

Um in Schaltanlagen bei Meßinstrumenten, die der zufälligen Berührung ausgesetzt sind, die gefährliche Hochspannung zu vermeiden, verbindet man die Instrumente mittels kleiner *Meßtransformatoren* mit der Hochspannungsleitung, und zwar kommen für Spannungsmessungen sogenannte *Spannungstransformatoren*, für Strommessungen *Stromtransformatoren* in Betracht. Bei ersteren liegt die viele Windungen dünnen Drahtes enthaltende Hochspannungswicklung an zwei Polen der Hochspannungsleitung, während der niedriggespannte Sekundärstrom den Zeigerausschlag am Instrument bewirkt. Bei den Stromtransformatoren durchfließt der ganze Leitungsstrom die aus wenigen Windungen starken Drahtes bestehende Primärwicklung. Die Sekundärwicklung umfaßt meh-

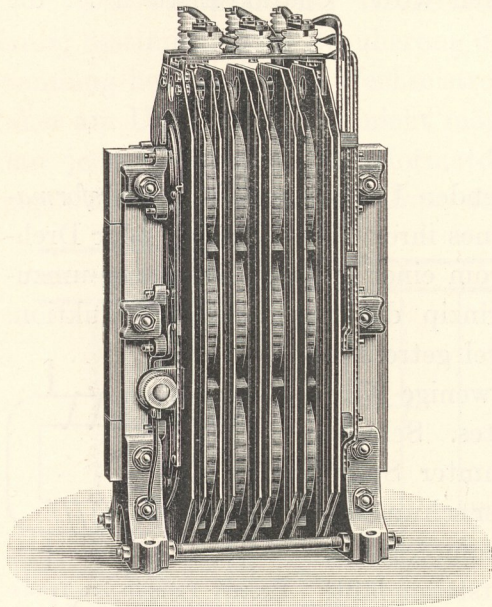


Fig. 391. Drehstromtransformator (Anordnung 2; Siemens-Schuckert-Werke).

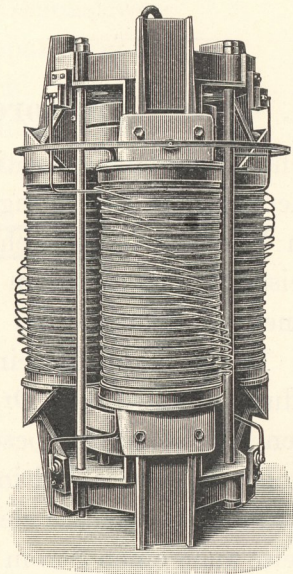


Fig. 392. Drehstromtransformator (Anordnung 3).

rere Windungen schwächeren Drahtes und ist mit dem Instrument direkt verbunden. Eine Änderung des Primärstromes bewirkt natürlich auch eine Änderung des den Stromzeiger beeinflussenden Sekundärstromes.

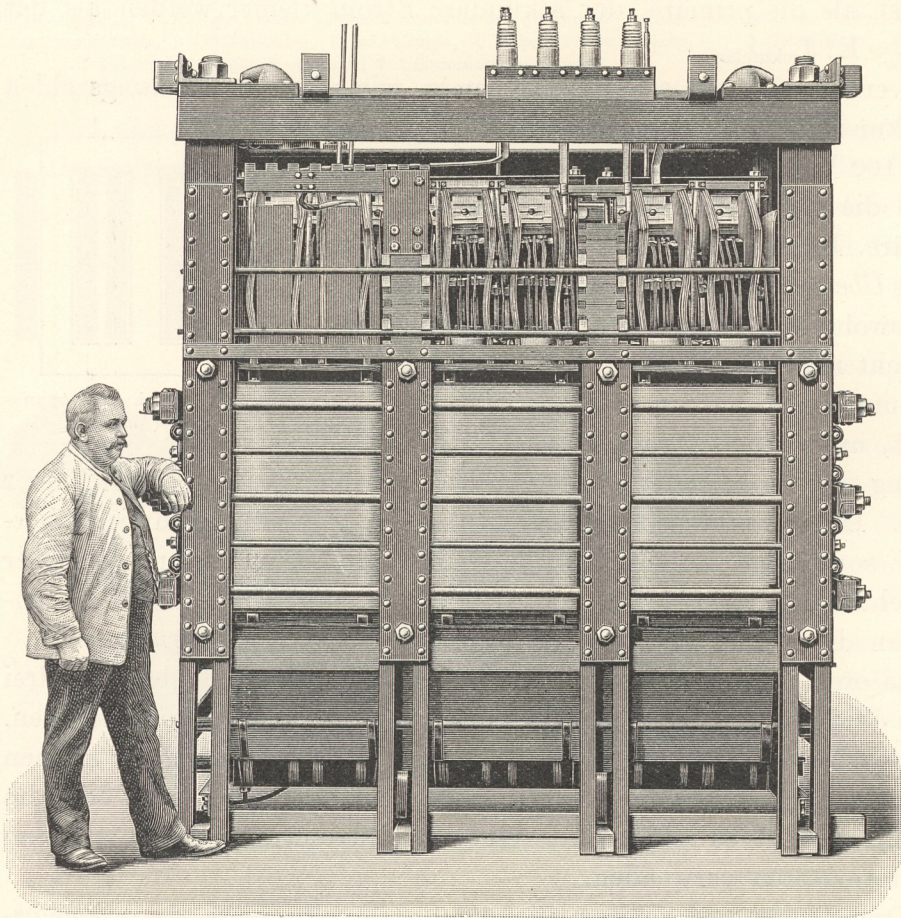


Fig. 393. Drehstromtransformator für 6750 KVA und 66000 Volt (Siemens-Schuckert-Werke).

sich an der negativen Elektrode Wasserstoff und an der positiven Sauerstoff ab. Beide Elektroden erhalten dadurch einen Spannungsunterschied. Unterbricht man den Strom und verbindet die Elektroden durch einen Leiter, so läßt sich mittels eines Meßinstrumentes ein dem ursprünglichen

Bei den Stromtransformatoren durchfließt der ganze Leitungsstrom die aus wenigen Windungen starken Drahtes bestehende Primärwicklung. Die Sekundärwicklung umfaßt meh-

### III. Akkumulatoren.

Elektrische *Akkumulatoren* sind Apparate, die infolge eines chemischen Umwandlungsprozesses elektrische Energie in sich aufnehmen und nach Bedarf wieder abzugeben vermögen. Um das Prinzip eines solchen Akkumulators zu verstehen, greifen wir auf die bereits im Kapitel „Elektrotechnische Grundbegriffe“ (S. 152) behandelte Erscheinung der *Polarisation* zurück:

Leitet man durch eine sogenannte *Zersetzungszelle*, die aus zwei in verdünnter Schwefelsäure befindlichen Platinblechen bestehen möge, einen Gleichstrom, so scheidet

entgegengerichteter Strom nachweisen. Das Element ist jetzt imstande, so lange elektrischen Strom abzugeben, wie Wasserstoff und Sauerstoff an den beiden Elektroden vorhanden sind. Den so gewonnenen Strom nennt man *Polarisationsstrom*, das Element selbst ein *sekundäres Element* oder einen *elektrischen Akkumulator*.

Gaston Planté verwendete zuerst statt der Platinbleche Bleiplatten. Taucht man zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure, so wird letztere bei Stromdurchgang von der positiven zur negativen Platte zersetzt, und zwar verbindet sich der Sauerstoff mit dem an der positiven Platte vorhandenen Blei zu Bleisuperoxyd. Der Wasserstoff hingegen wandert mit dem Strom zur negativen Platte, entzieht ihr den dort (in Form einer Oxydschicht) stets vorhandenen Sauerstoff und bildet reines Blei. In diesem Zustand, den man als *Ladezustand* zu bezeichnen pflegt, kann das Element längere Zeit verharren. Beim Entladen, d. h. beim Entstehen des durch *Schließen* eines solchen Elementes auftretenden Polarisationsstromes, ergeben sich dieselben chemischen Vorgänge in umgekehrter Weise. Die Schwefelsäure wird wiederum zerlegt, und zwar bildet sich an der positiven Platte Wasserstoff und an der negativen Sauerstoff. Dies hat zur Folge, daß beide Bleiplatten sich in Bleioxyd und weiter durch Einfluß der Schwefelsäure in Bleisulfat umwandeln. Sind beide Platten an der Oberfläche in Bleisulfat verwandelt, so hört die Stromlieferung auf: das Element ist entladen. Man kann es jetzt durch Hindurchleiten eines Gleichstromes von neuem aufladen. Dabei bildet sich an der positiven Platte wieder Bleisuperoxyd; an der negativen Platte wird das beim Entladen gewonnene Bleisulfat in schwammiges Blei verwandelt.

Zur Herstellung eines solchen Elementes würde sich die Verwendung von nur zwei Bleiplatten wenig lohnen, denn der so gewonnene Polarisationsstrom ist nur von kurzer Dauer. Um seine Dauer zu erhöhen, verwendete Planté das *Formierungsverfahren*, indem er die Zellen monatelang lud und entlud. Hierdurch bildete sich allmählich eine bis 1 mm tiefe Schicht von Bleischwamm auf der einen und Bleisuperoxyd auf der anderen Plattenoberfläche. Faure verbesserte dieses zeitraubende Verfahren dadurch, daß er feinverteiltes Blei und Bleisuperoxyd (*aktive Masse*) von vornherein auf besonders hergerichtete Platten auftrug. Einen weiteren Fortschritt bedeutete die Verwendung von Mennige statt des teuren Bleisuperoxyds und von Bleioxyd statt feinverteilten Bleies. Beide Substanzen lassen sich durch die erste längere Ladung in Bleisuperoxyd und Bleischwamm verwandeln.

Das moderne Verfahren zur Herstellung von Akkumulatoren hat auch diesen Weg verlassen und verwendet statt der einfachen Platten solche mit Rillen bzw. Gittern. Die Rillenplatten (Fig. 394) sind für den positiven Pol bestimmt und werden nach dem alten Planté-Verfahren formiert; die gitterartig geformten Platten (Fig. 395) bilden den negativen Pol und dienen zur Aufnahme von Bleioxyd. Dieses wird erst nach Aufstellung der *Akkumulatorenbatterie* in metallisches Blei verwandelt, und zwar dadurch, daß der eigentlichen Inbetriebnahme eine zweitägige Ladung vorausgeht. Auf diese Weise stellt z. B. die Akkumulatorenfabrik Hagen ihre Akkumulatoren her.

Um einem Akkumulator größere Elektrizitätsmengen entnehmen zu können, verwendet

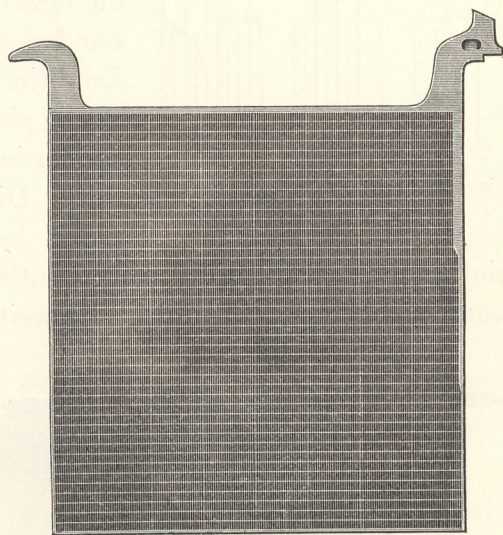


Fig. 394. Positive (Rillen-) Platte eines Bleiakkumulators.

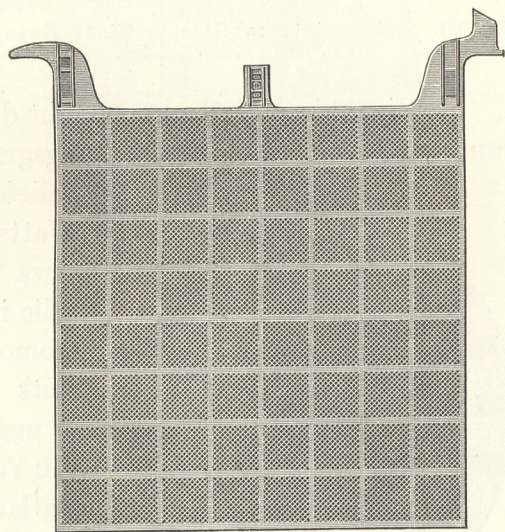


Fig. 395. Negative (Gitter-) Platte eines Bleiakkumulators.

man Zellen mit mehreren positiven und negativen Platten. Man stellt die Platten gewöhnlich so in ein Gefäß aus Glas, Ebonit oder mit Pech ausgegossenem Holz, daß jede positive (+) Platte zwischen zwei negativen (—) Platten steht, also stets eine —-Platte mehr vorhanden ist als +-Platten. Fig. 396 zeigt schematisch von oben drei Akkumulatorenzellen mit je sieben Platten, von denen die drei positiven mit dicken, die vier negativen mit zarten Linien ausgezogen sind.

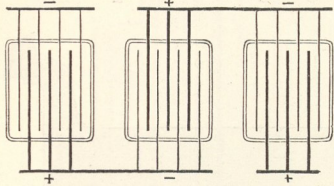


Fig. 396. Schaltschema von drei Akkumulatorenzellen.

Auf der einen Seite der Zellen werden die positiven, auf der anderen die negativen Platten durch angelötete Bleistreifen miteinander verbunden, sodann die +-Platten der einen an die —-Platten der anderen Zelle (in Hintereinanderschaltung) angeschlossen. Fig. 397 zeigt drei aus je sieben Platten bestehende Elemente der Akkumulatorenfabrik Hagen in Ansicht.

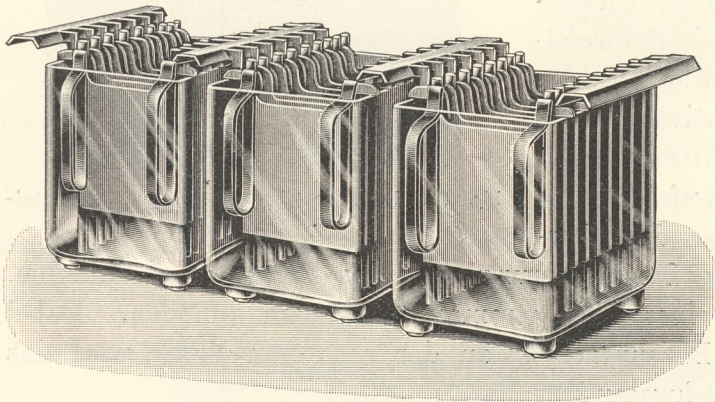


Fig. 397. Akkumulatorenzellen in Hintereinanderschaltung (Akkumulatorenfabrik A.-G.).

Die aus einem Bleiakkumulator erhältliche elektromotorische Kraft beträgt nach vollendeter Aufladung anfangs 2,1 Volt und sinkt allmählich auf 1,8 Volt. Entlädt man den Akkumulator noch weiter, so wird die Spannung rasch Null. Eine derartig weitgehende Entladung schädigt jedoch die Platten; man muß daher die Entladung abbrechen, wenn die Spannung auf 1,8 Volt gesunken ist.

Die elektromotorische Gegenkraft des Bleiakkumulators beträgt bei Beginn der Ladung etwa 2,1 Volt; sie steigt während der Ladung allmählich bis auf 2,7 Volt. Hiermit ist das Ende der Ladung erreicht. Würde man dem Akkumulator weiter Energie zuführen, so würde nur noch eine Zersetzung der Flüssigkeit stattfinden. Man muß daher die Ladung unterbrechen, sobald ein lebhaftes Emporsteigen von Gasblasen (*Kochen* des Akkumulators) bemerkbar wird.

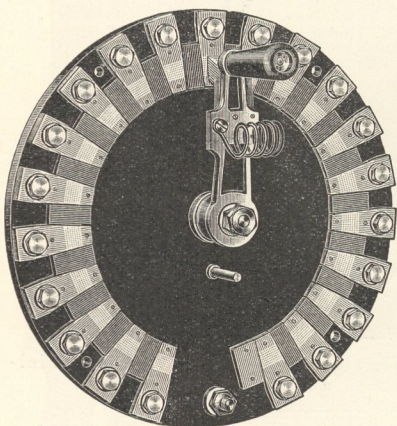
Ein Akkumulator kann nicht die volle ihm zugeführte Energiemenge zurückerstatten. Man muß auch hier mit einem Wirkungsgrade rechnen, der durch das Verhältnis der bei der Entladung

gelieferten zu der bei der Ladung aufgenommenen Leistung (in Wattstunden) bestimmt ist. Er beträgt bei guten Akkumulatoren etwa 75 Proz. Die *Kapazität*, d. h. die Leistung einer Akkumulatorenzelle in Amperestunden, richtet sich nach ihrer Größe. Die elektromotorische Kraft ist jedoch hiervon unabhängig; sie beträgt stets im Mittel 2 Volt. Will man höhere Spannungen erhalten, so muß man mehrere Elemente zu einer Batterie vereinigen. Für 110 Volt z. B. würde man 55 Zellen benötigen. Da jedoch bei der Entladung die Spannung jeder Zelle allmählich bis auf 1,8 Volt zurückgeht, so würden die 55 Zellen schließlich nur noch eine Spannung von  $1,8 \times 55$ , d. h. 99 Volt, besitzen. Man muß also weitere Zellen hinzuschalten, um wieder die gewünschte Spannung von 110 Volt zu erhalten. Aus diesem Grunde versieht man eine

Fig. 398. Runder Einfachzellenschalter.

Akkumulatorenbatterie stets mit einer Reihe abschaltbarer Zellen, den *Schaltzellen*. Sie werden, wenn die Spannung der *Stammbatterie* allmählich abnimmt, nach und nach mittels sogenannter Zellschalter zugeschaltet.

Ein derartiger *Zellschalter* (Fig. 398) besteht aus einer Reihe kreisförmig auf einer Schieferplatte angeordneter Kontakte; auf denen ein Kontakthebel schleift. Die Kontakte sind mit den Schaltzellen durch die *Zellschalterleitungen* verbunden. Die Wirkungsweise des Zellschalters geht aus Fig. 399 hervor. Da die Bürste des Kontakthebels beim Vorschube gleichzeitig zwei



Kontakte berührt, so wird die zwischen ihnen liegende Zelle kurzgeschlossen; dadurch tritt eine Stromstärke von übernormaler Höhe auf, die der Zelle schadet und an den Kontaktteilen Brandstellen verursacht. Um die Stärke des Kurzschlußstromes in gewissen Grenzen zu halten, teilt man die Schleifbürste, wobei jede Hälfte etwas schmaler als die Hälfte der Kontaktteilung ausgeführt wird. Steht die eine Hälfte der Bürste symmetrisch zu einem Kontakt, so steht die andere symmetrisch zur Kontaktlücke. Zwischen beiden Bürsten ordnet man einen sogenannten *Zwischenwiderstand* an, der gewöhnlich aus einem gewellten oder spiralförmig gebogenen Rheotanstreifen besteht.

Der in Fig. 398 dargestellte Zellschalter läßt sich nur für Ladung oder Entladung verwenden. Will man eine Akkumulatorenbatterie laden und gleichzeitig zur Stromlieferung heranziehen, so benötigt man zwei solcher Zellschalter, eine

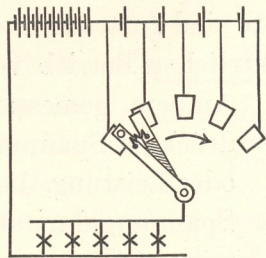


Fig. 399. Schaltschema eines Einfachzellschalters mit Zwischenwiderstand.

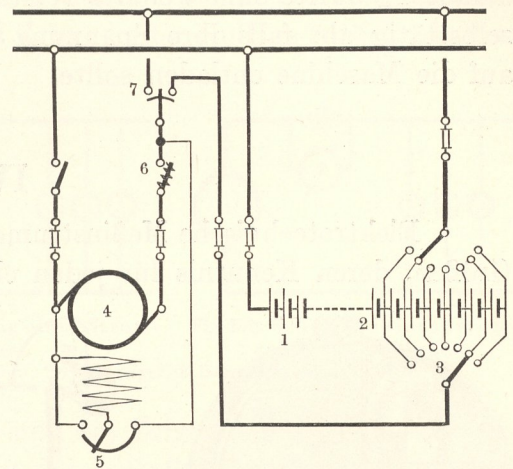


Fig. 400. Schaltschema einer Akkumulatorenanlage. (1 Stammbatterie, 2 Schaltzellen, 3 Doppelzellschalter, 4 Nebenschlußdynamo, 5 Nebenschlußregler, 6 Rückstromschalter, 7 Umschalter.)

Anordnung, die in Fig. 400 schematisch wiedergegeben ist. Gewöhnlich werden beide Apparate zu einem *Doppelzellschalter* vereinigt, der dann mit zwei Kontakthebeln ausgerüstet ist (Fig. 401). Statt der runden Zellschalter werden insbesondere für hohe Stromstärken vielfach geradlinige Zellschalter verwendet, deren Bedienung von Hand (Fig. 402) oder auch durch automatische Antriebsvorrichtung erfolgen kann.

Wie bereits erörtert, erfordert eine Spannung von 110 Volt 60 Elemente. Um diese zu laden, ist also eine maximale Ladespannung von  $60 \times 2,7 = 160$  Volt erforderlich. Diese Spannung läßt sich dadurch erreichen, daß man die Spannung der Dynamo durch Erhöhung der Drehzahl steigert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß man die Dynamo von vornherein für die höchste Ladespannung bemißt und bei normalem Betriebe die Spannung durch einen besonderen Nebenschlußregler erniedrigt. Schließlich kann man auch die Dynamo mit der normalen Spannung betreiben und eine zweite sogenannte *Zusatzdynamo* aufstellen, die in Hintereinanderschaltung mit der Hauptdynamo die Steigerung der Spannung bis zur maximalen Ladespannung ermöglicht.

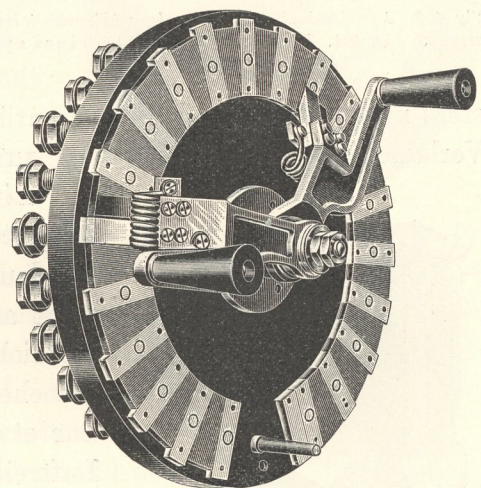


Fig. 401 Runder Doppelzellschalter.

Die Vorteile des Gleichstrombetriebes in Verbindung mit Akkumulatoren machen sich

besonders in kleineren Anlagen geltend, denn selbst bei Aufstellung nur einer einzigen Dynamo läßt sich eine verhältnismäßig große Betriebssicherheit erreichen: Bei plötzlichem Versagen der Maschinenanlage kann die Akkumulatorenbatterie den Lichtbetrieb für einige Zeit allein übernehmen. Ferner kann die Maschine zur Nachtzeit stillgesetzt werden, wobei die Batterie allein, ohne daß sie besonderer

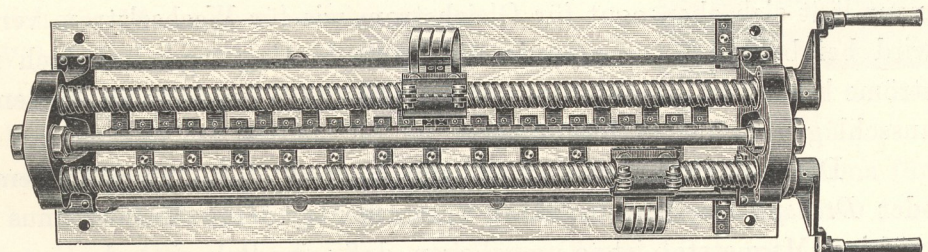


Fig. 402. Geradliniger Doppelzellschalter.

Wartung bedürfte, den Strom liefert. Endlich läßt sich zu Zeiten gesteigerten Verbrauchs durch

Parallelschalten von Batterie und Dynamo eine über das normale Maß der Dynamo wesentlich hinausgehende Energieabgabe erreichen. Eine Anordnung, wie sie bei Verwendung von Dynamo und Akkumulatoren batterie besonders in kleineren Anlagen üblich ist, zeigt Fig. 400. Die Schaltung dürfte ohne weiteres verständlich sein. Der *Rückstromschalter* 6 schaltet die Dynamo 4 selbsttätig ab, falls ihre Spannung etwa unter die der Batterie sinken, also die Batterie sich auf die Maschine entladen sollte.

#### IV. Meßinstrumente.

Elektrotechnische Meßinstrumente sind Instrumente zur Bestimmung gewisser elektrischer Größen, deren Kenntnis für jeden elektrischen Betrieb von höchstem Wert ist, nämlich der in Ampere gemessenen Stromstärke, der in Volt ausgedrückten Spannung und der in Watt gemessenen Arbeit oder Leistung, die sich als Produkt aus Stromstärke und Spannung darstellt. Man unterscheidet demnach Stromzeiger (*Amperemeter*), Spannungszeiger (*Voltmeter*) und Leistungszeiger (*Wattmeter*). Hierzu kommen noch die *Zähler*, die den elektrischen Energieverbrauch messen.

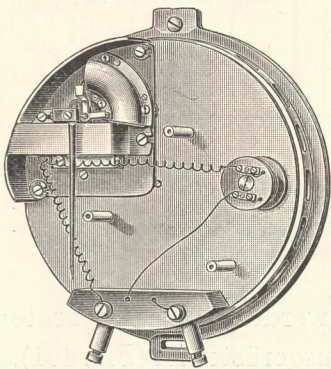


Fig. 403.

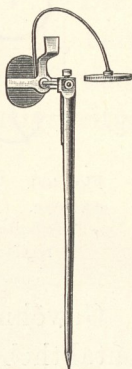


Fig. 404.

Fig. 403. Aperiodischer Stromzeiger (Siemens & Halske), zerlegt. Fig. 404. Bewegliches System eines aperiodischen Stromzeigers.

##### 1. Strom-, Spannungs- und Leistungszeiger.

Die einfachsten *Stromzeiger* bilden Instrumente, bei denen das im Innern einer stromdurchflossenen Spule vorhandene magnetische Feld einen Kern aus weichem Eisen beeinflusst. Durch eine Vorrichtung, die den Eisenkörper stets in die Gleichgewichtslage zurückzuführen sucht, beispielsweise durch ein Gewicht, das beim Verlassen der Gleichgewichtslage zu heben ist, erhält man ein zur Strommessung geeignetes System.

Einen nach diesem Prinzip von Siemens & Halske A.-G., Berlin, hergestellten Stromzeiger zeigt Fig. 403. Ein mit einem Zeiger verbundener und in Saphiren drehbar gelagerter Weicheisenkern (Fig. 404) trägt an einem hakenförmig gebogenen Drahte eine kleine Scheibe, die sich in einem gekrümmten Rohr bewegt. Der Zwischenraum zwischen dem Scheibenrand und der inneren Rohrwandung beträgt nur etwa 0,5 mm, so daß die Scheibe bei ihrer Bewegung durch die Luftreibung eine starke Dämpfung erfährt. Wird die Spule vom Strom durchflossen, so dreht sich das exzentrisch zur Achse befestigte Eisenplättchen so weit, bis sein Gewicht der elektromagnetischen Kraft das Gleichgewicht hält, und der Zeiger gibt auf einer geeichten Skala die entsprechende Stromstärke an. Gegen äußere Beeinflussungen durch Starkströme ist das ganze System mit Eisenblech umgeben. Ein derartiges Instrument läßt sich ebensogut für Gleichstrom wie für Wechselstrom verwenden, denn der Eisenkern wird bei beiden Stromarten in die Spule hineingezogen. Jedoch muß die Skala für Wechselströme besonders geeicht sein, wobei zu beachten ist, daß verschiedene Periodenzahlen den Zeigerausschlag verschieden beeinflussen.

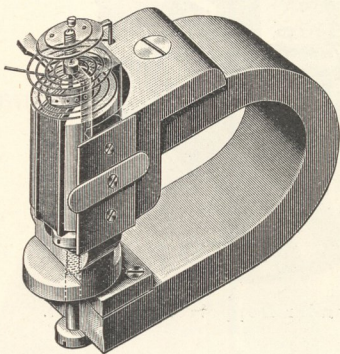


Fig. 405. Präzisionsstromzeiger, zerlegt (Siemens & Halske).

Die Ablenkung einer Spule durch einen Magneten nach dem Prinzip Deprez d'Arsonval oder *Drehspulensystem* benutzen Instrumente, deren Mechanismus Fig. 405 zeigt: Ein flacher kräftiger Magnetstab ist so umgebogen, daß seine Pole einander gegenüberstehen. In der Figur ist nur die eine (rechte) Hälfte des Magnetstabes sichtbar, die andere ist der größeren Anschaulichkeit halber fortgelassen. Die beiden Pole des Magnets besitzen massive Polschuhe (nur der rechte ist sichtbar) mit halbzylindrischem Ausschnitt. Zwischen den Polschuhen bleibt ein zylindrischer Raum frei für einen eisernen Hohlzylinder, der rings von den Wandungen der Polschuhe einen 2 mm