
So ist auch hier Temperatur zu berücksichtigen.



$$w_n\left(1 + \alpha(t - t_n)\right) \qquad \alpha \text{ Temp. Koeff}$$

Liest man Spannung ab dann:

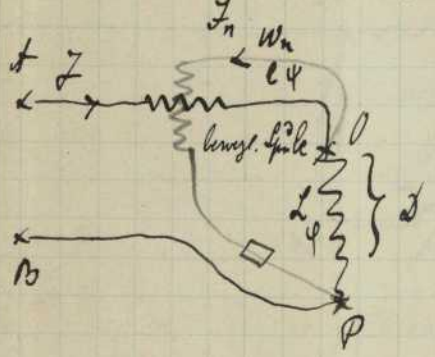
$$\underline{J_x\left(1 + \alpha(t - t_n)\right)\sqrt{1 + \frac{4\pi^2 l^2}{T^2 w^2}}}$$

$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi l}{T w}$

$\sec\varphi = \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 l^2}{T^2 w^2}}$

Wattmeter.

Messung von Arbeit besonders bei Wechselstrom. Bewegliche Spule erhält nicht den Strom von den festen sondern ist angelegt an die Spannungsenden.



$$c\alpha = a\, J J_n \qquad J_n = \frac{\mathfrak{D}}{w_n}$$

$$\underbrace{\frac{c}{a}}_{C}\, \alpha\, w_n = J\mathfrak{D}$$

Feder als drehendes Moment ang. wendet

C Konstante des Instrumentes

$$C\alpha\, w_n = \text{Arbeit} = J\mathfrak{D} = A$$

Moment für Wechselstrom

Im Haupt-Kreis sei kein Phasenverschiebungswiderstand. Äußerlich mit o bezeichnet.

$$i = J_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$i_n = J_{n_0} \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$cd = \frac{\int_0^T J_0 \sin 2\pi N t \, J_{n_0} \sin 2\pi N t}{\frac{T}{dt}} a = \frac{c}{T} J_0 J_{n_0} \int \sin^2 2\pi t N \, dt$$

$$2\pi N t = \theta \qquad = \frac{1}{T} J_0 J_{n_0} a \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta \, d\theta$$

$$dt = \frac{d\theta}{2\pi N} \qquad = \frac{c}{2\pi} \pi J_0 J_{n_0} a$$

$$\frac{J_0}{\sqrt{2}} = J \qquad J_0 = J\sqrt{2}$$

$$\frac{J_{n_0}}{\sqrt{2}} = J_n \qquad J_{n_0} = J_n \sqrt{2}$$

Effektive Werte eingesetzt: cd Torsionsmoment

$$\frac{c}{a} \alpha = J J_n \qquad J_n = \frac{D}{W_n}$$

$$\frac{c}{a} \alpha W_n = J D$$

$$\underbrace{C \alpha W_n = J D}$$

Drehen Gewinn hat man bei Gleichstrom.

Allerdings hat man keine Selbstinduktion angenommen. Doch kann dies allen vor Mom hat es stets Selbstind. im Stromverbraucher

Torsionsmoment = dem mittl. Moment welche die Spulen auf einander ausüben.

2) Man hat nun Phasenverschiebung d.h. Selbstinduktion

$$d = b \sin 2\pi N t$$

$$i_n = J_{n0} \sin 2\pi N t$$

φ Phasenwinkel

$$i = J_0 \sin(2\pi N t - \varphi)$$

a Proportionalitätsfaktor

$$\frac{c}{a}\alpha = \frac{\int_0^T J_0 \sin(2\pi N t - \varphi) J_{n0} \sin 2\pi N t}{\frac{T}{dt}}$$

$$\frac{c}{a}\alpha = \frac{1}{T} J_0 J_{n0} \int_0^T \sin 2\pi N t \sin(2\pi N t - \varphi)\, dt$$

Auspolisiren den ersten durch Effektive Werte.

$\theta = 2\pi N t$

$\frac{d\theta}{2\pi N} = dt$

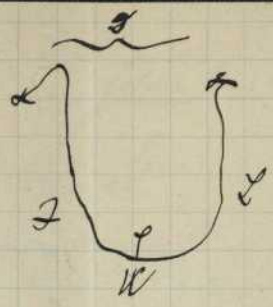
$$\frac{c}{a}\alpha = \frac{1}{T} \frac{2 J J_n}{2\pi N} \int_0^{2\pi} \sin\theta \sin(\theta - \varphi)\, d\theta$$

$$\frac{c}{a}\alpha = J J_n \frac{T}{T} \cos\varphi$$

$$J_n = \frac{D}{w_n}$$

$$\underline{c\alpha w_n = J D \cos\varphi = t}$$

Das Wattmeter mißt ganz direkt die Arbeit der Wechselstrom. Man hat auch im Nebenschluß Kreis Selbstinduktion



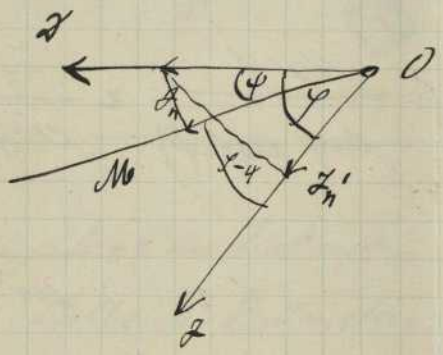
$$tg\,\varphi = \frac{2\pi N L}{W}$$

3) Selbstinduktion im Nebenschlußkreis

Selbstinduktionskoeff. L

Phasenverschieb. ψ Koeff. im Strom-

verzweiger L Phasenw. φ



$$\frac{\text{Strom mit Selbstind.}}{\text{Strom ohne Selbst. Ind.}} = \frac{\frac{J}{\text{Scheinbarer Widerst.}}}{\frac{J}{W_n}} =$$

$$= \frac{W_n}{\sqrt{W_n^2+(2\pi N L)^2}} = \frac{W_n}{W_n\underbrace{\sqrt{1+\frac{(2\pi N L)^2}{W_n^2}}}_{1+tg^2\psi}} = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\psi}}$$

Strom mit Selbstind. = Strom ohne Selb. Ind. $\times \cos\psi$

Oft gebt mir Größe des Stromes

$$\frac{A_1}{W_n} = J_n \cos\psi\, J \cos(\varphi-\psi)$$

$$\frac{A}{W} = J_n J \cos\varphi$$

(Aufnehmende Arbeit A
Gemessene " A_1)

$$\frac{A}{A_1} = \frac{\cos\varphi}{\cos\psi\cos(\varphi-\psi)}$$

$$A = A_1 \frac{\cos\varphi}{\cos\psi\cos(\varphi-\psi)} \qquad A_1 = E W_n \alpha$$

$$A = E W_n \alpha \underbrace{\frac{\cos\varphi}{\cos\psi\,(\cos(\varphi-\psi)}}_{\text{Korrektionsfaktor}}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi N L}{W}$$

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{2\pi N l}{W_n}$$

$$\frac{\cos\varphi}{\cos\psi\cos(\varphi-\psi)} = \frac{\cos\varphi}{\cos\psi(\cos\varphi\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi)}$$

$$= \frac{\cos\varphi}{\cos^2\psi\cos\varphi(1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi)} = \frac{1+\operatorname{tg}^2\psi}{1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi}$$

Obige Ausdrücke in Korrektionskoeff. eingesetzt giebt.

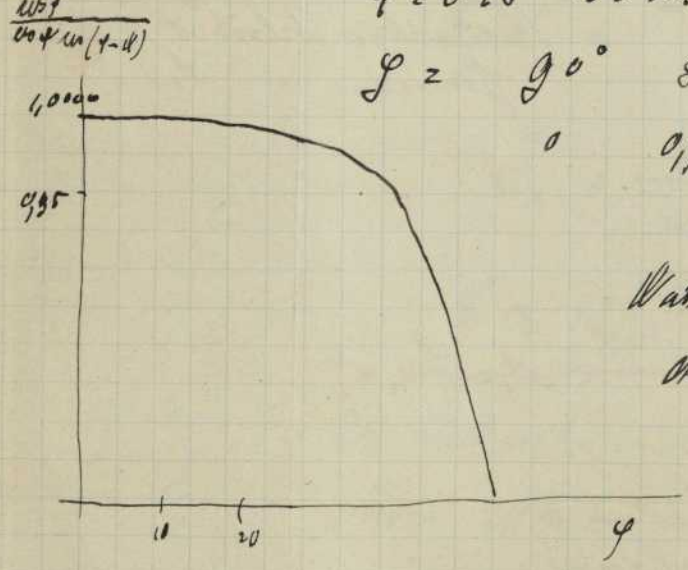
$$= \frac{1+\frac{2\pi N l}{W_n^2}}{1+\frac{4\pi^2 N^2 L l}{W W_n}}$$

Grösse $\frac{l}{W_n}$ soll sehr klein werden wenn nur Lehrzelle

<u>Zeitkonstante</u>

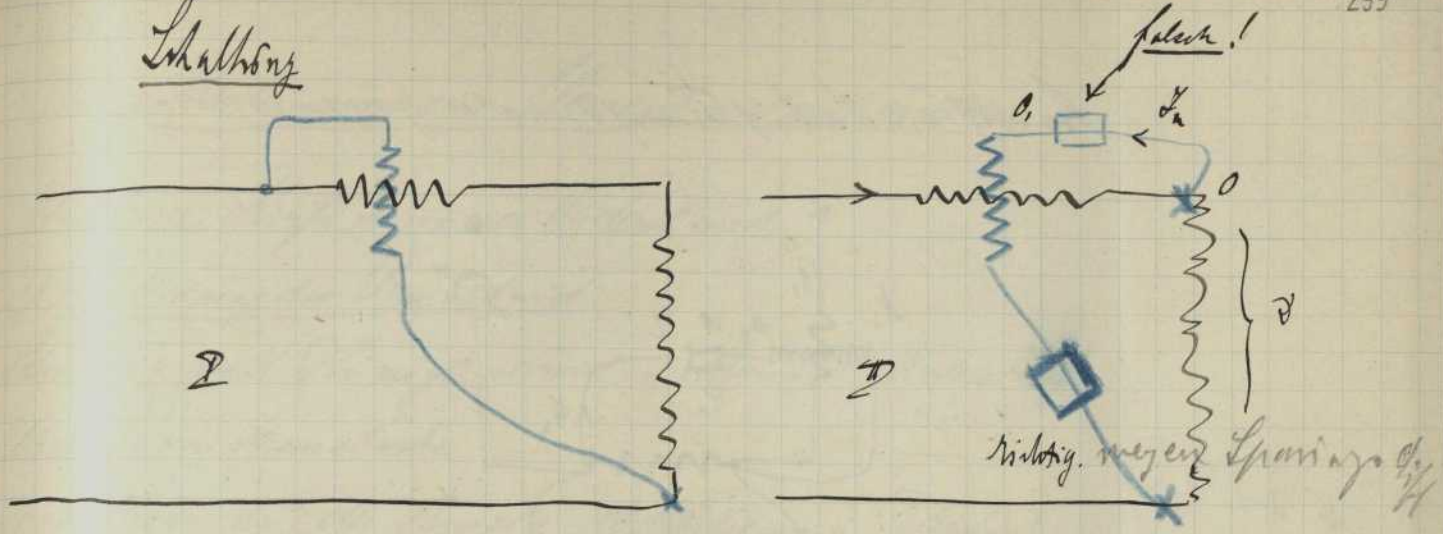
$\psi = 0°18'$ 100 Volt. 4000 Ω vorgeschaltet

$\varphi =$	90°	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10	0
	0	0,9436		0,9809		0,9889		0,9938		0,9970		0,9991	
			0,9712		0,9858		0,9911		0,9957		0,9981		1,0000



Wattmeter muss immer die Arbeit messen die hinter den beiden Brücken liegt an denen die Stromwelle auftreten anschliesst.

Schaltung



II mißt soviel Arbeit im Spannungskreis des Wattmeters

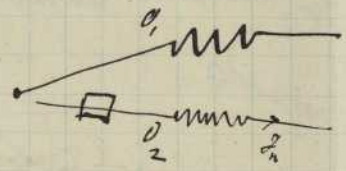
I " " Arbeit in der dicken Rolle des Wattmeters

Man muß Korrektion anwenden $\frac{\vartheta^2}{W_n}$

Bestimm. der korrigierten Arbeit des Wattmeters

In Stromkreis $O O_1$ daß kein Widerstand

eingeschaltet werden



Kann man J in ϑ so krümmen verschieben

$$J\vartheta \cos\varphi = A = C\alpha W_n \frac{\cos\varphi}{\underbrace{\cos\psi}_{1}\cos(\varphi-\psi)}$$

Man kann jetzt $\varphi-\psi$ bestimmen aus:

$$\cos(\varphi-\psi) = \frac{C\alpha W_n}{J\vartheta} = \frac{\text{Bruttoarbeit}}{\text{Scheinbare Arbeit}} \text{ wenn } \varphi$$

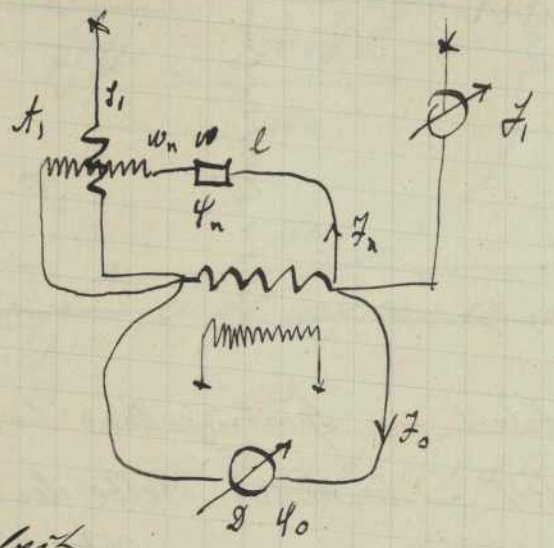
Man kann den Korrektionskoeff bestimmen

$$C\alpha W_n \frac{\cos\varphi}{\cos\psi\cos(\varphi-\psi)}$$

Ebenso kann man Selbstinduktionskoeff. im Hauptkreis bestimmen aus

$$\omega L = \frac{2\pi N L}{W}$$

So soll ein Leerlauf Transformator gemessen werden.

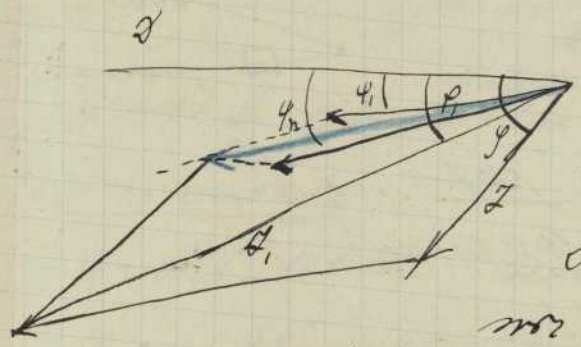


Gesamtarbeit.

$$A_1 = J_1 \vartheta \cos\varphi_1 = l w \alpha \frac{\cos\varphi_1}{\cos\psi_n \cdot \cos(\varphi_1 - \psi_n)}$$

Hieraus rechnet man φ_1 aus

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{2\pi N l_0}{\psi_0}$$



$$A = J \vartheta \cos\varphi$$

J setzt sich zusammen aus J_1, J_n u. J_0. Construiren wir J_n u. J_0 zusammen u. mit diesen Resultanten J_1. Somit ist J in Größe u. Richtung gegeben also ist die Phasenverschiebung im Transformator φ bekannt u. die tatsächliche Arbeit

$$A = J \vartheta \cos\varphi$$ zu berechnen.

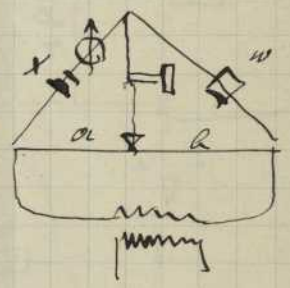
Bestimmung von Elementwiderständen.

Elektrom. Kraft u. innerer Widerstand.

1) Bestimmung des Elementwid.

Schwierig weil Flüssigkeitswid. u. Bauart. Widerstand abhängig von Stromstärke.

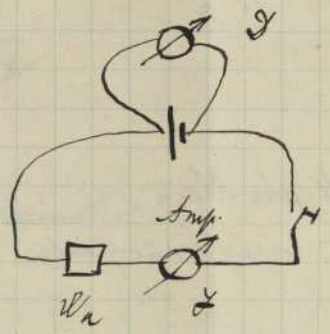
1) Methode mit der Brücke (Wechselstrom u. Telephon)



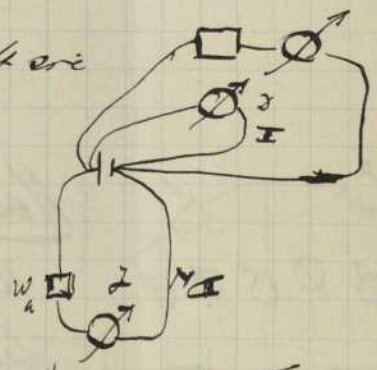
x ist auch Strom durch das Telephon doch dieser reagiert nur auf Wechselstrom $\frac{x}{w} = \frac{a}{b}$

Ein Amperemeter ist noch einzufügen. Für Messg. des inneren Widerstandes bei richtiger Gebrauchsstromabgabe, 2 Methoden Methoden vorhanden.

$$E = J + J W_i$$

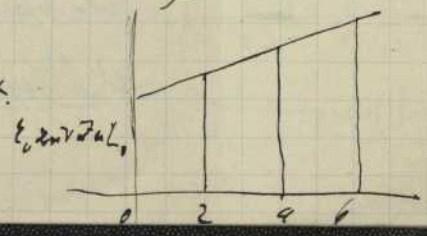


Solange ein Akkum. Strom abgibt geht durch ihn selbst auch Strom, dadurch secundäre chemische Veränderungen, seine elek. Kraft ist eine andere als wenn er keinen Strom abgibt, wird der Strom umgekehrt so ändert sich die elek. Kraft die nächst an. Zur Messung von E sind aperiodische Instrumente nötig d.h. Instr. die ohne Schwingungen stetig anzeigen. I u. II geschlossen J entsprechen n Skalenteile I u. II geöffnet



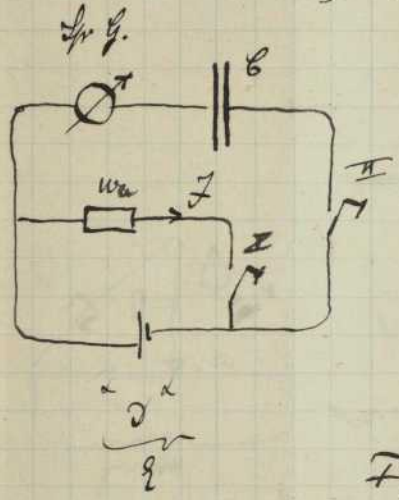
$\frac{E-J}{J} = W_i$ $E-J$ ist klein J entsp. n Skalent.

$\frac{J}{n}$ a 1 a



damit $\mathcal{E}_0 = \frac{\delta}{n} N_0$

3) Methode von Nümero



Kondensator u. ballistisches Galvanometer mit

I geschlossen Gebrauchsstrom J Klemmenspannung δ.

$$\delta = J w_a$$

II geschlossen α_δ Ausschlag von Sp. G.

$$K \alpha_\delta = C \delta = Q_\delta \qquad (C \text{ Kapazität})$$

I geöffnet $\mathcal{E}$ stellt sich her, am Kond. stellt sich eine um $\mathcal{E}-\delta$ höhere Spannung ein.

$$K \alpha_{\mathcal{E}-\delta} = C(\mathcal{E}-\delta) = Q_{\mathcal{E}-\delta}$$

$$\frac{\alpha_\delta}{\alpha_{\mathcal{E}-\delta}} = \frac{\delta}{\mathcal{E}-\delta} \; ; \quad \mathcal{E} = \delta + J W_i$$

$$\mathcal{E} = J(W_a + W_i)$$

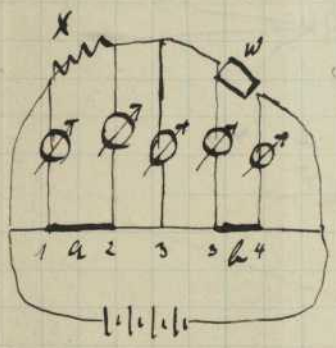
$\mathcal{E}-\delta$ ist sehr klein

Taster I möglichst ausgeschalten

$$\frac{\mathcal{E}}{\delta} = \frac{W_a + W_i}{W_a}$$

$$\frac{\mathcal{E}-\delta}{\delta} = \frac{W_i}{W_a}$$

$$W_i = W_a \cdot \frac{\mathcal{E}-\delta}{\delta} = W_a \frac{\alpha_{\mathcal{E}-\delta}}{\alpha_\delta}$$



Messung sehr kleiner Widerstände.

Alle Übergangswiderst. bringen Fehler hinein daher besondere Methode

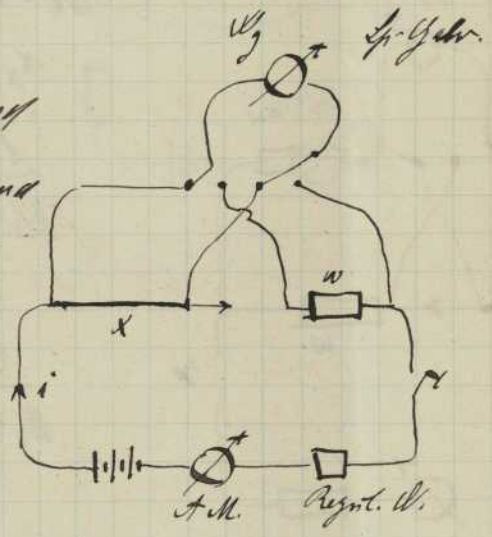
1) Wheatstone'sche Brücke (Projektionsmethode)

Die Übergangswiderstände sind zu eliminieren Arbeitsbedingung

$$\frac{x}{w} = \frac{a}{b} \quad \text{hieraus } x$$

Helfen bei dieser Methode nicht die gewünschte Genauigkeit

2 Methode.



Man schaltet den zu messenden Widerstand in Serie mit einem Vergleichswiderstand von ähnlicher Größe in einen Stromkreis einer Stromquelle mit kleinem inneren Widerstand.

$i x$ = Spann. am Ende von x

Strom der in Spiegelgalv. geht wird vernachlässigt.

$i w$ = Spann. am Ende von w

Im Spiegelgalv. fließt Strom prop. $i x : i w$ nämlich

$$\text{Strom } i_g = \frac{i x}{W_g} = C \alpha_x$$

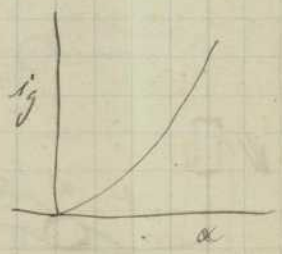
ebenso

$$i_w = \frac{i w}{W_g} = C \alpha_w$$

dann

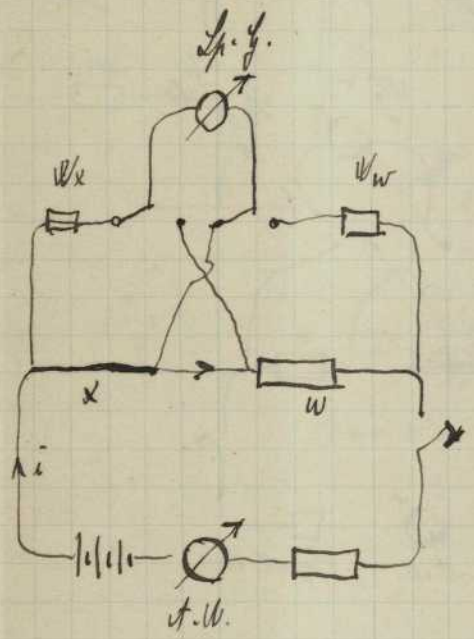
$$\frac{x}{w} = \frac{\alpha_x}{\alpha_w}$$

$$x = w \frac{\alpha_x}{\alpha_w}$$



x kann nun von w ziemlich verschieden sein, damit auch α_x u. α_w so dass ein Ablesen C ändern Kurve bei

sehr verschiedenen Ausschläge. Wir bringen aus einen Zweigwiderstand herein.



$$\frac{i_x}{W_x + w_g} : \frac{i_w}{W_w + w_g} = \text{Strom}$$

$$\alpha_x \qquad \alpha_w$$

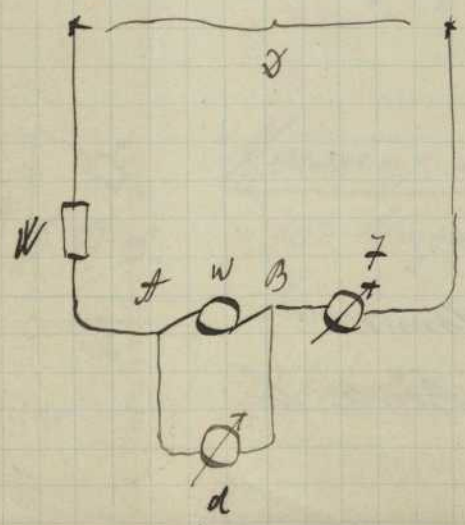
$$\frac{i_x}{W_x + w_g} : \frac{i_w}{W_w + w_g} = \alpha_x : \alpha_w$$

$$\frac{i_x}{W_x + w_g} \cdot \alpha_w = \frac{i_w}{W_w + w_g} \alpha_x$$

$$x = w \frac{W_x + w_g}{W_w + w_g} \frac{\alpha_x}{\alpha_w}$$

Auf diese Weise eliminiert wir frei von Konstanten C des Spiegelgalvanometers.

B Methode.



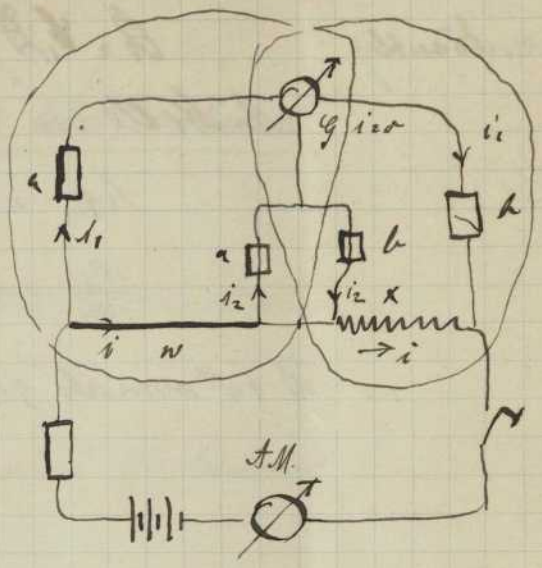
Den Strom u. Spannung mißt man an dem kleinen Widerstand.

$$J = \frac{D}{W}$$

$$J = \frac{d}{w} \; ; \; w = \frac{d}{J}$$

4. Methode.

Abänderung der Brückenmessung von W. Thomson.



Thomsonbrücke

Mit x wird ein Vergleichswiderstand in Serie geschaltet.

2. Kirchhoffsches Gesetz.

$$w i + i_2 a - i_1 a = 0$$

u: $$x i - i_1 b + i_2 b = 0$$

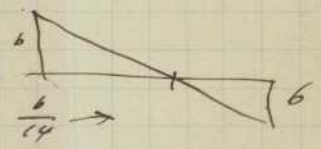
$$w i = a (i_1 - i_2)$$

$$x i = b (i_1 - i_2)$$

$$\frac{w}{x} = \frac{a}{b}$$

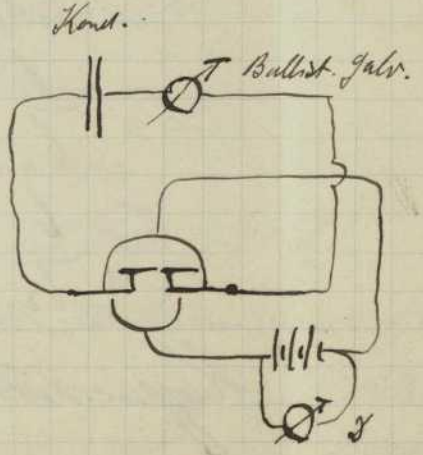
$$x = w \frac{b}{a}$$

w verändert man solange bis Strom im Galvanometerkreis $i=0$ wird. Eine Erwärmung von w darf nicht vorkommen daher keinen zu grossen Strom benützen. Interpolation anwenden.



Vergleichende Kapazitätsmessungen.

Es handelt sich darin eine nicht bekannte Kapazität zu bestimmen mit Hilfe einer bekannten Kondensators.



Propert. Konst. $K u_1 = k_1$ (Elek. Mengen)

K Coulombkoeff. des Galvanometers

n_1 Widerstand $\qquad R = C_1 D \qquad C_1$ = Kapazität

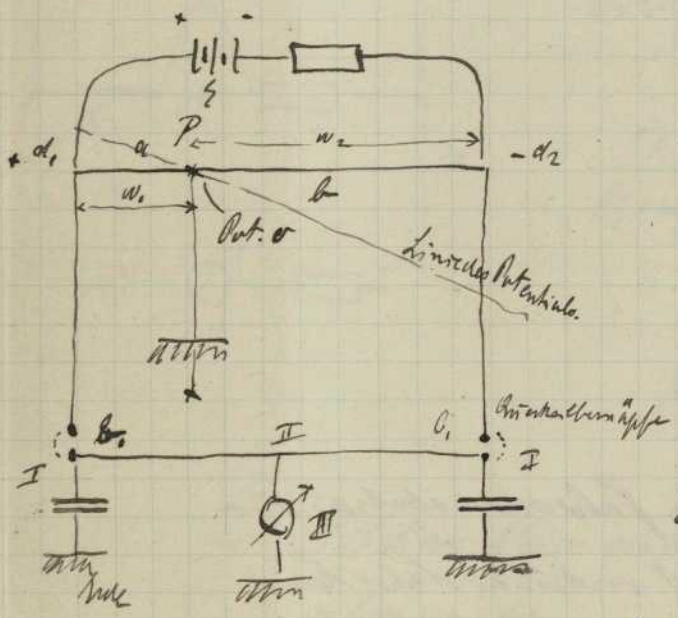
An Stelle von C_1 bringt man C_2

$$K_{11_2} = R_2 = C_2 D$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

D hat man als gleich groß angenommen.

2) Kompensationsmethode für Vergleichg. von Kapazitäten.



Anen einen Draht legt man Konst. Spann. ξ

So ist Punkt P mit den Enden verbunden.

$$\text{I} \quad d_1 - d_2 = \xi$$

$$R_1 = b_1 d_1 \; ; \; R_2 = -b_2 d_2$$

$$\text{II} \quad \frac{b_1 d_1 - b_2 d_2}{R}$$

III Ausschlag eines ballist. Galvanometers.

$$b_1 d_1 - b_2 d_2 = 0$$

$$b_1 d_1 = b_2 d_2$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{b}{a}$$

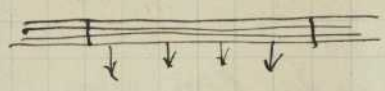
$$\boxed{\frac{b_1}{b_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{b}{a}}$$

Kapazitätsbestimm. am Kabel.

Messung außerordentlich großer Widerstände.

Isolationswiderstand pro km

Isolatoren Guttapercha u. Kautschuk



verhalten sich anders wie Metalle

Läßt man bei Guttapercha um 5° steigen so sinkt Widerstand um die Hälfte. Man hat:

$$w_t = w_0 \alpha^t$$

$$w_{t_1} = w_0 \alpha^{t_1}$$

$$\frac{w_{t_1}}{w_t} = \alpha^{t_1 - t}$$

Änderung des Widerst. abhäng. von der Temp. differenz

Guttapercha $\frac{w_{25}}{w_{20}} = \frac{w_5}{w_0} = \frac{1}{2}$

Bei andern Metallen hat man

$$w_{t_1} = w_{t_0}\left(1 + \alpha(t_1 - t_0)\right)$$

$$\frac{w_{t_1} - w_{t_0}}{w_{t_0}} = \alpha\left(t_1 - t_0\right)$$

Diese Beziehungen hat man empirisch aufgestellt.

Widerst. abhängig nach von der Dauer der Elektrisierung

Man hat als Einheit der Zeit 1 Min. genommen.

Einheit der Temp. bei 15°C in England 15 Febr. (24°C)

Bei $t = 24°$ hat man nach 1 Min Isolationswiderstand 1,00

" " " " 24 Min " 1,32

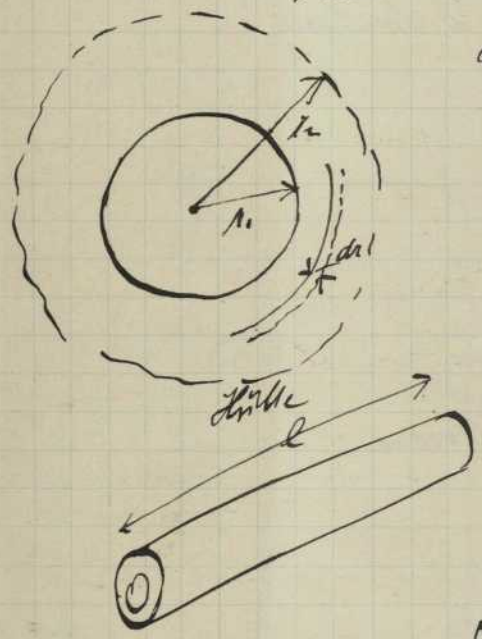
" 0° " " " " 2,71

Bei verlegten Kabel ist Widerst. auch abhäng. vom Druck.
Bei sog. submarinen Kabeln (Meer)

k bei Überdruck

$$W_k = W\,(1 + 0{,}00324\,k)$$

Wie kann man den Isolationswiderst. des Kabels bestimmen wenn die Konstante des Materials gegeb. ist



Länge des Kabels sei l

Widerst. den die Cylinderschale darbietet ist:

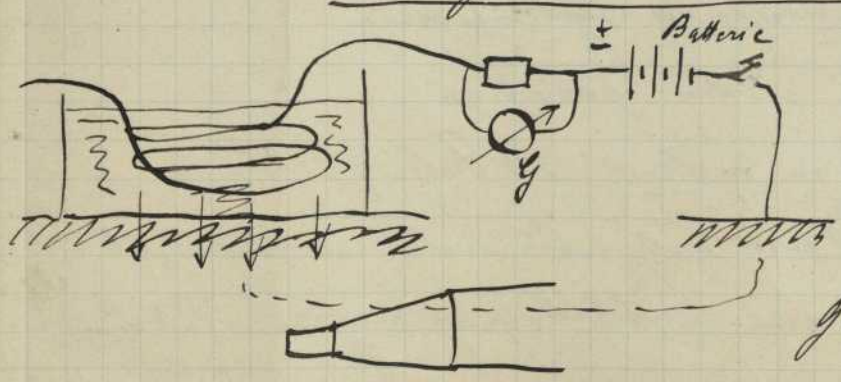
$$dW = \frac{\sigma\,dr}{2\pi r l}$$

$$W = \frac{\sigma}{2\pi l}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = \frac{\sigma}{2\pi l}\left(\ln r_2 - \ln r_1\right)$$

$$= \frac{\sigma}{2\pi l}\ln\frac{r_2}{r_1}$$

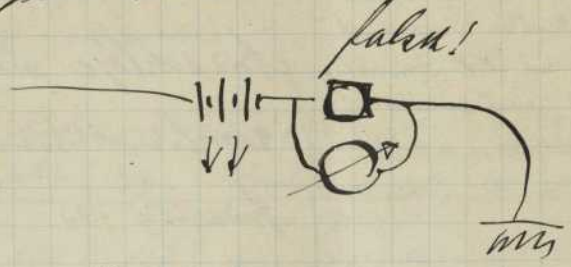
Isolationswid. hängt nur ab von dem Verhältnis der beiden Radien nicht von der Stärke des Kabels. Widerst. Koeff. in Ohm centim. einführen $\sigma = \sigma_1 \times 10^{-4}$.

Messung des Widerst. im Kabelbassin.

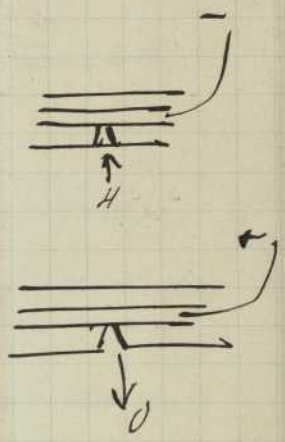


Ende des Kabels gut isolirt Bleistift artig zuspitzen damit Strom nicht zur Seite geht.

Man darf Batterie nicht direkten Brücken i. Galv. stellen.
Man muß eine Batterie von hohen Spann. haben
Galv. muß sehr empfindlich sein. da
Strom sehr klein ist. Einschalt. eines
Nebenschlusses. $w_g = \frac{1}{4}\ \frac{1}{9}\ \frac{1}{99}\ \frac{1}{999}$.

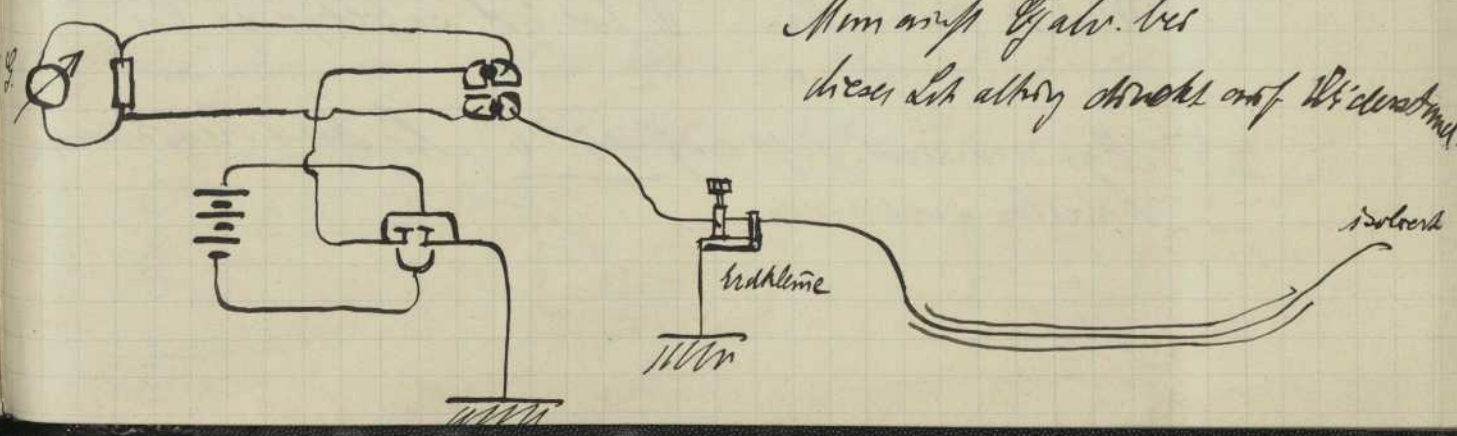


Man hat zuerst Galv. kurz zu schließen da das
Kabel sich zuerst ladet. Man hat 10–15 Sek. zu warten
Soll einmal mit negat. u. das andere mit positiven
Pol zu messen. Ausschläge sollen gleich werden. Hat
man bei Gesetz. Pol größeren Ausschlag. so hat man einen
Isolationsfehler <u>Messung mit dem negat. Pol zuerst</u>
<u>zu machen</u> da dieselbe am besten dazu geeignet ist einen
Isolat. fehler zu bestimmen. Bei neg. Pol wird H frei
Wiederst. wird durch Feuchtigkeit verkleinert. Mit der Zeit
so wird Oxydschicht reduziert. H schlägt sich nieder
u. bildet demnach eine gute Isolationsschicht. Bei
Posit. Pol wird O frei u. freie Stelle oxydiert.



Strom muß es laufen lassen das Ausschlag nach
der Seite des Beobachters hin erfolgt. gestreicht durch
Verbeder. Man hat folgende Schaltung.

Man muß Galv. bei
dieser Schaltung durch Widerstand.



Bei Messung des Messungs erhält man zuerst einen grossen bekannten Widerstand ein ist bei Ausschlag n_0 dann erhält man Kabel ein ist erhält wieder einen Ausschlag

n_0 Ausschlag bei 100000

n " " Kabel

Ausschläge umgek. prop. den Widerständen

Kombinationswiderst. sei 100000 Nebenschl. $\frac{1}{999}$

Ausschlag n_0 E unbekannter Strom Wiff.

Man hat einen Strom fliessen:

$$E n_0 \left(1 + \frac{w_g}{\frac{w_n}{999}}\right) = E n_0 \, 100000$$

1 Skalentheil bedeutet einen Widerst. von

$$100000 \times 10000 \times n_0$$

$$10^9 \times n_0 \; \Omega$$

$$10^3 \times n_0 \text{ Megohm}$$

Verstärkungszahl sei p. 2 Abs. des Galv.

so ist 1 Teilst. $10^3 n_0$ Megohm

somit Isolationswiderst. $\frac{10^3 n_0}{n_1}$

Kabelwiderst. ist Widerst. der Zuleitung ff gestattet

Ausschlag n_1 für Isolation.

n " für Isolation u. Isol. Widerst. somit

Rechnet man mit Ausschlag $n - n_1$ Wenn also der Widerst. bei 1 km W beträgt so beträgt er bei

1 " WL

Man reduziert jetzt auf 15° C. so Ord Reductions-Tabellen vorhanden.

Messing.

Richtung 1 Reihe 6×10^5 Megohm

Länge l 0,2001 km	Temp.	Pol	Zuleitung mit Nebenschluss ∞		Kabel + Zuleitung			Kabelohne Zuleitung		Spez. des Kabels in Megohm	
			1 Min	2 Min.	1 Min	2 Min	Nebenschl.	1 Min	2 Min	1 Min.	2 Min.
	17°	−	18	17	129	136	1/49	6432 (129·15·1/2)	6783 (136·15·1/2)	93,3	88,5
		+	18	17	129	120	1/49	6432	5983	93,3	100,3

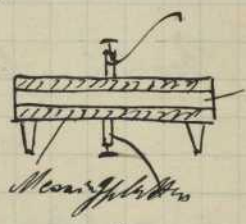
Diese Grössen sind mit dem Koeff. 0,992 auf 15° zu reduzieren

Sicherheitsvorschriften verlangen die Lampenersparung

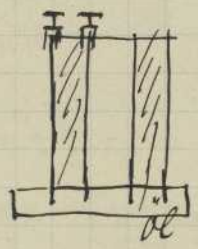
Nr. 11 mm Öl auf einen Isolationsmaterial.

Bestimmen es wendet man 2 Messingzylinder

an in die man das Öl hineinschüttet



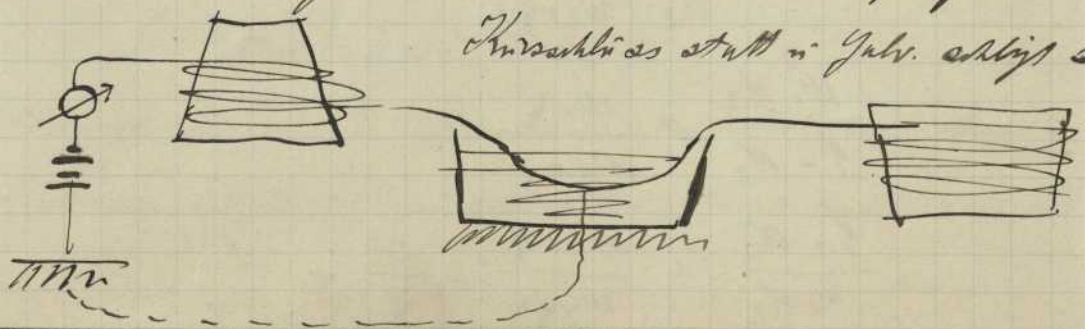
$$W = \frac{\sigma}{2\pi l} \ln \frac{r_1}{r_2}$$



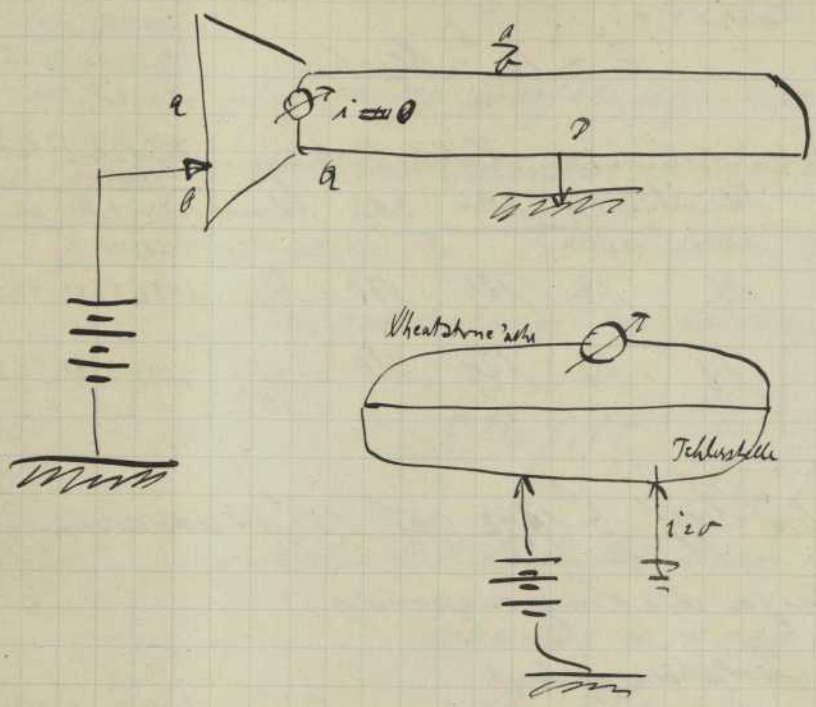
Hat man keine genaue Platte so kann man ein Metallgefäss nehmen in das die Platte gelegt wird u. Kreuzstreifen darauf gestellt zum

Zu diesen Widerst. best. gehört auch die Lokalisierung einer Fehlerstelle

Man verbindet Kabel auf eine Trommel u. wickelt dasselbe auf einen Unterbrecher sobald Fehler im Kabel ist findet Kurzschluss statt u. Galv. schlägt stark aus

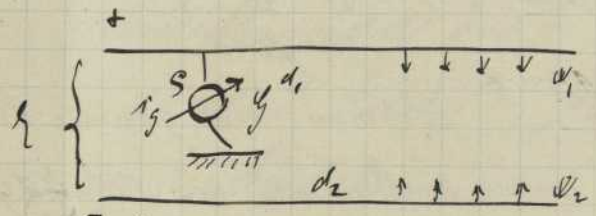


Bestim. des Fehlers einer erdungsgelegten Kabels.



Man verbindet die beiden Enden des Kabels a, b, legt die andern an das Galv. $i = 0$ wenn Fehlerstelle in Mitte.

Bestim. des Isolat. Widerst. einer Leitungslinie



d_1 Spann. am Voltmeter

In der oberen Leitung Eingangswiderst. w_1 in der unteren w_2

$$l : d_1 = \frac{w_1 \varrho}{w_1 + \varrho} + w_2 : \frac{w_1 \varrho}{w_1 + \varrho}$$

$$l - d_1 : d_1 = w_2 : \frac{w_1 \varrho}{w_1 + \varrho}$$

$$w_2 = \frac{(l - d_1)\, \varrho\, w_1}{d_1\, (w_1 + \varrho)} \qquad (1)$$

$$w_1 = \frac{(l - d_2)\, w_2\, \varrho}{d_2\, (w_2 + \varrho)} \qquad (2)$$

$$\frac{w_1 d_2}{l - d_2} = \frac{w_2 \varrho}{w_2 + \varrho}$$

$$\frac{l - d_2}{w_1 d_2} = \frac{w_2 + \varrho}{w_2 \varrho} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{w_2}$$

$$\frac{\mathcal{E} - d_2}{w_1 d_2} - \frac{1}{\varrho} = \frac{d_1 (w_1 + \varrho)}{(\mathcal{E} - d_1) w_1 \varrho}$$

Isolationswiderst.

$$w_1 = \frac{\varrho \left(\mathcal{E} - (d_1 + d_2)\right)}{d_2}$$

Diese Methode ist durchführbar während des Betriebes. Vorschriften des Verbandes für die Größe der Isolation.

$\frac{1000000}{n}$ Ohm für die Leitung

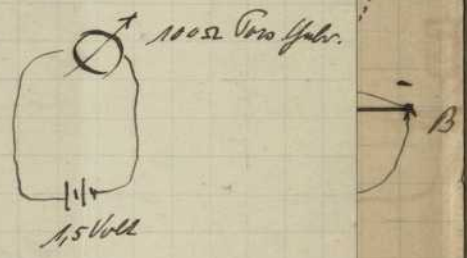
$10000 + \frac{1000000}{n}$ Ω für jeden Hauptstromzweig

n Anzahl der Glühlampen + für jeden Motor 10 Glühl. als Äquivalent

Isolation der Leitungen gegeneinander während des Betriebes nicht aufzuheben. Es muß genau eingehalten werden:

1) Negative Pole direkt an die Leitung legen.

2) Es muß mit Betriebsspan. gemessen werden.



Messung elektromotorischer Kräfte:

$\mathcal{E} = \mathcal{J} + \mathcal{J} W_i$ $\quad$ W_i innerer Wid.

W_i sei 5 Ω 150° Ausschl. 1° = 0,00001 Amp.

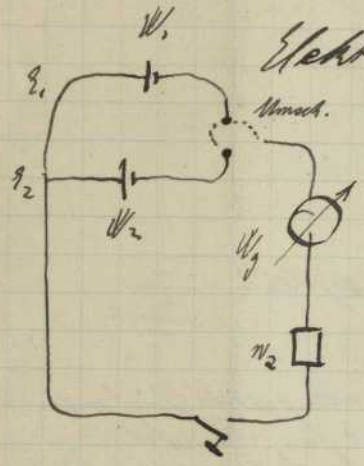
$\mathcal{J}_g = 0{,}0150$ Amp.

$\mathcal{J} = 100 \cdot 0{,}015 = 1{,}5$ Volt.

$\mathcal{E} = 1{,}5 + 5 \cdot 0{,}015 = 1{,}575$

Unterschied ca 4,8 % Man hat es in der Hand die Messung zu verfeinern. Messung mit einem Spiegelg. mit sehr hohem Widerst.

dem Elektrost. Vergleichende Mess. auf diese Weise ausgeführt. Ein Normalelement habe el. Kraft $\mathcal{E}_1$ wenn hinzu ich die messende Elekt. Kraft $\mathcal{E}_2$



$$\mathcal{E} n_1 = J_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{W_1 + w_g + w_2}$$

$$J = \mathcal{E} n_2 = \frac{\mathcal{E}_2}{W_2 + w_g + w_2}$$

W_1 u. W_2 wird man variabel wählen dürfen damit

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2} \; ; \; \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

W_2 wählt man in beiden Fällen verschieden. Man nähert n_1 dem Ausschlag n_2 durch Änderung von W_2

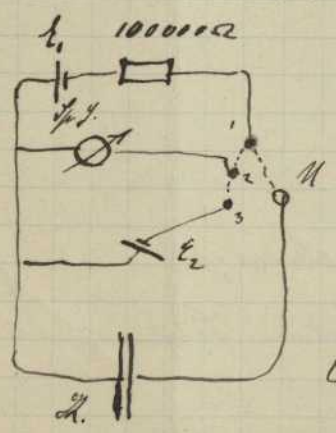
$\mathcal{E} n_1$ nahezu $= \mathcal{E} n_2$ man kann dann $\mathcal{E}$ als konstant vernachlässigen.

$$\mathcal{E} n_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{W_1 + w_g + w_{21}} \qquad \mathcal{E} n_2 = \frac{\mathcal{E}_2}{W_2 + w_g + w_{22}}$$

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{w_g + w_{22}}{w_g + w_{21}} = \frac{n_1}{n_2} \, \frac{w_g + w_{22}}{w_g + w_{21}}$$

<u>2. Methode.</u>

Verwend. von Konden-atoren. Ladung Q_1 von $\mathcal{E}_1$ herrührend,



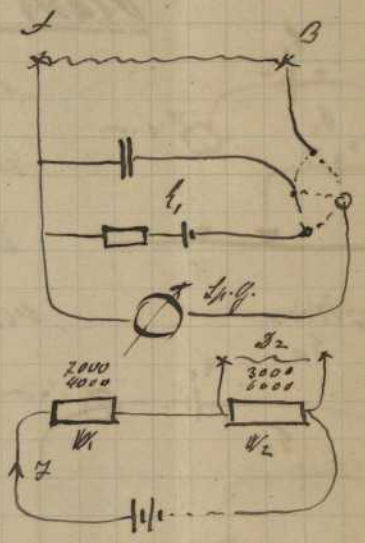
Stellung 1. $Q_1 = \mathcal{E}_1 C = R n_1$

Stell. 3 $Q_2 = \mathcal{E}_2 C = R n_2$

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

In den Stromkreis des Normalinst. ist ein sehr hoher

Widerstand einzuschalten. (100000 Ω) Im ersten Moment der Ladung des Kondens. verursacht dieser Widerstand starken Spannungsabfall. Spannungsmessung auf diese Weise auch hergestellt bei 2 Drähten die nicht leitend verbunden werden müssen.



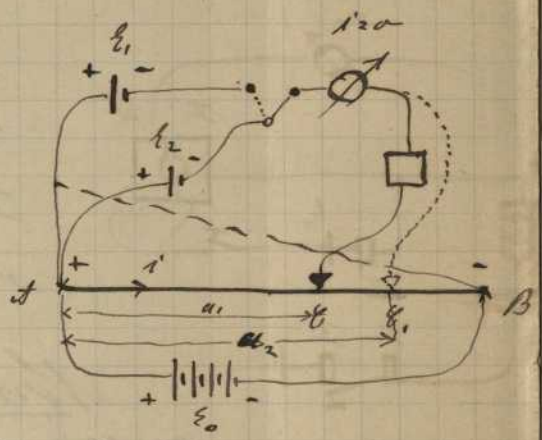
Potentialstufen zur Herstellung verschiedener elek. Kräfte. W_1 + W_2 konstant erhalten u. die einzelnen dabei verändern z.B.

$6000 + 4000 = 10000$; $J_2 = JW_2 = J\,3000$

$7000 + 3000 = 10000$ $J_2 = JW_2 = J.6000$

Kompensationsmethoden.

Poggendorf-Dubois'sche Methode.



Mit einem ausgespannten Draht durchgeführt an ein Stromquelle E_0 angelegt. Über dem Draht stellt sich Potentialverteilung her. 2 el. Kräfte. E_1 = normal Element.

Herstellung desselben Potentials am negat. Pol durch Verschieben eines Kontaktes bis Galvan. strom 0. so sei:

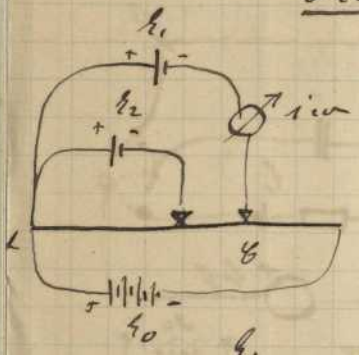
$$AE = a_1 \quad AE_1 = a_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

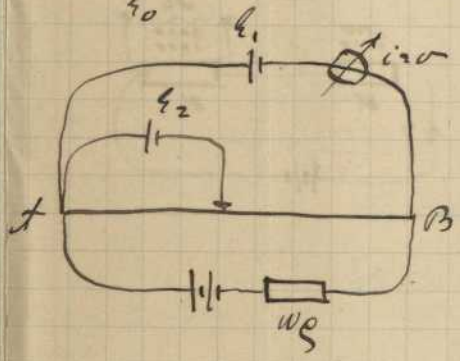
Beding. E_0 muss $> E_1$ u. $> E_2$ sein. Die elekt. Kraft E_0 soll sich zwischen Messung von E_1 u. E_2 nicht ändern. Diese eine Beding.

für die Genauigkeit der Messung. (Abkommlat.)

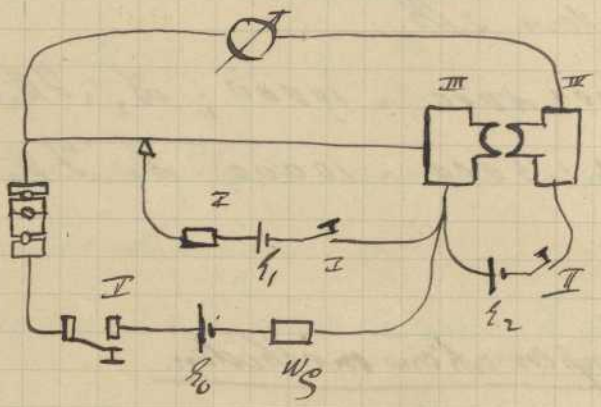
Clark-sche Methode.

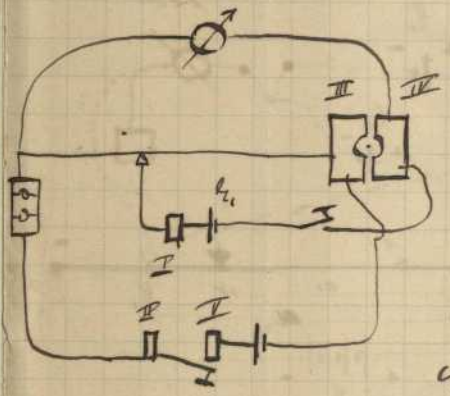


Man mißt zu gleicher Zeit E_1 u. E_2. A B = a,
Es ist möglich für E_2 gleichzeitig wie für E_1 eine Stelle C_1 zu finden wo Galv. Strom = 0 ist. Durch Änderung von W_S wird i = 0 gemacht dadurch nur 1 Kontakt nötig



Clark.



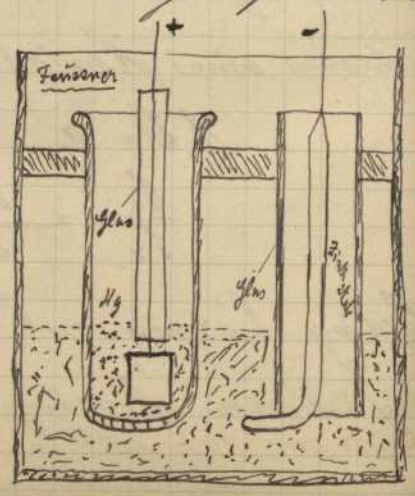


Durch Änderung von W_S wird nach einmaligem Umschalten von II im Galvan. = 0 gemacht, dann E_1 eingeschaltet u. durch Verschieben des Kont. i nochmals zu 0 gemacht.

Normalien der elek. Kraft sind nötig zur praktischen Einführung der Messung dieselben müssen leicht reproduzierbar sein.

Clark Normalinstrumente

Die Instrumente dieser Reihe Strom abgeben daher kann man ganz beliebige Galvanom. verwenden

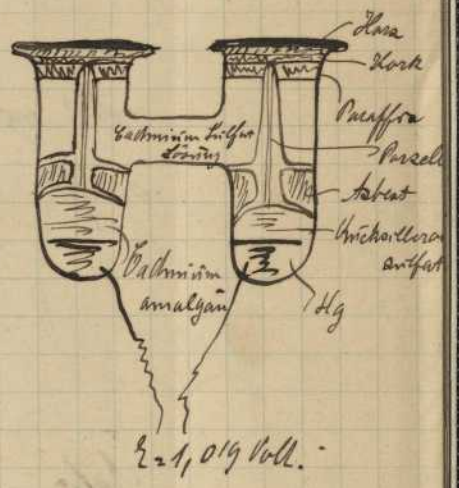


Fensener'sches Element.

An amalg. Platinblech ein Platindraht angeschlossen der von einem Glasringe umgeben ist. In Zinksulfatkrystalle ist eine Porzelle eingebettet. E = 1,433 Volt. auf 15° bezogen. Der Zinkstab ist auch in Zinksulfat eingebettet als neg. Elektrode. Weniger als 100000 Ω dürfen bei der Messung nicht einschalten.

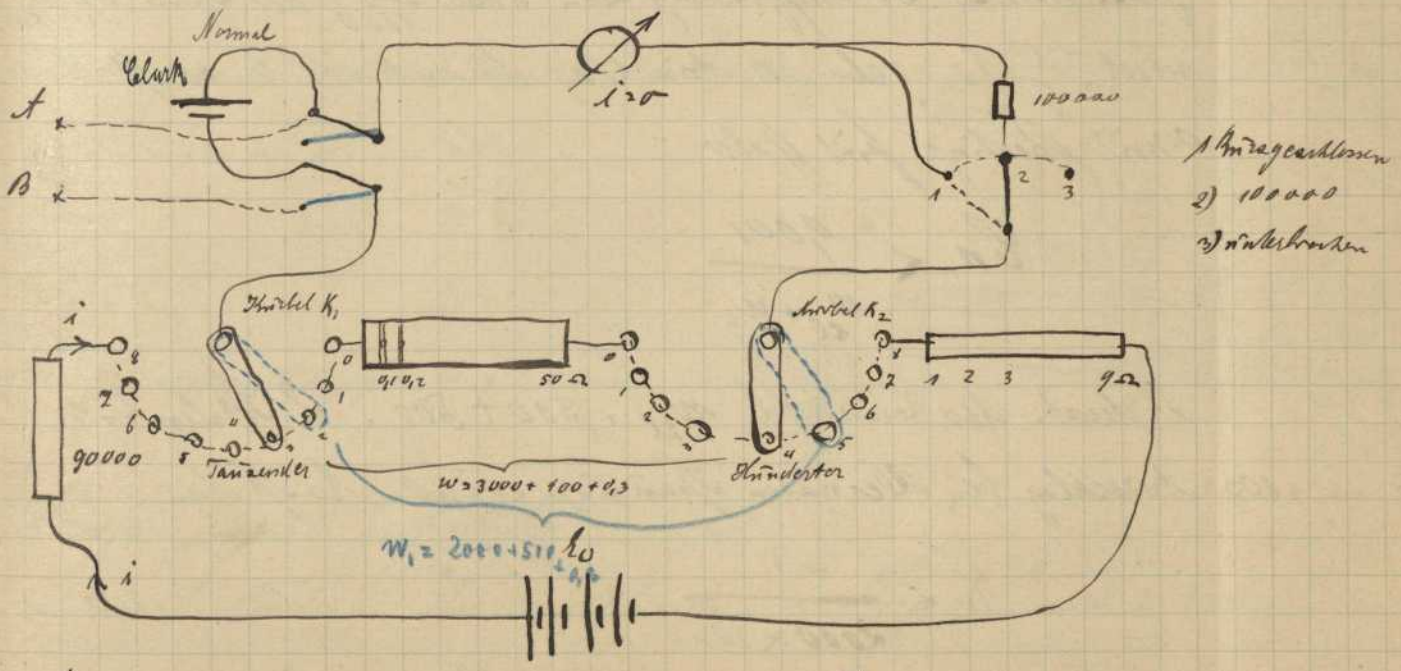
$$1{,}4328 - 0{,}00119\,(t-15) - 0{,}000007\,(t-15)^2$$

Instrumente sehr abhäng. von Temper.



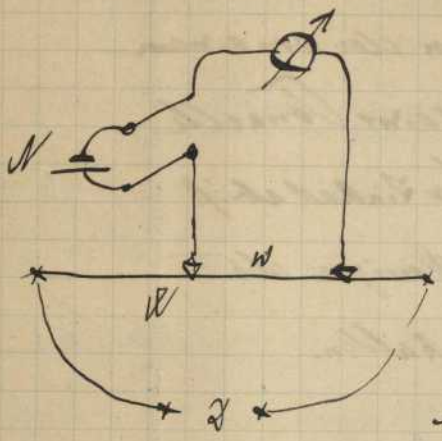
Cadmium Instrumente bieten einen Ersatz der Elektrodynamometer. Temp. Koeff. $\frac{4}{1000}$ % verkin $\frac{1}{1000}$ % H Form gewählt. Sind teuer. Im Daniel E. ändert sich E.

Fensener'scher Apparat für Elektrodynamometer.



Man muss mindestens 1000 Ω vorschalten. Kurbeln haben. Man kann bis 14 Volt messen

Um mehr als 14 V. zu messen mißt man mit dem Kompensator



$N \quad — \quad w$

$S \quad — \quad W$

Man kann den Spann. bis 500 Volt messen

$$S = N \cdot \frac{W}{w}$$

Für praktische Messungen ist diese Art der Mess. etwas unz. Doch für Fabriken ist dieselbe noch nicht rasch genug. Clark Element folge der Formel.

$$N = 1{,}433 - 0{,}0012(t-15) \qquad (t \text{ Temp.})$$

wählt man $w = 1452 - 1{,}2t$ (1,452 = el. Kraft)

so ist W immer 1000 mal größer als elektr. Kraft somit

$$S = 0{,}001\, W$$

$$S = 0{,}001\, w'$$

Galv. muss so empfindlich sein dass $\frac{1}{1000}$ der Spann. angezeigt wird. Galv. gebe n Ausschlag Stromstoß C es ist somit Beding. für Galv.

$$Cn < \frac{0{,}001}{w_{el} + w_g}$$

Widerst. des Clark El. $w_{el} = 300 + 500$. 2 Skalenteile $w_{el} + w_g = 1000$ Ausschlag bei Alternaten Spannungsabfall es ist dann

$$C < \frac{1}{2000 \times 1000}$$

$$C < 5 \times 10^{-7}$$

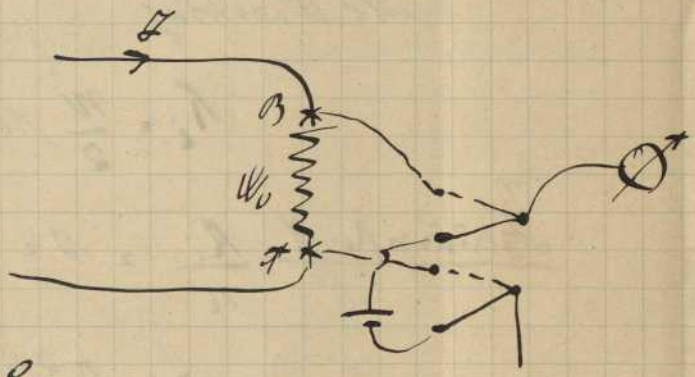
Weitere Forderung:

$$C n_1 < \frac{1{,}4 \times 10^{-5}}{w_l + w_g}$$

n_1 bedeutet den Schutz des Clark Elements n_1 mindestens 50 dann:

$$C < \frac{1{,}4 \times 10^{-8}}{50} < 2{,}8 \cdot 10^{-7}$$ (maßgebend)

damit ist man in der Lage mit dem Apparat Spannungsmess. vorzunehmen. Man kann auch Ströme messen, wenn man Widerstand der Reichsanstalt nimmt. Clark El. genau bestimmt durch Silber Voltameter.



Kapitel Maschinenmessung.

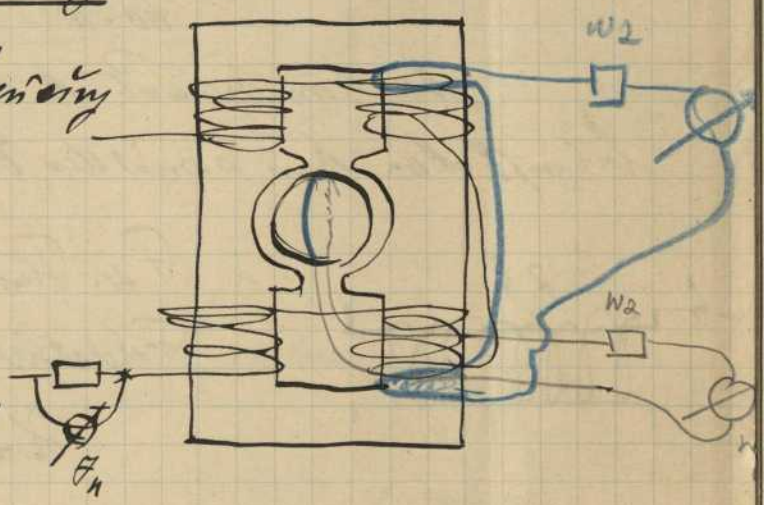
Messung eines Dynamomaschinen Streuung

K Kraftlinien im Anker

K_i " im Joch

dann

Streuungskoeff. $\sigma = \frac{K_i}{K}$



Prüfung eine auf Anker

Sekundl. Änderung der Kraftlinien $2 \frac{dK}{dt} 10^{-8} = e = 1\,W$

$$2 \frac{dK}{dt} 10^{-8} = 1\,W$$

$$\int dK = \frac{w}{2} 10^8 \underbrace{\int_0^t i\,dt}_{Q}$$ (Q Elektrizitätsmenge)

$$K = \frac{w}{2} 10^8 \cdot Q$$

Kraftlinienzahl im Anker:

$$K = \frac{w}{2} 10^8 \times \mathfrak{E}_n$$

Zum Zweck der Bestimm. der Kraftl. im Joch legt man Prüfspule auf Joch. Man legt direkt unmittelbar unter die Wicklung

$$K_i = \frac{w}{2} 10^8 \mathfrak{E}_{n_i}$$

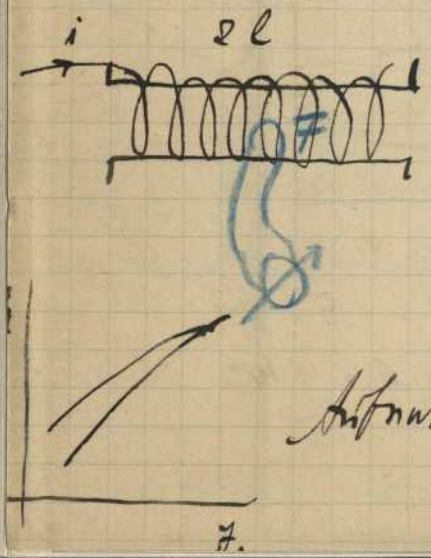
W_3 Widerst. der Prüfspule

$W = W_g + W_2 + W_3$

<u>Streuungskoeff</u> $\frac{K_i}{K} = s = \frac{n_i}{n}$

$$\mathfrak{E} = \frac{n 2K}{60 \cdot 10^8}$$

Man kann hieraus K bestimmen. So ist jetzt alles bekannt bis auf F. Man kann somit den Carlombkoeffizienten bestimmen

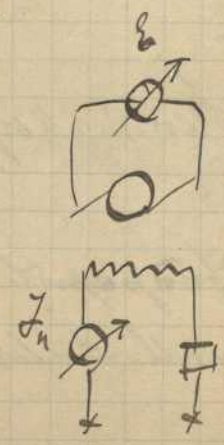


F sei Fläche der Prüfspule

Feldstärke der Spule

$$\mathcal{H} = \frac{4\pi}{10} \frac{i2}{l}$$

$$\underbrace{F\mathcal{H} = K}$$



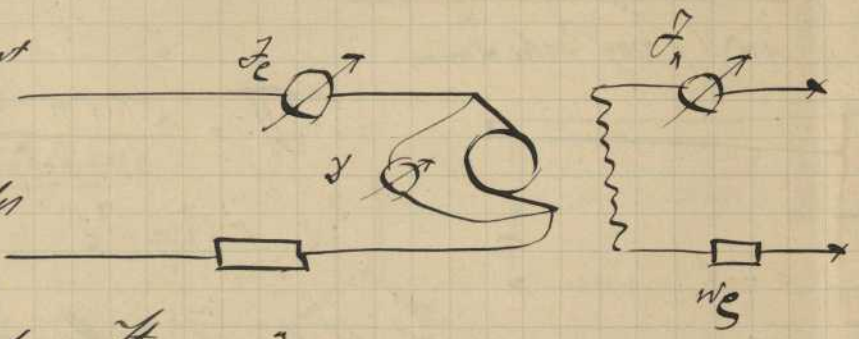
Aufnahme der stromlosen Charakteristik

$$\mathfrak{E} = \frac{n 2K}{60 \cdot 10^8}$$

Bestimmung der Leerlaufarbeit A_l

Darunter versteht man die Arbeit der Reibung u. Magnetisierungsarbeit des Eisens.

Man muß konstant halten. Man muß Ankerwiderstand W der Maschine kennen.

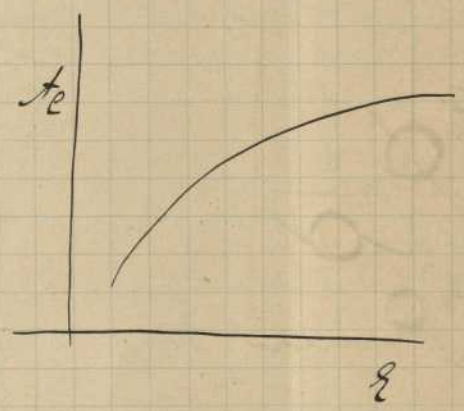


Man hat Wärmeverluste.

$$J_l E - J_l^2 W = A_l \; ; \; E = J - J_l W$$

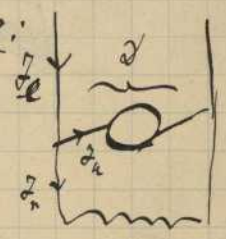
$$J_l \underbrace{(J - J_l W)}_{E} = A_l$$

$$J_l E = A_l$$



Bestim. des Nutzeffekts von Masch. Motor:

$$\mu = \frac{J_l J - J_a W - J_n J - A_l}{J_l J}$$



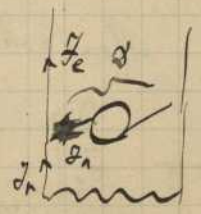
$$J_a = J_l - J_n$$

Für Vollbetrieb $E = J - J_a W$

Man kann aus obiger Kurve den Wert A_l entnehmen.

Läuft Maschine als Generator

$$\mu = \frac{J_l J}{J_l J + J_a^2 W + J_n J + A_l}$$



$$J_a = J_l + J_n$$

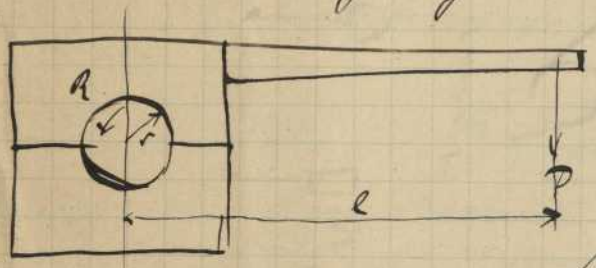
$$E = J + J_a W.$$

zu zählen

Indirekten Nachdrücken ist die Wirbelströme nicht berücksichtigt
Man 1 ÷ 1½ % in Abrechnung zu bringen.

Bremsung der Maschine.

durch Prony'sche Zaum

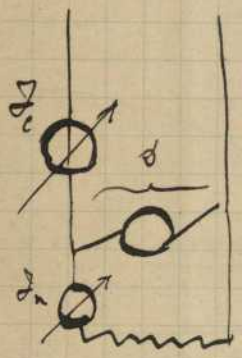


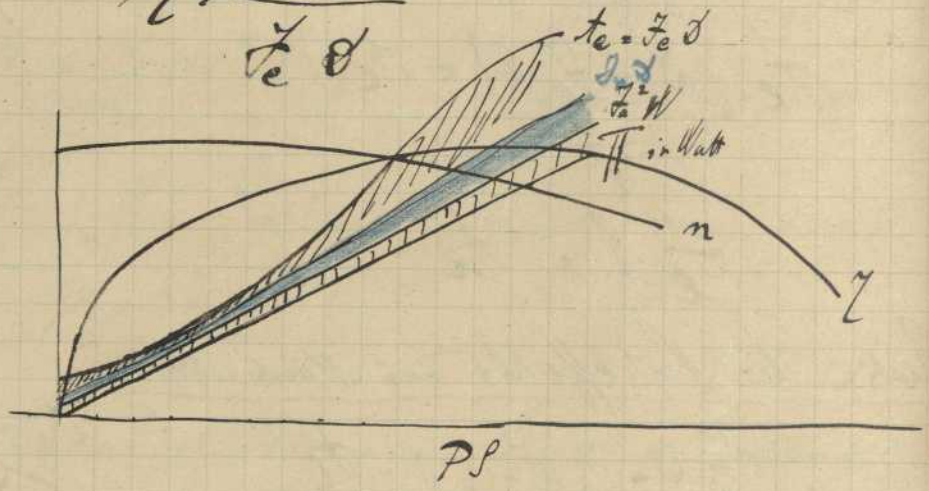
$$N = \frac{2\pi r n R}{60 \cdot 75} = \frac{\pi n P l}{30 \cdot 75} \text{ PS.}$$

$$r R = P l$$

Nutzeffekt der Maschine.

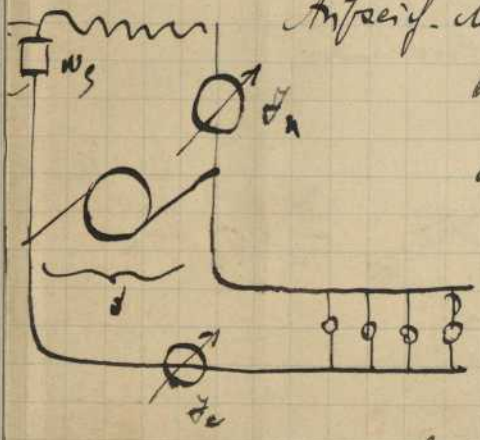
$$\eta = \frac{N}{J_e \delta}$$





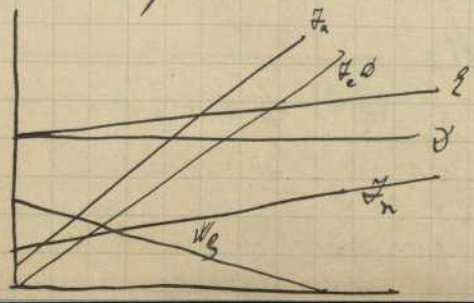
Untersuchung eines Nebenschlussgenerators

Aufzeichn. der Betriebskurven Maschinen muss 2 Stunden lang bei Vollbelastung gelaufen sein bevor Anfang. Man erhält δ konstant ferner n



δ
J_e
δ_g
J_n
gemessen

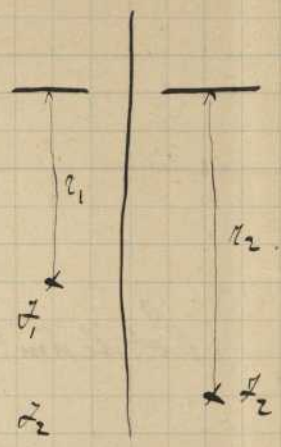
$\xi = \delta + J_a W$



Photometrische Messungen.

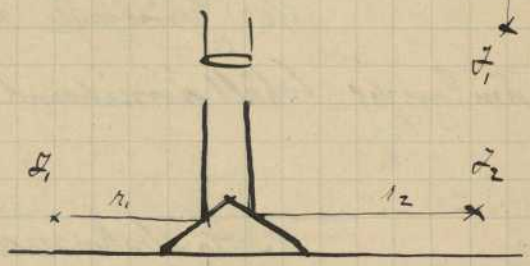
Apparate zur Messung der Lichtstärken.

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$



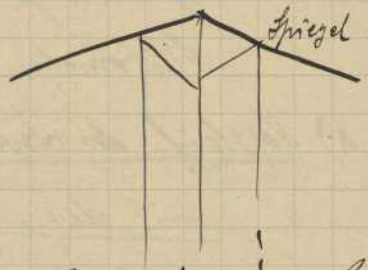
Photometer von Ritschie

Fehler Reflektionswinkel beeinflusst Beleuchtung



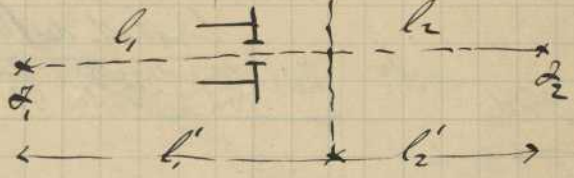
Photometer von Rüdorff

Unempfindlich.



Bünsen.

Anwend. eines Paraffinfleckes



$$\frac{J_1}{r_1^2} = \frac{J_2}{r_2^2}$$ Einstell. nicht benutzt.

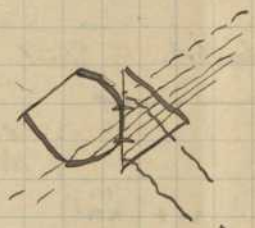
$$\frac{J_1}{l_1 l_1'} = \frac{J_2}{l_2 \cdot l_2'}$$ Einstellung auf Gleichheit der Flecken.

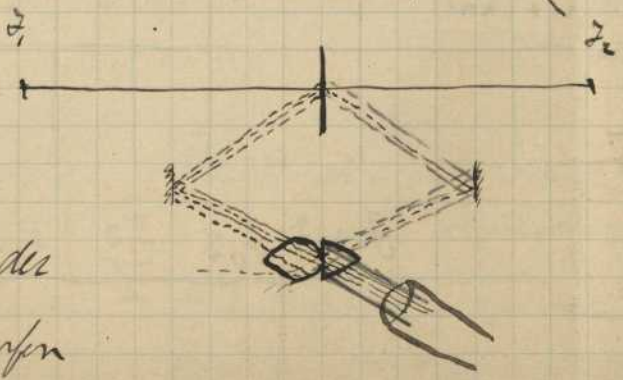
Genauigkeit des Bünsen'schen Phot. bis 3%

Photometer von Lummer Brodhun

Fällt Licht auf rauhe Fläche so wird es reflektiert trifft es auf die ebene Fläche so wird der Strahl nicht zurückgeworfen

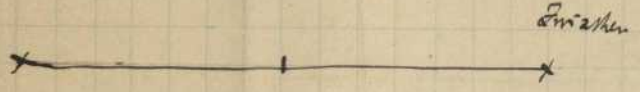
Treffen die Bleistiftstrahlen innerhalb der ebenen Fläche das Prisma so wird es zurückgeworfen





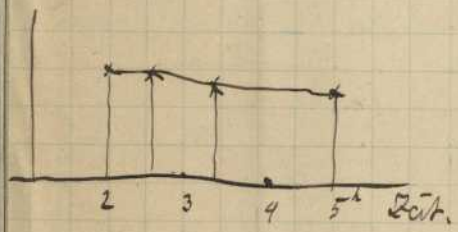
Amylacetat

Einheit der Lichtstärke Hefner'sche Kerze. (allgemein)



Vergleich mit einem Zwischenlicht. Petroleum-lampe. Zuerst Vergleich der Hefner Kerze mit dem Zwischenlicht. dann Vergleich der Glühlampe mit dem Zwischenlicht.

Petroleumlampe behält annähernd ihre Lichtstärke bei.

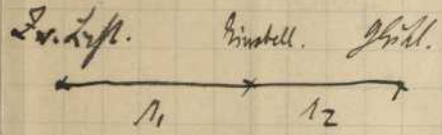


Betriebskurven einer Glühlampe.

Glühlampe — Stemmeco.

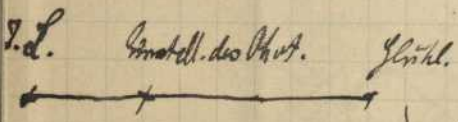
Photometer — Spannung.

a) Vergleich des Zwischenlichtes (Petroleuml.) mit der Hefner Einheit.



No	Zeit	Einstell. des Photometers: Schirmlage I Fl. r.	Fl. l.	Schirmlage II Fl. r.	Fl. l.	r_1	r_2	Lichtstärke des Zwischenl. $L_0 = 1 \frac{r_1^2}{r_2^2}$	Bem.

b) Vergleich der Glühlampe mit dem Zwischenlicht

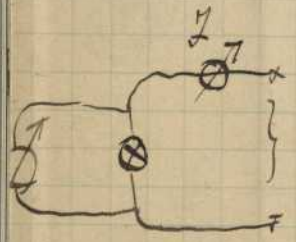


Stellung des Zwischenlichtes

Stell. der Glühlampe

Energie = Watt pro Normalkerze

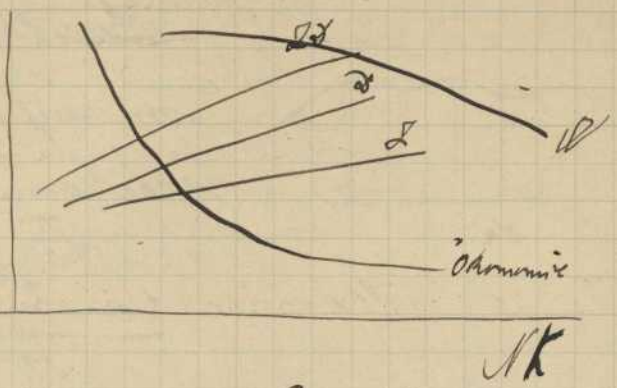
No	Zeit	Einstell. des Photom.				r_1	r_2	Lichtst. des Zwischenl. L_0	Lichtst. der Glühlampe $= L_0 \frac{r_2^2}{r_1^2}$	Strom	Spannung	Stromverb. der Glühl. $\frac{2}{1}$



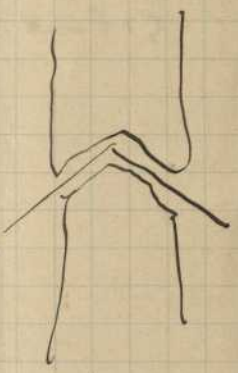
$J = i \cdot J_0$	$J_0 \vartheta$	$\frac{J_0 \vartheta}{L}$	$W_2 \frac{\vartheta}{\vartheta_1}$	$\frac{L}{\Delta \vartheta}$

c) Vergl. des Zwischenl. mit der Hefner Kerze.

Widerst. der Hell. nimmt ab mit der Zunahme der Beanspruchung

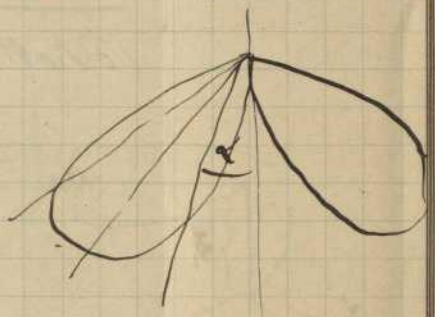


Schwieriger ist Vergl. mit einer Bogenlampe. Licht derselben wird nach innen geworfen unter 45°. Viel violette Strahlen. Spiegel absorbiert viel Licht.



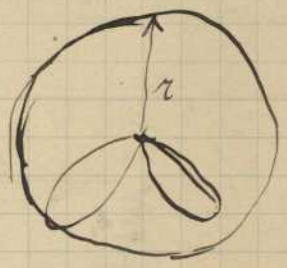
Helligkeit der Bogenlampe

Mittlere sphärische Intensität. Um den Lichtpunkt der ~~Kugel~~ Bogenlampe eine Kugel beschrieben. Es wird dieselbe auf der Oberfläche verschiedene Helligkeiten haben



Helligkeit $= \frac{J}{r^2}$

Oberfläche des Elements $= 2\pi r^2 \sin\alpha \, d\alpha$



somit

Beleuchtung = Hell. × Oberfläche

$$= \int_0^\pi \frac{J}{r^2} 2\pi r^2 \sin\alpha \, d\alpha$$

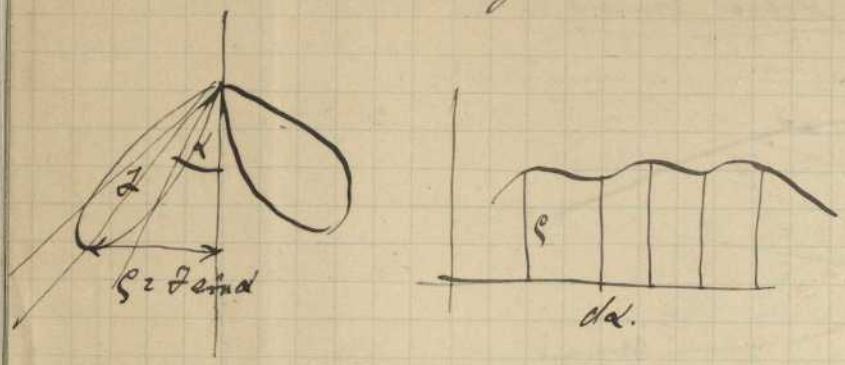
$$= \int_0^\pi J \, 2\pi r^2 \sin\alpha \, d\alpha$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\int_0^\pi J \sin\alpha \, d\alpha}{p^2}$$

Divid. durch Oberfläche der ganzen Kugel gibt $4\pi r^2$

Größe des Integrals nennt man die mittlere sphärische Intensität

Bestimmung des Intpolls Querstromäßig graphisch.

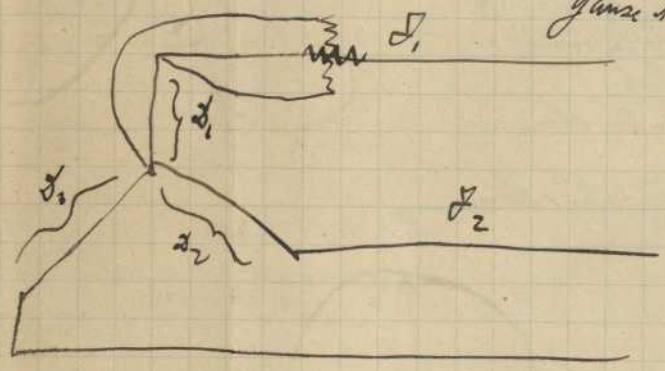


Bezieht man den Druck nur auf die untere Hälfte der Oberfläche so hat man:

$$\frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} 2\pi J \sin\alpha \, d\alpha}{2\pi r^2} = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho \, d\alpha}{r^2}$$

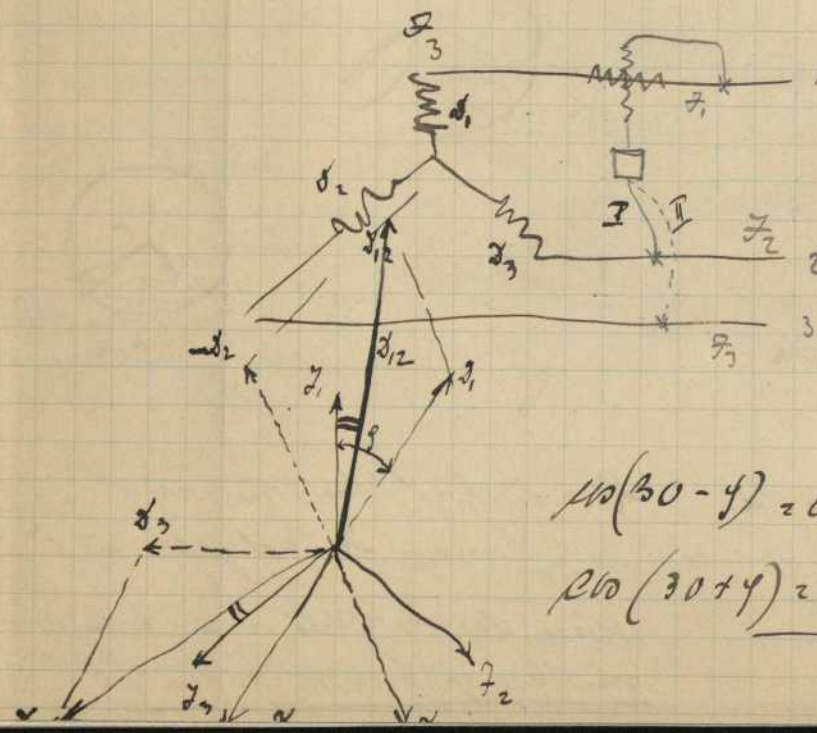
Energiemessung von Drehstrommotoren.

Verkettungspunkt soll zugänglich sein.



Ganze Arbeit. $A = A_1 + A_2 + A_3$

Methode umständlich. Besser wäre man in allen 3 Zweigen gleichen Arbeitsverbrauch.



In der Stellung I ist Arbeit

$$A_1 \quad J_1 J_1 \sqrt{3} \cos(30 - \varphi)$$

Doppelgeschriebener Winkel gilt.

$$A_2 = J_1 J_1 \sqrt{3} \cos(30 + \varphi)$$

$$\cos(30 - \varphi) = \cos 30 \cos\varphi + \sin 30 \sin\varphi$$

$$\cos(30 + \varphi) = \cos 30 \cos\varphi - \sin 30 \sin\varphi$$

$$2 \cos 30 \cos\varphi$$

Gesamte Arbeit:

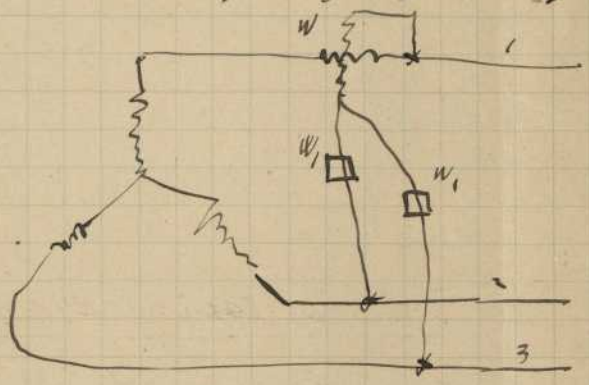
$$A = A_1 + A_2 = E_1 J_1 \sqrt{3}\sqrt{3}\cos\varphi = 3 E_1 J_1 \cos\varphi$$

<u>Weitere Methode</u> von Spann. in 3 Spulen gleich. u. gleich. Belastungen

Benützung von 1 Wattmeter.

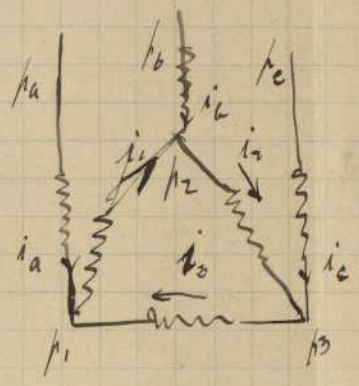
Bedingung $W_1 = W_1$

$$A = 6\alpha(2W + W_1)$$



<u>Aron'sche Methode</u>

2 Wattmeter Methode.



$i_a + i_3 = i_1 \qquad i_a = i_1 - i_3$

$i_b = i_2 - i_1$

$i_c = i_3 - i_2$

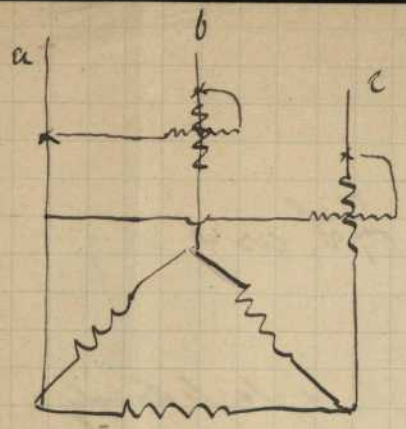
Ferner ist für jeden Moment $i_a + i_b + i_c = 0$

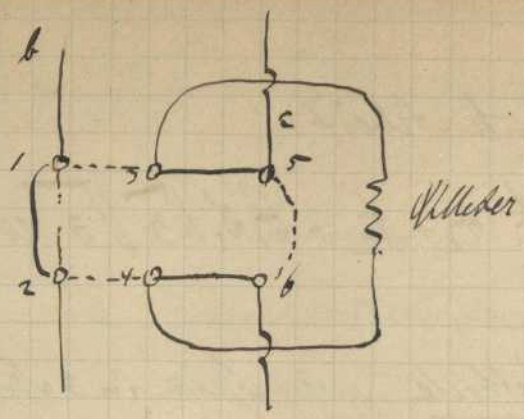
Gesamte scheinbare Arbeit:

$$A = \underbrace{i_a(p_a - p_1) + i_b(p_b - p_2) + i_c(p_c - p_3)}_{\text{Arbeit in den äußeren Drähten}} + \underbrace{i_1(p_1 - p_2) + i_2(p_2 - p_3) + i_3(p_3}_{\text{in den inneren Drähten.}}$$

$$A = i_b(p_b - p_a) + i_c(p_c - p_a)$$

328.






cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Colour & Grey Control Chart
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
Grey 1
Grey 2
Grey 3
Grey 4
Black
Part Code 85T1
Batch #USFA1803
DANES PICTA